

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Indirizzo Strutture



Modellazione del rischio sismico in edifici industriali per la stima dei danni diretti e delle perdite di profitto

Relatore: Prof. Ing. Carlo Pellegrino
Correlatore: Phd. Ing. Federico Carturan

Laureando: Capitano Manuel
Matricola: 1041265

Anno Accademico 2013-2014

*A Carlotta
Alla mia famiglia
Ai miei zii ed ai miei nonni
Ai miei amici*

INDICE

1. INTRODUZIONE
2. SCOPO DEL LAVORO
3. PROGETTO RISK-UE
4. CURVE DI FRAGILITÀ
 - 4.1. Curve di fragilità secondo il metodo HAZUS
 - 4.2. Curve di fragilità per gli impianti produttivi
 - 4.3. Curve di fragilità per le scaffalature
5. TIPOLOGIE DI DANNI DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI
 - 5.1. Perdita di appoggio e danni alle connessioni tra elementi strutturali
 - 5.2. Collasso di elementi di tamponatura
 - 5.3. Danni ai pilastri
6. DANNI DIRETTI E DANNI INDIRETTI
 - 6.1. Funzionalità residua
7. VALORE ESPOSTO AL SISMA
8. DETERMINAZIONE DELLA PGA AL SUOLO
9. STIMA DELLA PERDITA DIRETTA ANNUA ATTESA
10. STIMA DELLA PERDITA INDIRETTA ANNUA ATTESA
11. MODELLO ASSICURATIVO
 - 11.1. Modello assicurativo per i danni diretti
 - 11.2. Modello assicurativo per i danni diretti con franchigia
 - 11.2.1. Modello assicurativo per Venezia
 - 11.2.2. Modello assicurativo per Treviso
 - 11.2.3. Modello assicurativo per Milano
 - 11.2.4. Modello assicurativo per Roma
 - 11.2.5. Modello assicurativo per Bari
 - 11.2.6. Osservazioni sul modello assicurativo
 - 11.2.7. Conclusioni sul modello assicurativo per danni diretti
 - 11.3. Modello assicurativo per i danni diretti con scoperto
 - 11.3.1. Modello assicurativo per Venezia
 - 11.3.2. Modello assicurativo per Treviso
 - 11.3.3. Modello assicurativo per Milano

- 11.3.4. Modello assicurativo per Roma
 - 11.3.5. Modello assicurativo per Bari
 - 11.3.6. Osservazioni sul modello assicurativo
 - 11.3.7. Conclusioni sul modello assicurativo per danni diretti
 - 11.4. Modello assicurativo per i danni indiretti
 - 11.5. Modello assicurativo per gli edifici “low-code”
 - 11.5.1. Modello assicurativo per Venezia
 - 11.5.2. Modello assicurativo per Treviso
 - 11.5.3. Modello assicurativo per Milano
 - 11.5.4. Modello assicurativo per Roma
 - 11.5.5. Modello assicurativo per Bari
 - 11.5.6. Osservazioni sul modello assicurativo
 - 11.5.7. Conclusioni sul modello assicurativo per danni indiretti
 - 11.6. Modello assicurativo per gli edifici “high-code”
 - 11.6.1. Modello assicurativo per Venezia
 - 11.6.2. Modello assicurativo per Treviso
 - 11.6.3. Modello assicurativo per Milano
 - 11.6.4. Modello assicurativo per Roma
 - 11.6.5. Modello assicurativo per Bari
 - 11.6.6. Osservazioni sul modello assicurativo
 - 11.6.7. Conclusioni sul modello assicurativo per danni indiretti
 - 11.7. Risultati del modello assicurativo per i danni indiretti
 - 12. TEMPO DI RIPRISTINO
 - 13. CONCLUSIONI
 - 14. ALLEGATO: MODELLO ASSICURATIVO PER GLI EDIFICI RESIDENZIALI
- BIBLIOGRAFIA

INDICE DELLE FIGURE

- Fig. 1 – Distribuzione placche continentali in Italia
- Fig. 2 – Mappa di pericolosità Sismica
- Fig. 3 – Crollo edificio industriale, Emilia Romagna 2012
- Fig. 4 – Città considerate nel progetto RISK-UE
- Fig. 5 – Esempio di curva di fragilità fornita dal manuale di Hazus
- Fig. 6 – Curva di fragilità edifici “low-code”
- Fig. 7 – Curva di fragilità edifici “high-code”
- Fig. 8 – Confronto fra le curve di fragilità
- Fig. 9 – Curva di fragilità “Macchinari ancorati”
- Fig. 10 – Curva di fragilità “Macchinari non ancorati”
- Fig. 11 – Confronto fra le curve di fragilità
- Fig. 12 – Curva di fragilità per le scaffalature
- Fig. 13 - Perdita di appoggio della trave e collasso della copertura
- Fig. 14 - Perdita parziale di appoggio della trave
- Fig. 15 - Perdita di appoggio della trave con rottura della connessione
- Fig. 16 - Perdita di appoggio della capriata
- Fig. 17 - Crisi della connessione di un pannello di tamponatura
- Fig. 18 - Collasso imminente pannelli orizzontali di tamponamento
- Fig. 19 - Collasso dei pannelli orizzontali di tamponamento
- Fig. 20 - Collasso dei pannelli orizzontali di tamponamento
- Fig. 21 – Dettaglio della connessione in corrispondenza del pilastro
- Fig. 22 – Crisi fuori dal piano di una tamponatura in laterizio
- Fig. 23 – Perdita di verticalità del pilastro per rottura alla base
- Fig. 24 – Rotazione pilastro con formazione di cerniera plastica
- Fig. 25 – Espulsione del copriferro alla base del pilastro
- Fig. 26 – Cerniera plastica alla base del pilastro
- Fig. 27 – Schema concettuale
- Fig. 28 – Modello di funzionalità residua
- Fig. 29 – Schema di danno del sistema produttivo
- Fig. 30 – Classificazione del 1984 con $T_r = 500$ anni
- Fig. 31 – Classificazione del 2006 con $T_r = 475$ anni
- Fig. 32 – Classificazione secondo NTC 2008 con $T_r = 475$ anni
- Fig. 33 – Mappa di pericolosità per Venezia
- Fig. 34 – Mappa di pericolosità per Treviso
- Fig. 35 – Mappa di pericolosità per Milano
- Fig. 36 – Mappa di pericolosità per Roma
- Fig. 37 – Mappa di pericolosità per Bari
- Fig. 38 – Vita nominale
- Fig. 39 – Coefficienti per la classe d’uso
- Fig. 40 – Categorie di sottosuolo

Fig. 41 – Categorie topografiche
Fig. 42– Coefficiente di amplificazione topografica
Fig. 43 – Spettro elastico per Venezia
Fig. 44 – Spettro elastico per Treviso
Fig. 45 – Spettro elastico per Milano
Fig. 46 – Spettro elastico per Roma
Fig. 47 – Spettro elastico per Bari
Fig. 48 – Variabilità del premio di assicurazione per Venezia
Fig. 49 – Variabilità del premio di assicurazione per Treviso
Fig. 50 – Variabilità del premio di assicurazione per Milano
Fig. 51 – Variabilità del premio di assicurazione per Roma
Fig. 52 – Variabilità del premio di assicurazione per Bari
Fig. 53 – Variabilità del premio di assicurazione “low-code”
Fig. 54 – Variabilità del premio di assicurazione “high-code”
Fig. 55 – Valori medi premio di assicurazione
Fig. 56 – Interpolazione lineare “low-code”
Fig. 57 – Interpolazione lineare “high-code”
Fig. 58 – Interpolazione lineare per valori nazionali
Fig. 59 – Variabilità del premio di assicurazione per Venezia
Fig. 60 – Variabilità del premio di assicurazione per Treviso
Fig. 61 – Variabilità del premio di assicurazione per Milano
Fig. 62 – Variabilità del premio di assicurazione per Roma
Fig. 63 – Variabilità del premio di assicurazione per Bari
Fig. 64 – Variabilità del premio di assicurazione “low-code”
Fig. 65 – Variabilità del premio di assicurazione “high-code”
Fig. 66 – Valori medi premio di assicurazione
Fig. 67 – Interpolazione lineare “low-code”
Fig. 68 – Interpolazione lineare “high-code”
Fig. 69 – Interpolazione lineare per valori nazionali
Fig. 70 – Premio di assicurazione medio “low-code” piccola impresa
Fig. 71 – Premio di assicurazione medio “low-code” media impresa
Fig. 72 – Premio di assicurazione medio “high-code” piccola impresa
Fig. 73 – Premio di assicurazione medio “high-code” media impresa
Fig. 74 – Premio di assicurazione medio piccola impresa
Fig. 75 – Premio di assicurazione medio media impresa
Fig. 76 – Tasso del premio per danni indiretti
Fig. 77 – Modello di ripristino senza aiuti
Fig. 78 – Modello di ripristino con aiuti
Fig. 79 – Curva di fragilità MX1
Fig. 80 – Curva di fragilità MX2
Fig. 81 – Curva di fragilità RC1
Fig. 82 – Curva di fragilità RC2

Fig. 83 – Curva di fragilità RC4
Fig. 84 – Curva di fragilità IMA1
Fig. 85 – Curva di fragilità IMA2
Fig. 86 – Curva di fragilità IMA3
Fig. 87 – Curva di fragilità IMA4
Fig. 88 – Curva di fragilità IMA5
Fig. 89 – Curva di fragilità IMA6
Fig. 90 – Curva di fragilità IMA7
Fig. 91 – Curva di fragilità IMA8
Fig. 92 – Curva di fragilità RMA1
Fig. 93 – Curva di fragilità RMA2
Fig. 94 – Curva di fragilità RMA3
Fig. 95 – Curva di fragilità RMA4
Fig. 96 – Curva di fragilità RMA5
Fig. 97 – Curva di fragilità RMA6
Fig. 98 – Curva di fragilità RMA7
Fig. 99 – Curva di fragilità RMA8
Fig. 100 – Distribuzione tipologie strutturali per Venezia
Fig. 101 – Distribuzione tipologie strutturali per Treviso
Fig. 102 – Distribuzione tipologie strutturali per Milano
Fig. 103 – Distribuzione tipologie strutturali per Roma
Fig. 104 – Distribuzione tipologie strutturali per Bari
Fig. 105 – Variabilità dei premi di assicurazione
Fig. 106 – Tasso di assicurazione

INDICE DELLE TABELLE

- Tab. 1 – Parametri forniti dal metodo HAZUS per la categoria PC1
- Tab. 2 – Valori numerici per la curva di fragilità “low-code”
- Tab. 3 – Valori numerici per la curva di fragilità “high-code”
- Tab. 4 – Parametri per gli impianti produttivi
- Tab. 5 – Valori numerici per la curva di fragilità “Macchinari ancorati”
- Tab. 6 – Valori numerici per la curva di fragilità “Macchinari non ancorati”
- Tab. 7 – Parametri per le scaffalature
- Tab. 8 – Valori numerici per le scaffalature
- Tab. 9 – Modello di funzionalità residua
- Tab. 10 – Costo di ricostruzione
- Tab. 11 – Valore macchinari
- Tab. 12 – Valore merci
- Tab. 13 – Coefficienti di amplificazione per il sottosuolo
- Tab. 14 – Tabella riepilogativa PGA
- Tab. 15 – Perdite dirette annue attese per i fabbricati
- Tab. 16 – Perdite dirette annue attese per i macchinari
- Tab. 17 – Perdite dirette annue attese per le merci
- Tab. 18 – Perdite dirette annue attese totali
- Tab. 19 – Fatturato lordo imprese
- Tab. 20 – Funzionalità residua
- Tab. 21 – Margine di contribuzione
- Tab. 22 – Perdita indiretta annua attesa per Venezia
- Tab. 23 – Perdita indiretta annua attesa per Treviso
- Tab. 24 – Perdita indiretta annua attesa per Milano
- Tab. 25 – Perdita indiretta annua attesa per Roma
- Tab. 26 – Perdita indiretta annua attesa per Bari
- Tab. 27 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code”
- Tab. 28 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code”
- Tab. 29 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code”
- Tab. 30 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code”
- Tab. 31 – Premio di assicurazione per Milano “low-code”
- Tab. 32 – Premio di assicurazione per Milano “high-code”
- Tab. 33 – Premio di assicurazione per Roma “low-code”
- Tab. 34 – Premio di assicurazione per Roma “high-code”
- Tab. 35 – Premio di assicurazione per Bari “low-code”
- Tab. 36 – Premio di assicurazione per Bari “high-code”
- Tab. 37 – Numero unità produttive
- Tab. 38 – Premio di assicurazione medio “low-code”
- Tab. 39 – Premio di assicurazione medio “high-code”
- Tab. 40 – Premio di assicurazione medio su suolo nazionale

Tab. 41 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code”
Tab. 42 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code”
Tab. 43 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code”
Tab. 44 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code”
Tab. 45 – Premio di assicurazione per Milano “low-code”
Tab. 46 – Premio di assicurazione per Milano “high-code”
Tab. 47 – Premio di assicurazione per Roma “low-code”
Tab. 48 – Premio di assicurazione per Roma “high-code”
Tab. 49 – Premio di assicurazione per Bari “low-code”
Tab. 50 – Premio di assicurazione per Bari “high-code”
Tab. 51 – Numero unità produttive
Tab. 52 – Premio di assicurazione medio “low-code”
Tab. 53 – Premio di assicurazione medio “high-code”
Tab. 54 – Premio di assicurazione medio su suolo nazionale
Tab. 55 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code” piccola impresa
Tab. 56 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code” media impresa
Tab. 57 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code” piccola impresa
Tab. 58 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code” media impresa
Tab. 59 – Premio di assicurazione per Milano “low-code” piccola impresa
Tab. 60 – Premio di assicurazione per Milano “low-code” media impresa
Tab. 61 – Premio di assicurazione per Roma “low-code” piccola impresa
Tab. 62 – Premio di assicurazione per Roma “low-code” media impresa
Tab. 63 – Premio di assicurazione per Bari “low-code” piccola impresa
Tab. 64 – Premio di assicurazione per Bari “low-code” media impresa
Tab. 65 – Numero unità produttive
Tab. 66 – Premio di assicurazione medio “low-code” piccola impresa
Tab. 67 – Premio di assicurazione medio “low-code” media impresa
Tab. 68 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code” piccola impresa
Tab. 69 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code” media impresa
Tab. 70 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code” piccola impresa
Tab. 71 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code” media impresa
Tab. 72 – Premio di assicurazione per Milano “high-code” piccola impresa
Tab. 73 – Premio di assicurazione per Milano “high-code” media impresa
Tab. 74 – Premio di assicurazione per Roma “high-code” piccola impresa
Tab. 75 – Premio di assicurazione per Roma “high-code” media impresa
Tab. 76 – Premio di assicurazione per Bari “high-code” piccola impresa
Tab. 77 – Premio di assicurazione per Bari “high-code” media impresa
Tab. 78 – Numero unità produttive
Tab. 79 – Premio di assicurazione medio “high-code” piccola impresa
Tab. 80 – Premio di assicurazione medio “high-code” media impresa
Tab. 81 – Premio di assicurazione medio piccola impresa
Tab. 82 – Premio di assicurazione medio media impresa

- Tab. 83 – Parametri del modello di ripristino
- Tab. 84 – Parametri delle curve di fragilità per gli edifici residenziali
- Tab. 85 – Perdita diretta annua attesa
- Tab. 86 – Distribuzione percentuale tipologie strutturali
- Tab. 87 – Premio di assicurazione per Venezia
- Tab. 88 – Premio di assicurazione per Treviso
- Tab. 89 – Premio di assicurazione per Milano
- Tab. 90 – Premio di assicurazione per Roma
- Tab. 91 – Premio di assicurazione per Bari

1. INTRODUZIONE

L'Italia è un paese caratterizzato da un'elevata sismicità, tuttavia in misura minore rispetto altri luoghi della terra come per esempio la zona attorno l'Oceano Pacifico, la cosiddetta "Cintura di Fuoco". Queste zone sono caratterizzate da frequenti terremoti, si calcola infatti che circa il 90 % dei terremoti mondiali avvenga all'interno di questa fascia. Questi fenomeni si realizzano in seguito ai movimenti reciproci delle differenti placche che vi convergono, generando così attività vulcanica, attività sismica, creazione di catene montuose vulcaniche e di fosse oceaniche.

In Italia gli eventi sismici derivano dal movimento delle 2 placche che la compongono, la placca euroasiatica a ovest e la placca africana a est, esse convergono esattamente sotto la catena appenninica e parte delle alpi orientali. Questi movimenti provocano enormi pressioni che gravano sulle rocce del sottosuolo, le quali non possono essere accumulate all'infinito, giacché l'accumulo di deformazione tra placche vicine è un processo che continua senza sosta, quindi l'energia viene periodicamente liberata mediante il terremoto. Questo avviene lungo una faglia, ossia una frattura in grado di muoversi, che di solito si produce dove vi è un punto debole all'interno della crosta.



Fig. 1 – Distribuzione placche continentali in Italia

Si può, infatti, notare come la classificazione della pericolosità sismica fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia lega la posizione della superficie di contatto tra le placche e le zone in cui vi è una pericolosità maggiore.

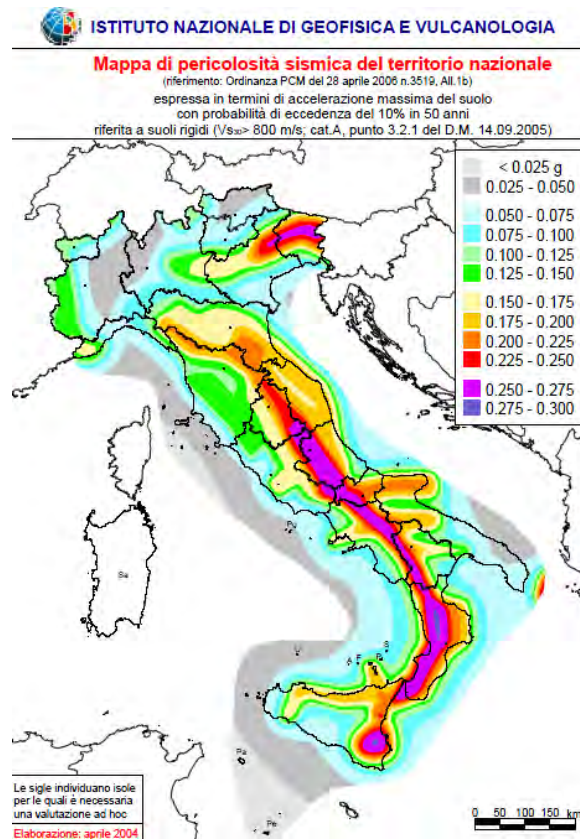


Fig. 2 – Mappa di pericolosità Sismica

Per pericolosità si intende il valore della accelerazione di picco al suolo massima che può realizzarsi con una probabilità del 10 % in 50 anni.

In Italia vi sono diversi fattori che contribuiscono a generare un elevato rischio sismico: la presenza di un'elevata sismicità ma anche la presenza sul suolo nazionale di molti edifici costruiti in mancanza di una precisa legislazione antisismica in materia di progettazione. Basti pensare alla quantità di perdite, economiche ed umane, sostenute con i recenti eventi sismici come quello del Molise 2002, dell'Aquila 2009 e dell'Emilia 2012.



Fig. 3 – Crollo edificio industriale, Emilia Romagna 2012

Per rischio sismico (R) si intende una combinazione della pericolosità (P), della vulnerabilità (V) e dell'esposizione (E) ed è la misura dei danni che, in base al tipo di sismicità e di resistenze delle costruzioni, ci si può attendere in un dato intervallo di tempo.

$$R = P \cdot V \cdot E$$

Dove:

- **Pericolosità (P)**: è la probabilità che nella zona considerata si verifichi, entro il lasso di tempo considerato, un evento sismico di data intensità. Dipende dal tipo di terremoto, dalla distanza dall'epicentro e dalle condizioni geomorfologiche;
- **Vulnerabilità (V)**: esprime la probabilità che una struttura di un certo tipo possa subire un certo livello di danneggiamento a seguito di un terremoto di una determinata intensità;
- **Esposizione (E)**: misura la presenza di beni a rischio e, dunque, la conseguente possibilità di subire un danno.

In Italia, possiamo attribuire alla pericolosità sismica un livello medio-alto, per la frequenza e l'intensità dei fenomeni che si susseguono. Il nostro paese, però, rispetto ad altri paesi, come la California o il Giappone, nei quali la pericolosità è anche maggiore, ha

una vulnerabilità molto elevata, per la notevole fragilità del patrimonio edilizio, industriale, produttivo ed infrastrutturale.

L'Italia è dunque un paese ad elevato rischio sismico, inteso come perdite attese a seguito di un terremoto, in termini di vittime, danni alle costruzioni e conseguenti costi diretti ed indiretti.

La soluzione per limitare i danni derivanti dal sisma, che prima o poi sono destinati ad accadere, sarebbe quella di investire sul patrimonio esistente per aumentare la capacità di assorbimento dell'azione sismica con lo scopo di assicurare la salvaguardia della vita delle persone che al loro interno vivono o lavorano. Tuttavia, il principale problema cui si deve far fronte è la mancanza di fondi per eseguire le costose operazioni di adeguamento sismico degli edifici. Le persone, perciò, a fronte di un investimento costoso da eseguire per qualcosa che durante la vita utile dell'edificio magari non succederà mai preferiscono rimanere indifferenti e continuare la loro vita in strutture non idonee sismicamente visto anche l'incertezza della localizzazione sul territorio e della probabilità di accadimento dell'evento.

2. SCOPO DEL LAVORO

Il presente lavoro di tesi mira a proporre un sistema assicurativo per danni derivanti dal terremoto. Sono stati analizzati gli edifici a carattere produttivo, poiché questa tipologia di edifici generano maggiori ripercussioni post-sisma sull'economia e sulla produzione sia in termini di danni diretti sia in termini di danni indiretti.

Le zone analizzate sono: Treviso, Venezia, Milano, Roma e Bari.

Alla base dello studio vi è la ricerca delle curve di fragilità per gli edifici industriali, per i macchinari produttivi e per il deposito delle merci. Attraverso queste è possibile determinare la probabilità di avere un certo livello di danno in funzione della PGA corrispondente al sito analizzato. Una volta nota questa probabilità si è potuto studiare la perdita di valore dell'edificio industriale per passare poi alla determinazione del modello assicurativo, nel quale è stato possibile individuare qual è il premio di assicurazione che meglio soddisfa la società assicuratrice e i proprietari di edifici, realizzando quindi un punto d'incontro tra l'offerta e la domanda attraverso un problema di ottimizzazione.

Infine si è calcolato un modello per la determinazione del tempo di ripristino degli edifici considerando il caso in cui lo stato eroga aiuti economici o meno.

3. PROGETTO RISK-UE

Il progetto europeo Risk-UE è stato lanciato nel 1999 e si è svolto fra il 2001 e il 2004: nel corso di questo progetto è stata svolta un'analisi globale dell'impatto di un sisma su una città, all'interno del contesto europeo. Uno dei principali obiettivi era rendere più consapevoli gli Enti locali dei vantaggi derivanti da un piano di intervento antisismico, e più in generale degli effetti derivanti da un elevato rischio sismico.

Altri progetti di questo tipo sono stati svolti precedentemente da altre nazioni, ad esempio il programma HAZUS negli USA, tuttavia questo è il primo esempio a livello europeo. Esso è strutturato su 7 città europee: Barcellona, Bitola, Bucarest, Catania, Nizza, Sofia e Tessalonico.

Il programma ha sviluppato una metodologia per creare scenari sismici, con particolare riferimento agli aspetti peculiari delle città europee, al fine di evidenziare i punti deboli del sistema urbano tipo.



Fig. 4 – Città considerate nel progetto RISK-UE

Gli obiettivi del progetto si possono classificare in **strategici** e **scientifici**.

Gli obiettivi **strategici** posti sono:

- Valutazione dei danni, in termini umani, economici e sociali, e della loro evoluzione nel tempo, causati da un sisma con una ragionevole probabilità di accadimento in riferimento alla specifica zona interessata;

- Partecipare allo sviluppo di database urbani che permettessero agli Enti locali di effettuare analisi al fine di poter gestire al meglio eventuali emergenze, individuare le zone critiche del sistema urbano ed in generale avere uno strumento per la stima del rischio sismico della zona in esame;
- Rendere disponibili pubblicamente, via internet, tutti gli avanzamenti metodologici e teorici raggiunti;
- Creare una sinergia tra nazioni europee.

Gli obiettivi **scientifici** erano invece:

- Sviluppare una metodologia per costruire scenari sismici realistici e per valutarne gli effetti prendendo in considerazione: le caratteristiche delle città europee, con particolare attenzione per gli edifici storici; considerazioni sull'impatto in termini economici; reazione della popolazione;
- Raccogliere ed organizzare i dati esistenti;
- Migliorare ed unificare il lavoro già svolto da diversi gruppi di ricerca nel medesimo campo;
- Fondare gruppi di ricerca a livello europeo, con l'intento di applicare la procedura alle città campione;
- Validare la procedura elaborata, tramite i pareri di altri esperti;
- Produrre pubblicazioni utili alla valutazione del rischio sismico a livello europeo.

Il progetto è stato suddiviso in 7 **work packages (WP)** o moduli classificati come:

- WP01: caratteristiche tipiche europee, GIS, database, tipologia di edifici;
- WP02: valutazione del rischio sismico;
- WP03: analisi del sistema urbano;
- WP04: vulnerabilità sismica di edifici esistenti;
- WP05: vulnerabilità sismica di edifici e centri abitati storici;
- WP06: vulnerabilità sismica di infrastrutture e grandi opere;
- WP07: scenari sismici.

Lo scopo del primo modulo è quello di fornire una metodologia per collezionare ed organizzare edifici e dati sismici in Europa. Le 7 città campione sono state analizzate per trovare i fattori peculiari del sistema urbano europeo: edifici storici, monumenti, modelli di sviluppo, ecc.

La caratteristica più distintiva è l'altissima concentrazione di edifici storici e manufatti artistici esposti al rischio sismico.

Il secondo modulo fornisce strumenti per la stima del rischio sismico, con particolare riferimento allo scuotimento al suolo atteso, e fornisce metodi per realizzarne convenienti rappresentazioni cartografiche.

Nel terzo modulo si è svolta un'analisi approfondita degli effetti di un possibile sisma sul sistema urbano, non limitandosi a fattori economici ed umani ma sviluppando nuovi concetti: l'analisi delle conseguenze a livello sociale e culturale, o la definizione di strutture o luoghi vitali per la funzionalità della città e che quindi assumono importanza ben maggiore di quella stimabile tramite semplici criteri economici.

Il quarto modulo si occupa di valutare la vulnerabilità degli edifici esistenti nel tessuto urbano con particolare riguardo alle differenze fra le tipologie tipo caratteristiche delle diverse città campione.

Il quinto modulo propone un metodo per la stima della vulnerabilità sismica di edifici storici: da un valore di partenza basato sulla tipologia di edificio, si ottiene il valore specifico per il singolo manufatto tramite dei fattori correttivi facilmente valutabili, come stato di manutenzione, qualità dei materiali, regolarità strutturale.

Il sesto modulo considera la difficoltà dell'accessibilità ad infrastrutture urbane in seguito al sisma, ciò è dovuto alla mancanza di dati sugli effetti causati da sisma su questo tipo di strutture.

Per esempio, per quanto riguarda la rete di trasporto, la procedura suddivide gli elementi in strade, ponti e tunnel, più altri elementi tecnici quali scarpate, argini e muri di sostegno.

Per i ponti, identificati come principale elemento soggetto a rischio sismico nella rete di trasporti, è stato proposto un metodo simile a quello adottato per la valutazione della vulnerabilità degli edifici storici: un valore base stimato seguendo una semplice classificazione, poi raffinato tramite coefficienti correttivi facilmente rilevabili.

Nel settimo, ed ultimo modulo, l'obiettivo è la valutazione dei danni umani, sociali ed economici, diretti ed indiretti, causati da un evento sismico in una delle città campione.

4. CURVE DI FRAGILITÀ

Per la valutazione della vulnerabilità sismica di una struttura o di un sistema infrastrutturale è necessario innanzitutto andare a valutare la fragilità degli elementi che lo compongono: nel caso di reti stradali, per esempio, i punti deboli sono da individuarsi nei ponti.

Uno strumento per la valutazione della debolezza è la **curva di fragilità**, che permette di esprimere la probabilità di eguagliare o eccedere un definito livello di danno al variare dell'intensità dell'azione sismica.

E' necessario, prima di procedere alla definizione delle curve di fragilità, andare a stabilire determinati livelli di danno a cui fare in seguito riferimento. I livelli di danno definiti dalla procedura Risk-UE/Hazus sono 5, e sono chiamati *Performance Level* o *Damage State*:

- **Irrilevante**: la riparazione non è urgente;
- **Lieve**: crepe alla base delle pareti, spalling del calcestruzzo;
- **Moderato**: le pareti presentano fessure diagonali sulla superficie, qualche connessione tra elementi prefabbricati potrebbe essere stata rotta, bulloni piegati;
- **Vasto**: estese crepe diagonali sui muri, vasto spalling del calcestruzzo.
- **Completo**: la struttura è crollata o vi è imminente pericolo di crollo, collasso di colonne con eventuale crollo del solaio, rottura delle fondazioni.

Questi livelli di danno saranno poi associati al livello di funzionalità residua della struttura. Sarà inoltre possibile considerare, sempre tramite lo stato di danno in cui si trova il manufatto, altri aspetti importanti, quali per esempio l'intervallo di tempo necessario affinché l'edificio o l'infrastruttura recuperi la piena funzionalità a seguito del sisma.

I metodi per la creazione delle curve di fragilità sono essenzialmente due tipi: analitici ed empirici.

Nel caso dell'utilizzo di un **metodo analitico** per la creazione della curva di fragilità è necessario realizzare, per ogni singolo edificio, un appropriato modello strutturale agli elementi finiti allo scopo di indagare, attraverso simulazioni, il comportamento del manufatto sottoposto alla sollecitazione sismica in esame. L'analisi potrà essere condotta con diversi metodi, quali un'analisi elastica con spettro, un'analisi non-lineare di tipo push-over o un'analisi dinamica di tipo time-history, quest'ultima rappresenta lo strumento più evoluto di cui dispone il progettista per la valutazione delle prestazioni del singolo manufatto. Tuttavia l'onere computazionale per analisi di questo tipo risulta essere elevato a causa della difficoltà di reperire informazioni idonee per una modellazione sufficientemente realistica e precisa affinché la procedura possa offrire risultati affidabili come la rappresentazione del comportamento non lineare della struttura e la formazione delle plasticità concentrate (cerniere plastiche).

In alternativa si può quindi ricorrere a **metodi empirici** più semplici e immediatamente applicabili, il cui scopo è quello di fornire indicazioni realistiche riguardo la performance sismica del manufatto pur senza dover realizzare una pesante analisi dello stesso, basandosi dunque su relativamente pochi parametri macroscopici facilmente valutabili e rilevabili. Essi si basano su curve di fragilità calcolate da studi precedenti, per esempio le curve di fragilità calcolate da Spence et al. (1992) il quale ha calcolato curve di fragilità per 14 classi degli edifici, espressi come funzioni dell'intensità macrosismica. Questi risultati sono stati ottenuti da un'indagine di 70000 edifici sottoposti a 13 diversi terremoti. Altri studi sono quelli di Sabetta et al. (1998) i quali hanno sviluppato curve di fragilità empiriche studiando i dati di 50000 edifici italiani. Un altro lavoro simile è stato compiuto da Rota et al. (2006) sempre su edifici italiani. Infine, Rossetto ed Elnashai (2003) hanno sviluppato funzioni empiriche per varie tipologie di edifici RC da un database di 340000 edifici esposti a 19 terremoti.

I metodi empirici offrono quindi vantaggio di calcoli basati su dati reali osservati, per vari aspetti come interazione terreno-struttura, topografici e variabilità della capacità strutturale. Tuttavia, questo può anche trasformarsi in un inconveniente poiché le curve di fragilità ricavate empiricamente rimangono specifiche di una determinata zona, con condizioni particolari di sito, parametri di terremoto noti (ampiezza, profondità, ecc.) e

capacità strutturale degli edifici. Inoltre i dati spesso sono basati su eventi di bassa magnitudo con danno limitato, fornendo così curve di fragilità che possono essere inaffidabili per eventi di magnitudo maggiore portando, quindi, ad una grande incertezza.

4.1. CURVE DI FRAGILITÀ SECONDO IL METODO HAZUS

Il metodo ripreso dalla normativa americana Hazus e dalla sua erede europea Risk-UE è basato sui dati raccolti a seguito di importanti eventi sismici. Esso si basa sulla verificata ipotesi che, capacità strutturale e richiesta sismica, siano trattabili come variabili aleatorie che si adattano ad una distribuzione probabilistica di tipo log-normale. Considerando tale rappresentazione si può quindi ottenere una funzione di densità di probabilità cumulativa che corrisponde alla curva di fragilità.

In tale metodologia ciascuna curva di fragilità è caratterizzata da due parametri: la media e la deviazione standard del parametro sismico in corrispondenza del quale si realizza un certo livello di danno.

$$P(ds \geq ds_i/IM) = \Phi \cdot \left[\frac{1}{\beta_{tot}} \cdot \ln \left(\frac{IM}{\overline{IM}_m} \right) \right]$$

Dove:

- $P(ds \geq ds_i/IM)$ è la densità di probabilità cumulativa di eccedere un particolare livello di danno ds_i per un parametro di intensità sismica IM;
- \overline{IM}_m è il valore medio dell'intensità sismica, per esempio l'accelerazione di picco alla base, o lo spostamento, in corrispondenza alla quale si raggiunge lo stato di danno ds_i ;
- β_{tot} è la deviazione standard totale del logaritmo naturale;
- Φ è la funzione continua di distribuzione cumulativa normale;

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dove:

- x è il punto dove si calcola il valore;
- μ è il valore medio della distribuzione;
- σ è la deviazione standard della distribuzione.

In generale, si stima l'incertezza dei parametri fragilità attraverso la deviazione standard β_{tot} , che descrive la variabilità totale associata a ogni curva di fragilità. Si considerano solitamente tre principali fonti di incertezza, vale a dire la definizione di livelli di danno β_{ds} , la risposta e la resistenza dell'elemento β_C e il terremoto ingresso β_D .

La variabilità totale è modellata dalla combinazione dei tre parametri appena descritti, supponendo che essi siano variabili stocastiche indipendenti e con distribuzione log-normale:

$$\beta_{tot} = \sqrt{\beta_{ds}^2 + \beta_C^2 + \beta_D^2}$$

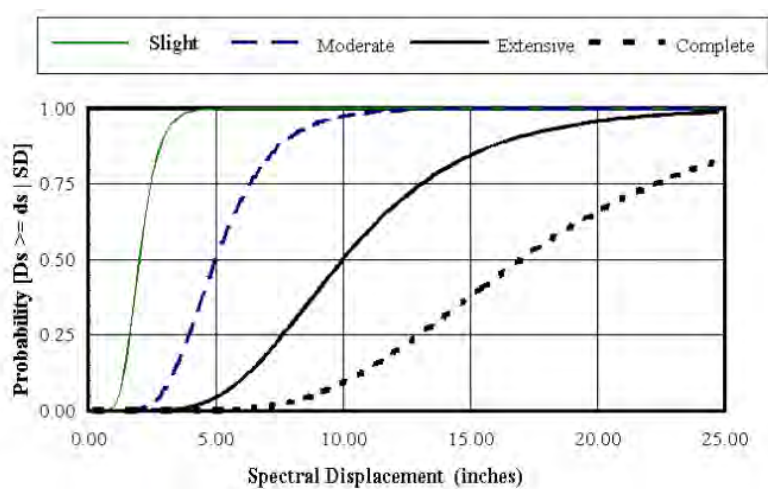


Fig. 5 – Esempio di curva di fragilità fornita dal manuale di HAZUS

Secondo la procedura HAZUS, la curva di fragilità per un edificio di una determinata tipologia, può essere quindi espressa come una funzione cumulativa log-normale rispetto l'accelerazione spettrale:

$$P(ds \geq ds_i/PGA) = \Phi \cdot \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \cdot \ln \left(\frac{PGA}{\overline{PGA}_{ds_i}} \right) \right]$$

Dove:

- $P(ds \geq ds_i/PGA)$ è la densità di probabilità cumulativa di eccedere un particolare livello di danno ds_i ;
- \overline{PGA}_{ds_i} è il valore medio dell'accelerazione di picco al suolo in corrispondenza alla quale si raggiunge lo stato di danno ds_i ;
- β_{ds} è la deviazione standard totale del logaritmo naturale;
- Φ è la funzione continua di distribuzione cumulativa normale.

La deviazione standard β_{ds} è solitamente ottenuta combinando tre tipi di incertezze:

- incertezza sulla definizione dello stato danno;
- incertezza sulla risposta strutturale dell'elemento (curva di capacità);
- incertezza sulla domanda sismica (spettro di risposta).

La stima della deviazione standard β_{ds} , che rappresenta la variabilità della curva fragilità, è ottenuta attraverso una convoluzione tra β_C (deviazione standard per la variabilità della curva di capacità) e β_D (deviazione standard per la variabilità della domanda sismica), e combinata con $\beta_{M(ds)}$ (incertezza sulla definizione del livello di danno).

$$\beta_{ds} = \sqrt{(\text{CONV} [\beta_C, \beta_D])^2 + (\beta_{M(ds)})^2}$$

Il metodo HAZUS sostiene che il valore $\beta_{M(ds)} = 0,4$ possa essere utilizzato per tutti i livelli di danno, così come β_C è assunto pari a 0,25 per gli edifici progettati secondo le normative antisismiche mentre si utilizza 0,3 per quelli costruiti prima di una normativa adeguata.

In Italia gli edifici produttivi sono costruiti principalmente secondo la tipologia “struttura in calcestruzzo prefabbricata con pareti perimetrali collegate con bulloni”. Dal manuale di HAZUS ne deriva che la tipologia in esame è classificata con la sigla PC1, ovvero “Precast Concrete Tilt-Up Walls”.

Per questa tipologia specifica i livelli di danno sono definiti come:

- **Lieve danno strutturale:** incrinature diagonali sulle pareti di taglio in calcestruzzo; grandi crepe nei muri con presenza di porte o finestre; scheggiatura del calcestruzzo limitata a poche zone; lieve separazione delle pareti dal pavimento e dalle coperture; capillari crepe intorno ai connettori di metallo tra pannelli e sulle connessioni con le travi;
- **Moderato danno strutturale:** la maggior parte delle superfici delle pareti mostra crepe diagonali; grandi crepe nei muri con porte o finestre; alcune pareti di taglio hanno superato le loro capacità di rendimento indicato da grandi fessure diagonali

e distacchi di calcestruzzo. Le crepe possono apparire in cima alla parete vicino ai collegamenti tra i pannelli indicanti la rottura del vincolo. Alcune pareti possono essere visibilmente staccate dal tetto. Alcune delle connessioni dei pannelli possono essere rotte, indicate dalla scheggiatura del calcestruzzo intorno ad esse;

- **Vasto danno strutturale:** le pareti di taglio hanno superato la loro resistenza ultima rappresentata da grandi fessure diagonali, dallo sfaldamento intorno alle crepe e dalla deformazione visibile della parete. Il crollo parziale del tetto può derivare dalla rottura della parete con caduta di pannelli perimetrali;
- **Danno strutturale completo:** la struttura è crollata o è in imminente pericolo di crollo a causa del fallimento degli elementi strutturali e delle connessioni. In questo livello di danno si ipotizza che circa il 15% della superficie totale degli edifici sia crollata.

Il manuale di HAZUS, riferito alla normativa Americana, fornisce i parametri per la costruzione delle curve di fragilità in relazione a 4 classi di design sismico degli edifici:

- **Pre-code:** edifici con un bassissimo livello di progettazione sismica o costruiti prima di una adeguata normativa sismica;
- **Low-code:** edifici con un basso livello di progettazione sismica, cioè edifici costruiti secondo le normative pre-1980;
- **Moderate-code:** edifici con un livello medio di progettazione sismica, cioè edifici costruiti secondo le normative post-1980 e con un ragionevole dettaglio di progettazione degli elementi sismo-resistenti;
- **High-code:** edifici con un maggiore livello di progettazione antisismica costruiti secondo la nuova generazione di codici (come l'Eurocodice 8).

	Lieve (DS1)		Moderato (DS2)		Vasto (DS3)		Completo (DS4)	
	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β
Pre-code	0,11	0,64	0,14	0,64	0,21	0,64	0,35	0,64
Low-code	0,13	0,64	0,17	0,64	0,25	0,64	0,45	0,64
Moderate-code	0,18	0,64	0,24	0,64	0,44	0,64	0,71	0,64
High-code	0,20	0,64	0,35	0,64	0,72	0,64	1,25	0,64

Tab. 1 – Parametri forniti dal metodo HAZUS per la categoria PC1

Per il caso in esame, si è deciso di considerare due classi di progettazione. Si sono calcolate così le curve di fragilità per gli edifici industriali secondo la tipologia PC1 per il livello di progettazione “Low-code” e per il livello “High-code”.

Questa scelta è dovuta al fatto che la diffusione sul suolo italiano di questa tipologia di edifici è avvenuta con il cosiddetto “Miracolo Economico Italiano” avvenuto tra gli anni sessanta e settanta.

Una volta definiti gli stati di danno, o Performance Level, e il livello di design sismico è possibile andare a tracciare le curve di fragilità per ciascuno di questi.

Valori numerici ottenuti per la curva di fragilità calcolata secondo i parametri “Low-code:

PGA [g]	Prob. Lieve	Prob. Moderato	Prob. Vasto	Prob. Completo
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,10	0,34092	0,20352	0,07611	0,00938
0,20	0,74956	0,60023	0,36367	0,10256
0,30	0,90433	0,81259	0,61213	0,26319
0,40	0,96047	0,90939	0,76864	0,42699
0,50	0,98235	0,95407	0,86061	0,56538
0,60	0,99157	0,97561	0,91433	0,67347
0,70	0,99574	0,98650	0,94617	0,75502
0,80	0,99774	0,99224	0,96542	0,81568
0,90	0,99875	0,99539	0,97733	0,86061
1,00	0,99928	0,99719	0,98485	0,89392
1,10	0,99958	0,99824	0,98969	0,91873
1,20	0,99974	0,99887	0,99288	0,93731
1,30	0,99984	0,99926	0,99500	0,95130
1,40	0,99990	0,99951	0,99645	0,96192
1,50	0,99993	0,99967	0,99744	0,97003
1,60	0,99996	0,99977	0,99814	0,97626
1,70	0,99997	0,99984	0,99863	0,98109
1,80	0,99998	0,99989	0,99898	0,98485

1,90	0,99999	0,99992	0,99924	0,98779
2,00	0,99999	0,99994	0,99942	0,99012

Tab. 2 – Valori numerici per la curva di fragilità “low-code”

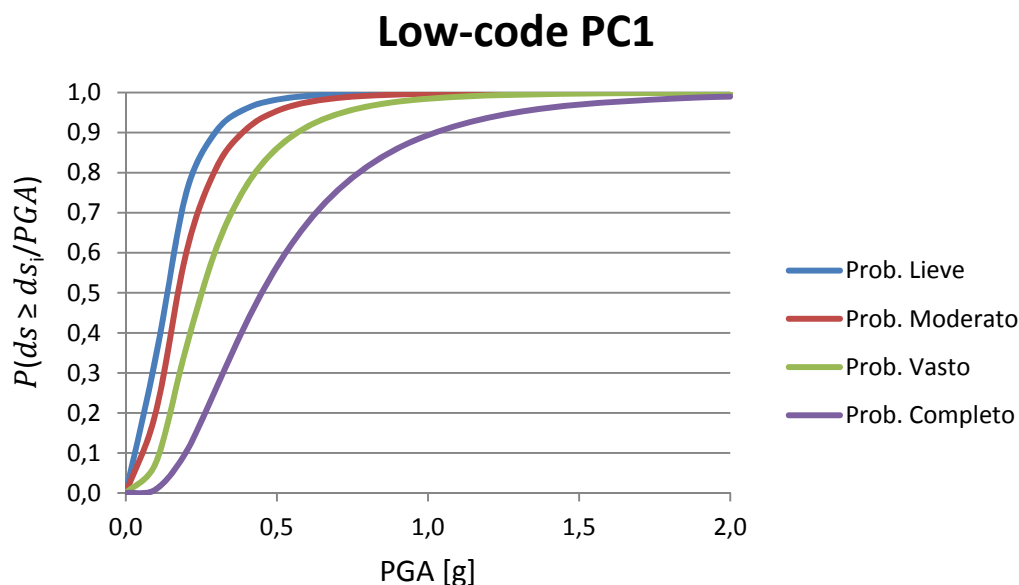


Fig. 6 – Curva di fragilità edifici “low-code”

Si può notare come, a parità di PGA, la probabilità di ottenere uno stato di danno decresce all’aumentare dell’entità del danno stesso. Infatti, a parità di probabilità si ottiene uno stato di danno maggiore con valori della PGA maggiori e viceversa.

Valori numerici ottenuti per la curva di fragilità calcolata secondo i parametri “High-code”:

PGA [g]	Prob. Lieve	Prob. Moderato	Prob. Vasto	Prob. Completo
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,10	0,13939	0,02515	0,00102	0,00004
0,20	0,50000	0,19095	0,02267	0,00210
0,30	0,73681	0,40483	0,08567	0,01288
0,40	0,86061	0,58264	0,17920	0,03751
0,50	0,92389	0,71134	0,28442	0,07611
0,60	0,95697	0,80016	0,38787	0,12573
0,70	0,97485	0,86061	0,48245	0,18248
0,80	0,98485	0,90177	0,56538	0,24280
0,90	0,99062	0,92999	0,63633	0,30388
1,00	0,99404	0,94953	0,69612	0,36367

1,10	0,99614	0,96321	0,74608	0,42084
1,20	0,99744	0,97290	0,78761	0,47457
1,30	0,99828	0,97983	0,82206	0,52443
1,40	0,99882	0,98485	0,85060	0,57028
1,50	0,99918	0,98851	0,87427	0,61213
1,60	0,99942	0,99122	0,89392	0,65015
1,70	0,99959	0,99323	0,91027	0,68454
1,80	0,99970	0,99475	0,92389	0,71558
1,90	0,99978	0,99589	0,93526	0,74352
2,00	0,99984	0,99677	0,94479	0,76864

Tab. 3 – Valori numerici per la curva di fragilità “high-code”

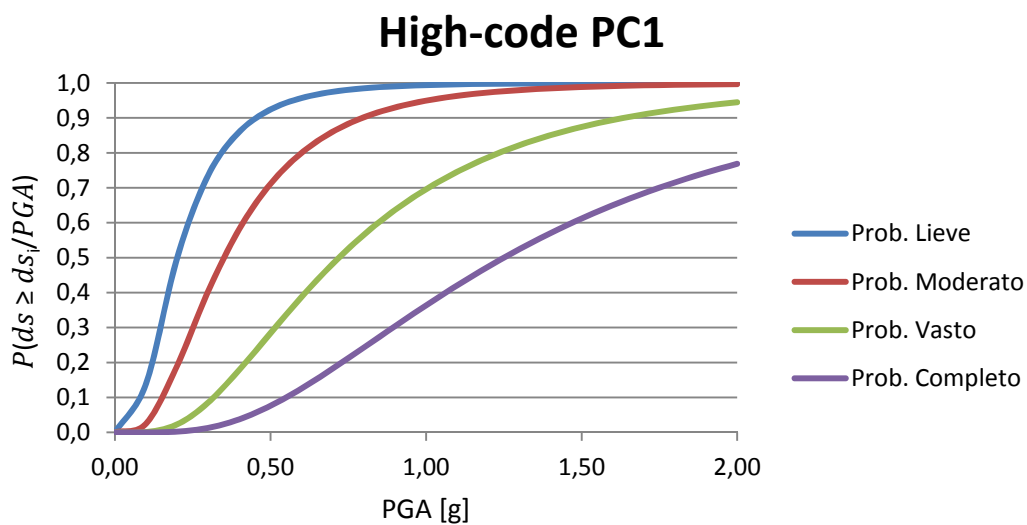


Fig. 7 – Curva di fragilità edifici “high-code”

Si riporta un grafico a titolo di confronto tra i due approcci analizzati.

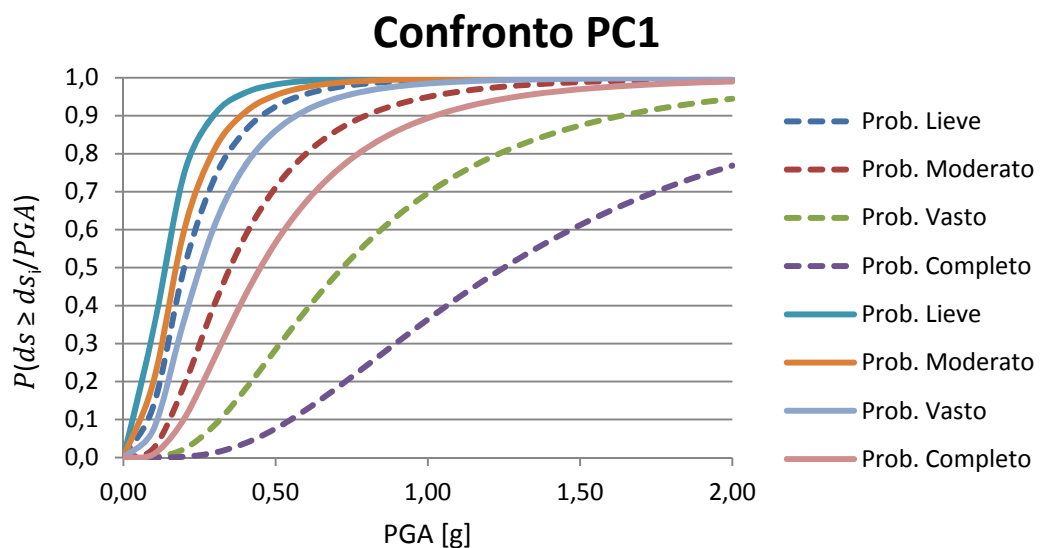


Fig. 8 – Confronto fra le curve di fragilità

Si può notare come un approccio del tipo “Low-code” (linee continue) porti ad avere risultati superiori rispetto a un approccio “High-code” (linee tratteggiate). Infatti, a parità di accelerazione di picco al suolo (PGA) e di livello di danno si ottiene una probabilità più elevata per gli edifici costruiti secondo il livello di progettazione “Low-code” a differenza degli edifici costruiti secondo il livello “High-code”. Questo vuol dire che per una data PGA, dovuta ad un evento sismico, la probabilità di ottenere il livello di danno ds_i è maggiore per gli edifici costruiti senza una normativa sismica.

4.2. CURVE DI FRAGILITÀ PER GLI IMPIANTI PRODUTTIVI

Per il calcolo delle curve di fragilità degli impianti industriali si utilizzano i parametri forniti dal progetto Syner-G.

Per questa tipologia specifica i livelli di danno sono definiti come:

- **Danno lieve:** è definito dal malfunzionamento degli impianti produttivi per un breve periodo (meno di tre giorni) a causa della perdita di energia elettrica e di alimentazione di riserva, o lievi danni agli edifici;
- **Danno moderato:** è definito dalla perdita di energia elettrica per circa una settimana, notevoli danni alle apparecchiature meccaniche ed elettriche, o danni moderati agli edifici;
- **Danno vasto:** è definito da ampi danni all’edificio e macchinari gravemente danneggiati o irreparabili;
- **Danno completo:** è definito dal crollo dell’edificio.

Si distinguono classi di esposizione dei macchinari:

- **Macchinari ancorati:** relativi agli edifici progettati secondo una normativa antisismica;
- **Macchinari non ancorati:** relativi agli edifici non progettati secondo una normativa antisismica.

	Lieve (DS1)		Moderato (DS2)		Vasto (DS3)		Completo (DS4)	
	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β
Ancorati	0,15	0,75	0,34	0,65	0,77	0,65	1,50	0,80
Non ancorati	0,12	0,60	0,24	0,65	0,77	0,65	1,50	0,80

Tab. 4 – Parametri per gli impianti produttivi

Valori numerici ottenuti per la curva di fragilità calcolata secondo i parametri “Macchinari ancorati”:

PGA [g]	Prob. Lieve	Prob. Moderato	Prob. Vasto	Prob. Completo
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,05	0,07149	0,00159	0,00001	0,00001
0,10	0,29438	0,02987	0,00084	0,00036
0,20	0,64935	0,20715	0,01904	0,00589
0,30	0,82231	0,42365	0,07351	0,02212
0,40	0,90452	0,59872	0,15683	0,04925
0,50	0,94579	0,72352	0,25326	0,08483
0,60	0,96773	0,80889	0,35057	0,12603
0,70	0,98001	0,86671	0,44171	0,17038
0,80	0,98719	0,90598	0,52345	0,21600
0,90	0,99155	0,93288	0,59484	0,26156
1,00	0,99429	0,95151	0,65619	0,30614
1,10	0,99605	0,96457	0,70840	0,34912
1,20	0,99722	0,97382	0,75257	0,39015
1,30	0,99801	0,98046	0,78980	0,42902
1,40	0,99855	0,98527	0,82115	0,46564
1,50	0,99893	0,98880	0,84753	0,50000
1,60	0,99920	0,99141	0,86974	0,53215
1,70	0,99940	0,99336	0,88847	0,56216
1,80	0,99954	0,99483	0,90429	0,59014
1,90	0,99964	0,99594	0,91767	0,61619
2,00	0,99972	0,99680	0,92901	0,64043

Tab. 5 – Valori numerici per la curva di fragilità “Macchinari ancorati”

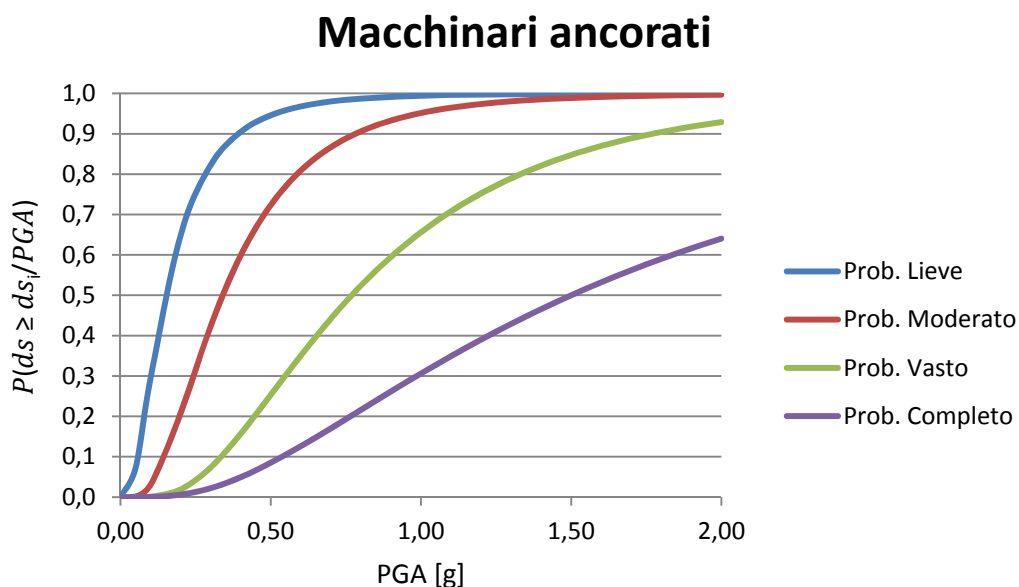


Fig. 9 – Curva di fragilità “Macchinari ancorati”

Si può notare come, a parità di PGA, la probabilità di ottenere uno stato di danno decresce all’aumentare dell’entità del danno stesso. Infatti, a parità di probabilità si ottiene uno stato di danno maggiore con valori della PGA maggiori e viceversa.

Valori numerici ottenuti per la curva di fragilità calcolata secondo i parametri “Macchinari non ancorati”:

PGA [g]	Prob. Lieve	Prob. Moderato	Prob. Vasto	Prob. Completo
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,05	0,07227	0,00447	0,00001	0,00001
0,10	0,38061	0,07227	0,00084	0,00036
0,20	0,80272	0,38061	0,01904	0,00589
0,30	0,93664	0,64502	0,07351	0,02212
0,40	0,97761	0,80272	0,15683	0,04925
0,50	0,99131	0,88939	0,25326	0,08483
0,60	0,99635	0,93664	0,35057	0,12603
0,70	0,99836	0,96279	0,44171	0,17038
0,80	0,99922	0,97761	0,52345	0,21600
0,90	0,99961	0,98620	0,59484	0,26156
1,00	0,99980	0,99131	0,65619	0,30614
1,10	0,99989	0,99442	0,70840	0,34912
1,20	0,99994	0,99635	0,75257	0,39015
1,30	0,99996	0,99757	0,78980	0,42902

1,40	0,99998	0,99836	0,82115	0,46564
1,50	0,99999	0,99887	0,84753	0,50000
1,60	0,99999	0,99922	0,86974	0,53215
1,70	1,00000	0,99945	0,88847	0,56216
1,80	1,00000	0,99961	0,90429	0,59014
1,90	1,00000	0,99972	0,91767	0,61619
2,00	1,00000	0,99980	0,92901	0,64043

Tab. 6 – Valori numerici per la curva di fragilità “Macchinari non ancorati”

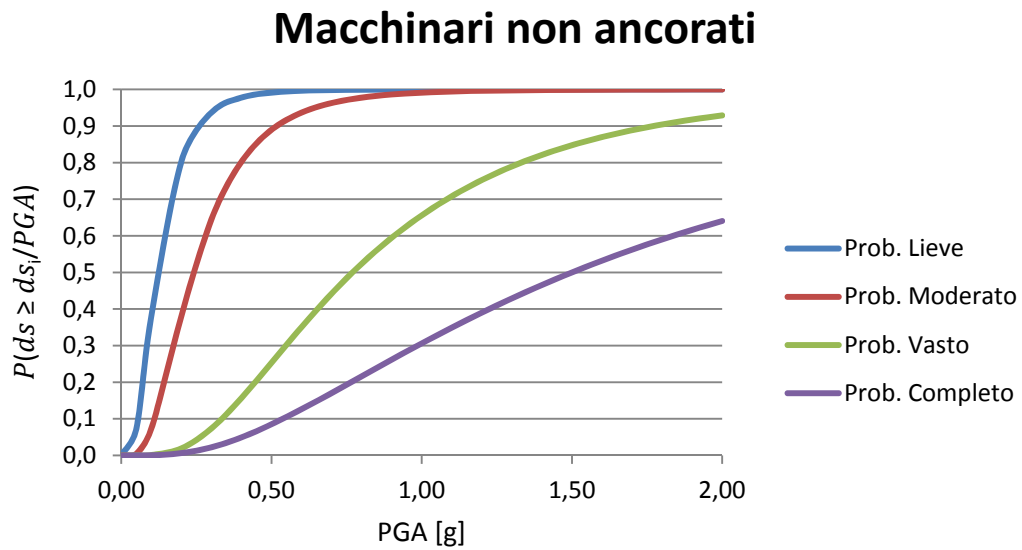


Fig. 10 – Curva di fragilità “Macchinari non ancorati”

Si riporta un grafico a titolo di confronto tra i due approcci analizzati.

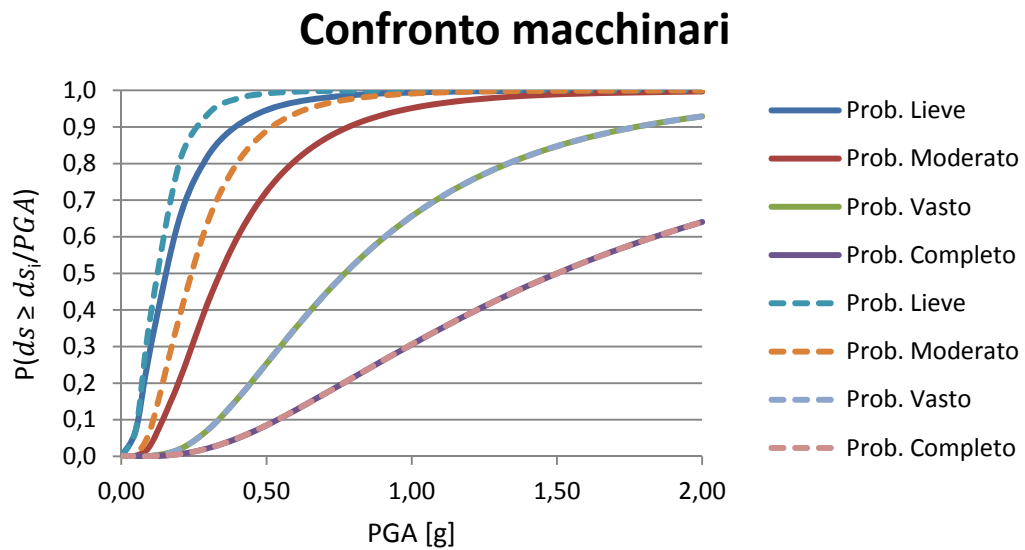


Fig. 11 – Confronto fra le curve di fragilità

Si può notare come un approccio del tipo “Macchinari ancorati” (linee continue) porti ad avere risultati inferiori rispetto a un approccio “Macchinari non ancorati” (linee tratteggiate). Si può notare inoltre che per lo stato di danno vasto e completo le curve di fragilità dei due approcci si sovrappongono.

4.3. CURVE DI FRAGILITÀ PER LE SCAFFALATURE

Per il calcolo delle curve di fragilità delle scaffalature si utilizzano i parametri forniti dalla documentazione FEMA.

	Lieve (DS1)		Moderato (DS2)		Vasto (DS3)		Completo (DS4)	
	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β
Scaffalature	0,30	0,60	0,70	0,60	0,90	0,50	1,50	0,50

Tab. 7 – Parametri per le scaffalature

Valori numerici calcolati:

PGA [g]	Prob. Lieve	Prob. Moderato	Prob. Vasto	Prob. Completo
0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
0,05	0,00141	0,00001	0,00000	0,00000
0,10	0,03355	0,00059	0,00001	0,00000
0,20	0,24959	0,01840	0,00131	0,00003
0,30	0,50000	0,07895	0,01400	0,00064
0,40	0,68420	0,17549	0,05242	0,00410
0,50	0,80272	0,28747	0,11988	0,01400
0,60	0,87601	0,39862	0,20870	0,03343
0,70	0,92105	0,50000	0,30761	0,06372
0,80	0,94895	0,58806	0,40688	0,10434
0,90	0,96645	0,66234	0,50000	0,15347
1,00	0,97761	0,72390	0,58345	0,20870
1,10	0,98482	0,77437	0,65592	0,26753
1,20	0,98957	0,81549	0,71748	0,32769
1,30	0,99274	0,84890	0,76897	0,38736
1,40	0,99488	0,87601	0,81156	0,44513
1,50	0,99635	0,89800	0,84653	0,50000
1,60	0,99736	0,91587	0,87508	0,55135
1,70	0,99808	0,93041	0,89831	0,59883

1,80	0,99859	0,94227	0,91717	0,64231
1,90	0,99895	0,95197	0,93247	0,68181
2,00	0,99922	0,95992	0,94487	0,71748

Tab. 8 – Valori numerici per le scaffalature

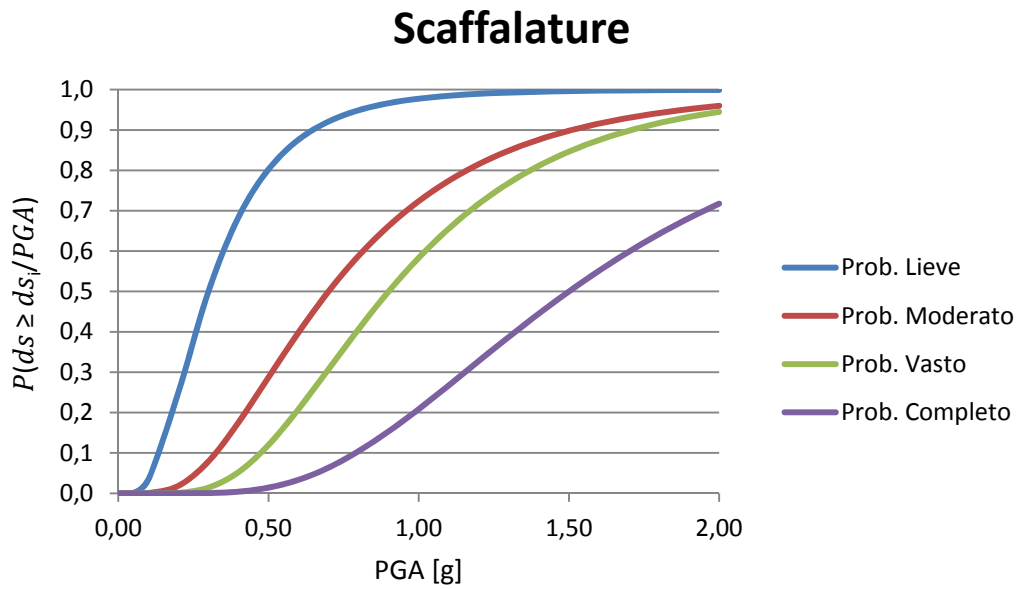


Fig. 12 – Curve di fragilità per le scaffalature

5. TIPOLOGIE DI DANNI DEGLI EDIFICI INDUSTRIALI

L'elevata vulnerabilità delle strutture prefabbricate monopiano a grandi luci progettate per sole azioni non sismiche e, più in generale, delle strutture prive di continuità e robustezza strutturale, è stata evidenziata dai numerosi crolli registrati dopo le scosse dell'Emilia Romagna nel maggio 2012.

Il tema è assai rilevante sia sotto il profilo della sicurezza e la salvaguardia della vita, sia sotto il profilo sociale ed economico, per la natura e il livello tecnologico delle numerose aziende operanti sul territorio. In altri termini, al tema della salvaguardia della vita, nel caso degli edifici industriali si associa il tema della salvaguardia del valore esposto – attrezzature, lavorati e semilavorati stoccati nei magazzini – e, soprattutto, della continuità operativa delle aziende.

La duplice esigenza di salvaguardia della vita e di tempestiva ripresa del tessuto economico e produttivo sul quale impattano le costruzioni con destinazione industriale si traduce nella definizione di un orizzonte temporale evidentemente compresso e apparentemente contrastante con le esigenze tecniche operative.

5.1. PERDITA DI APPOGGIO E DANNI ALLE CONNESSIONI TRA ELEMENTI STRUTTURALI

La causa più frequente di danneggiamento negli edifici prefabbricati monopiano è la perdita di appoggio degli elementi strutturali orizzontali, tegoli di copertura e travi, dagli elementi di supporto, travi e pilastri. Tale fenomeno è dovuto nella maggior parte dei casi all'assenza di vincoli di tipo meccanico, quindi il collegamento fa affidamento sul solo attrito per la trasmissione delle forze orizzontali. In alcuni casi, è può avvenire il collasso di collegamenti di tipo meccanico trave-pilastro con crisi del calcestruzzo, evidenziata dalla rottura del copriferro ed espulsione dello spinotto.



Fig. 13 - Perdita di appoggio della trave e collasso della copertura



Fig. 14 - Perdita parziale di appoggio della trave



Fig. 15 - Perdita di appoggio della trave con rottura della connessione



Fig. 16 - Perdita di appoggio della capriata

5.2. COLLASSO DI ELEMENTI DI TAMPONATURA

Il sistema di chiusura degli edifici monopiano prefabbricati è costituito nella maggior parte dei casi da pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato disposti orizzontalmente o verticalmente. Sia i pannelli orizzontali che quelli verticali possono essere ancorati ai pilastri o alle travi attraverso diverse tipologie di connessione.

Nelle strutture danneggiate dal sisma, si può riscontrare il collasso di queste connessioni con crollo dei pesanti pannelli di tamponatura.

Nei casi in cui i pannelli orizzontali sono vincolati da una parte a pilastri che portano la copertura e dall'altra a pilastri rompitratta: il differente spostamento dei due pilastri può essere una causa di crollo.

Negli edifici meno recenti si può riscontrare la presenza di tamponamenti in laterizio. In questo caso, la tamponatura può subire gravi danni (fessurazioni importanti per meccanismi in piano) oppure collassare per ribaltamento (meccanismi fuori dal piano).



Fig. 17 - Crisi della connessione di un pannello di tamponatura



Fig. 18 - Collasso imminente pannelli orizzontali di tamponamento



Fig. 19 - Collasso dei pannelli orizzontali di tamponamento



Fig. 20 - Collasso dei pannelli orizzontali di tamponamento



Fig. 21 – Dettaglio della connessione in corrispondenza del pilastro



Fig. 22 – Crisi fuori dal piano di una tamponatura in laterizio

5.3. DANNI AI PILASTRI

Nelle strutture monopiano prefabbricate gli elementi resistenti verticali, ossia i pilastri, sono generalmente elementi vincolati al piede tramite un plinto a bicchiere, che costituisce per il pilastro un vincolo d'incastro, mentre in testa sono collegati alle travi tramite vincoli a cerniera o carrello. Pertanto lo schema statico del pilastro è quello di una mensola incastrata alla base del bicchiere.

In presenza di sollecitazioni sismiche può accadere che il pilastro perda la verticalità a causa di una rotazione rigida al piede. Questa può essere associata alla rotazione dell'intero elemento di fondazione oppure al danneggiamento dei componenti in cemento armato di sostegno (bicchieri, plinti).

Può succedere che alla base dei pilastri possa formarsi una cerniera plastica, in alcuni casi solo con formazione di fessure, in altri con l'espulsione del copriferro ed instabilizzazione delle barre, questo secondo caso avviene generalmente nei casi in carenza di armatura trasversale.



Fig. 23 – Perdita di verticalità del pilastro per rottura alla base



Fig. 24 – Rotazione pilastro con formazione di cerniera plastica



Fig. 25 – Espulsione del copriferro alla base del pilastro



Fig. 26 – Cerniera plastica alla base del pilastro

6. DANNI DIRETTI E DANNI INDIRETTI

A seguito di un evento sismico importante, lo scenario cui si deve far fronte rivela grandissime perdite in termini economici e non solo. Parametro molto importante in questa fase è il tempo necessario per ripristinare l'economia dell'area al fine di ridurre al minimo i costi da danni indiretti.

Le perdite indotte da un evento sismico, infatti, si possono classificare in:

- **Danni diretti:** perdite economiche derivanti dal danneggiamento o dal collasso della struttura;
- **Danni indiretti:** perdite legate all'uso che la struttura aveva precedentemente il terremoto.

Nel caso in esame si sono analizzati gli edifici ad uno produttivo dove le perdite dirette possono essere assunte dovute al danneggiamento della struttura che ospita l'attività produttiva e il danneggiamento di tutte quei macchinari, materie prime o prodotti finiti presenti all'interno dell'edificio. Per perdite indirette, invece, si intendono tutte quelle perdite derivanti dall'impossibilità di utilizzo dell'edificio o di riduzione della produzione.

Danni diretti:

- Edifici e relativi impianti connessi;
- Apparecchiature, macchinari e attrezzature;
- Merci (materie prime, prodotti finiti e semilavorati);
- Apparecchiature elettroniche.

Danni indiretti, cioè perdite finanziarie conseguenti ad un danno diretto:

- Interruzione di attività con perdita di profitto e mantenimento di costi fissi;
- Spese extra o maggiori costi per il proseguo dell'attività.

Il problema dei danni indiretti è più grande di quello che sembra, infatti, le conseguenze possono ripercuotersi anche su altre aziende che non hanno subito direttamente i danni del terremoto. Basta pensare a tutte quelle lavorazioni che un bene necessita prima di

essere immesso sul mercato, eseguite da aziende diverse e dislocate sul territorio. Per esempio, la riduzione della produzione, o la sua assenza, in un'azienda direttamente colpita dal terremoto, può comportare l'assenza di materiale da destinare ad una seconda azienda nel pieno delle sue funzionalità. Di conseguenza anche la seconda azienda subisce una perdita a causa di un mancato utilizzo del potenziale in suo possesso e dell'impossibilità di coprire o ammortizzare i costi sostenuti con nuove entrate durante il periodo di ripristino. Questo, visto su larga scala, ovvero per tutto il ciclo produttivo e per tutte le aziende danneggiate, comporta dei costi enormi all'economia ma anche ai proprietari delle aziende stesse senza contare la quantità di persone rimaste senza un lavoro o poste in cassa integrazione.

Manca da considerare l'effetto del sisma sulle infrastrutture e sui servizi di trasporto, causa di ritardi e, nella peggiore delle ipotesi, mancata consegna delle fonti necessarie per l'attività produttiva nei tempi previsti.

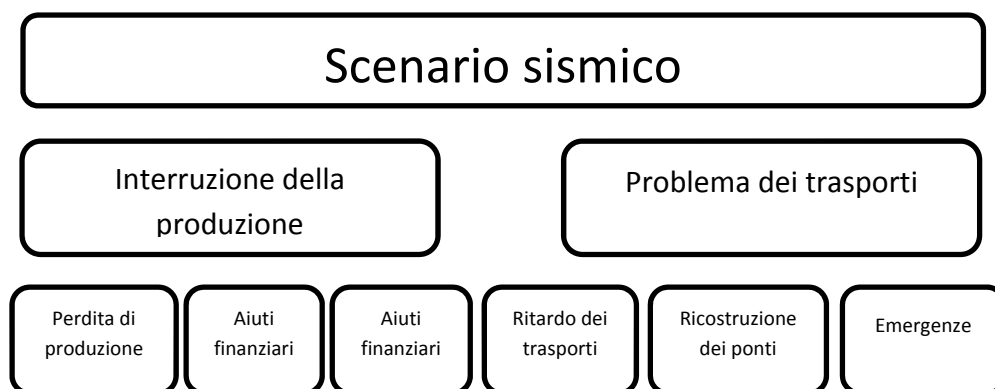


Fig. 27 – Schema concettuale

Dai dati rilevati negli ultimi terremoti l'entità dei danni indiretti è stata registrata pari a 10 o 100 volte l'entità dei danni diretti.

Perciò, il danno economico relativo ad un'area produttiva risulta funzione della produttività residua post-sisma, della funzionalità residua, della fragilità dell'edificio e del terremoto fornito in input.

$$BD = f(PR, RF, F, E)$$

Dove:

- BD è il danno economico;
- PR è la produttività residua;
- RF è la funzionalità residua;
- F è la fragilità dell'edificio;
- E è il sisma.

6.1. FUNZIONALITÀ RESIDUA

La funzionalità residua di un edificio produttivo è fortemente legata lo stato di danneggiamento dell'edificio dove avviene la produzione. Se il danno è lieve, sono necessarie alcune piccole riparazioni, che vanno dal 10 % al 30 %, e la riduzione della produttività è molto bassa. Se il danno è moderato, il lavoro necessario per ripristinare gli edifici è maggiore e si abbassa la produzione, si ha un dimezzamento della produttività residuale della zona. Se la zona ha sofferto danno ancora maggiore, solo alcuni edifici sono in condizioni idonee tali per consentire la produzione, in questo caso si considera una riduzione pari all'80 % della produzione. Se gli edifici sono crollati, la produzione non è più possibile, quindi la funzionalità residua è nulla.

Questo è il modello adottato da F. Carturan in "Seismic risk analysis of revenue losses, gross regional product and transportation system", relativo alla zona di Treviso, nel quale si prevede appunto un andamento della distribuzione di produzione che varia al variare del livello di danno.

I parametri relativi alla riduzione della produzione utilizzati sono:

- 1 per il livello di danno "**Irrilevante**";
- $\alpha = 0,8$ per il livello di danno "**Lieve**";
- $\beta = 0,4$ per il livello di danno "**Moderato**";
- $\gamma = 0,2$ per il livello di danno "**Vasto**";
- 0 per il livello di danno "**Completo**".

I parametri α , β , γ possono essere calcolati sulla base di dati storici in riferimento ad eventi sismici passati.

Modello di funzionalità residua

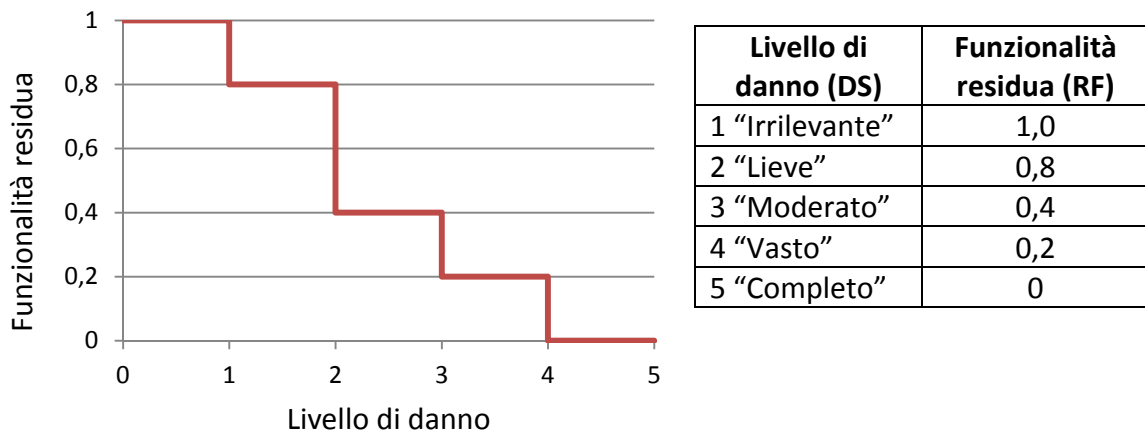


Fig. 28, Tab. 9 – Modello di funzionalità residua

In conclusione, la riduzione della produzione e la riduzione di profitto possono essere schematizzate con il seguente diagramma.

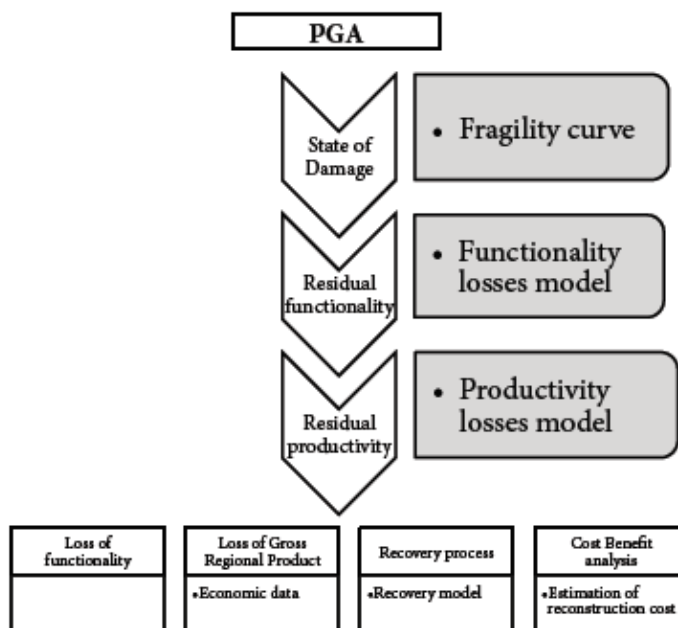


Fig. 29 – Schema di danno del sistema produttivo

Dato come input la misura dell'intensità di terremoto si può determinare, mediante le curve di fragilità, lo stato di danno. Quest'ultimo fornisce il dato di ingresso per il modello di funzionalità residua al fine di ricavare la perdita di funzionalità dell'edificio in seguito ad un sisma di intensità nota. Perciò, attraverso il modello di funzionalità residua si può determinare la produzione residua mediante un modello di perdita di produttività. Il risultato finale cui si può arrivare sarà la determinazione del processo e del tempo di ripristino, un'informazione relativa alla perdita in termini monetari e un'analisi costi-benefici.

Quest'ultima serve all'ente erogatore di fondi di aiuti per capire se è conveniente, in termini di costi, ripristinare un'area danneggiata in rapporto al profitto che quell'area può apportare quando è in piena funzionalità.

7. VALORE ESPOSTO AL SISMA

Fino ad ora, per gli edifici industriali, sono stati definiti due modelli di fragilità e all'interno di ogni modello si sono distinti quattro livelli di danno (lieve, moderato, vasto e completo). Nessun riferimento alla ricostruzione e al valore dell'edificio esposto al rischio sismico è ancora stato fatto.

L'intervento da eseguire in seguito al livello di danno "completo", cioè collasso della struttura o pericolo di crollo, è inevitabilmente quello della ricostruzione al nuovo. Il costo di riparazione/ricostruzione è valutato per tutti i livelli di danno ed è considerato per unità produttiva.

Il costo di ricostruzione corrispondente allo stato limite ultimo di danno è stato assunto pari a $RC_{finale} = 1.000.000$ €. Questo deriva dal fatto che il costo medio di costruzione per edifici ad uso industriale è stimato intorno a questo valore quasi uniforme su tutto il territorio italiano. Inoltre, si può assumere che il costo di riparazione corrispondente all'*i*-esimo livello di danno possa essere calcolato dalla relazione:

$$RC(DS_i) = \left(\frac{i}{n}\right)^\alpha \cdot RC_{finale}$$

Dove:

- $RC(DS_i)$ è il costo di ricostruzione corrispondente al livello di danno DS_i ;
- α è un parametro che deve essere calibrato;
- n è il numero totale di livelli di danno;
- i è il livello di danno *i*-esimo considerato;
- RC_{finale} è il costo di ricostruzione al nuovo assunto pari a 1.000.000 €.

Il parametro α da una relazione lineare o meno tra i livelli di danno e i costi di ricostruzione. Infatti, se $\alpha = 1$ si ottiene appunto una dipendenza lineare tra i costi di riparazione o lo stato limite considerato; qualora invece, sia $\alpha > 1$ porta una riduzione dei costi per gli stati limite intermedi.

Nel il caso in esame si assume $\alpha = 1$, quindi il vantaggio di avere una relazione lineare tra livello di danno e costo di ricostruzione, tuttavia la debolezza di questa assunzione sta nel fatto che i costi di riparazione associati agli stati limite intermedi sono approssimativi.

$$RC(DS_i) = \left(\frac{i}{n}\right) \cdot RC_{finale}$$

Dove:

- $n = 4$
- $RC_{finale} = 1.000.000 \text{ €}$

Si ottengono quindi i seguenti valori di riparazione in linea con quanto detto:

$RC(DS_1)$	250.000 €
$RC(DS_2)$	500.000 €
$RC(DS_3)$	750.000 €
$RC(DS_4)$	1.000.000 €

Tab. 10 – Costo di ricostruzione

Oltre a questi valori sono da considerare anche i valori esposti relativi alla merce e ai macchinari posti all'interno del fabbricato soggetto al sisma.

Per i macchinari, la spesa per l'acquisto di nuovi macchinari è stata assunta pari a $RC_{finale} = 5.000.000 \text{ €}$, utilizzando la relazione precedente si hanno i seguenti valori al variare dello stato di danno:

$RC(DS_1)$	1.250.000 €
$RC(DS_2)$	2.500.000 €
$RC(DS_3)$	3.750.000 €
$RC(DS_4)$	5.000.000 €

Tab. 11 – Valore macchinari

Per le merci, il valore è stato assunto pari a $RC_{finale} = 4.000.000 \text{ €}$, esso comprende il valore delle materie prime e quello dei prodotti finiti conservati su scaffalature, utilizzando la relazione precedente si hanno i seguenti valori al variare dello stato di danno:

$RC(DS_1)$	1.000.000 €
$RC(DS_2)$	2.000.000 €
$RC(DS_3)$	3.000.000 €
$RC(DS_4)$	4.000.000 €

Tab. 12 – Valore merci

8. DETERMINAZIONE DELLA PGA AL SUOLO

La normativa sismica italiana ha subito nel tempo molteplici modifiche fino ad arrivare alla attuale normativa, le “Norme Tecniche per le Costruzioni”, entrata in vigore con il D.M. 14/04/2008.

In passato la definizione delle zone sismiche sul suolo italiano avveniva solamente sulla base dei terremoti avvenuti con una tecnica attendista, cioè, se in una zona si realizzava un terremoto di intensità importante essa veniva classificata come zona sismica solamente dopo il fatto avvenuto.

Ne sono un esempio le varie classificazioni fatte nell’ultimo secolo:

- **Classificazione del 1909** avvenuta dopo l’evento sismico che distrusse Messina e Reggio Calabria nel 1908;
- **Classificazione del 1927** avvenuta dopo gli eventi sismici di Fucino nel 1915, del Mugello e dell’Amiata nel 1919 e della Garfagnana nel 1920;
- **Classificazione del 1935** avvenuta dopo gli eventi sismici dell’Irpinia e di Ancona nel 1930;
- **Classificazione del 1962** avvenuta dopo gli eventi sismici di Cansiglio nel 1936, della Puglia settentrionale nel 1948 e della Carnia nel 1959;
- **Classificazione del 1975** avvenuta dopo gli eventi sismici di Belice nel 1968;
- **Classificazione del 1984** avvenuta dopo gli eventi sismici del Friuli nel 1976 e dell’Irpinia nel 1980.

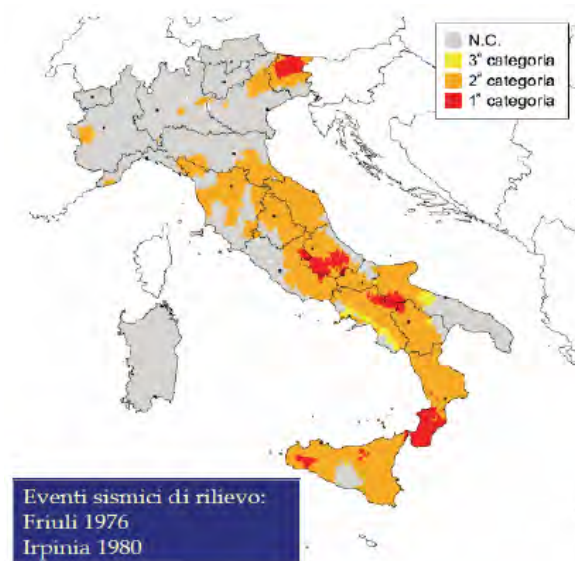


Fig. 30 – Classificazione del 1984 con $T_r = 500$ anni

In seguito la classificazione del 1984, la quale era basata su 3 categorie sismiche e non estesa a tutta l'Italia, vi è stata la classificazione del 2006, nella quale le 3 categorie sono state sostituite dalle 4 zone sismiche, in questo modo anche le zone che non erano state prese in considerazione fino ad allora rientravano in una zonazione sismica.

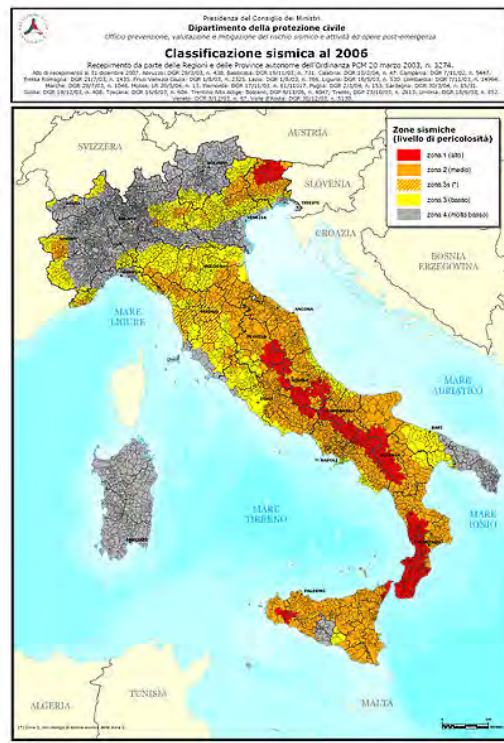


Fig. 31 – Classificazione del 2006 con $T_r = 475$ anni

Attualmente con le N.T.C. 14/01/2008: si fa riferimento alla pericolosità sismica di base, ovvero sia l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata sulla base dei parametri spettrali punto per punto sul suolo nazionale.

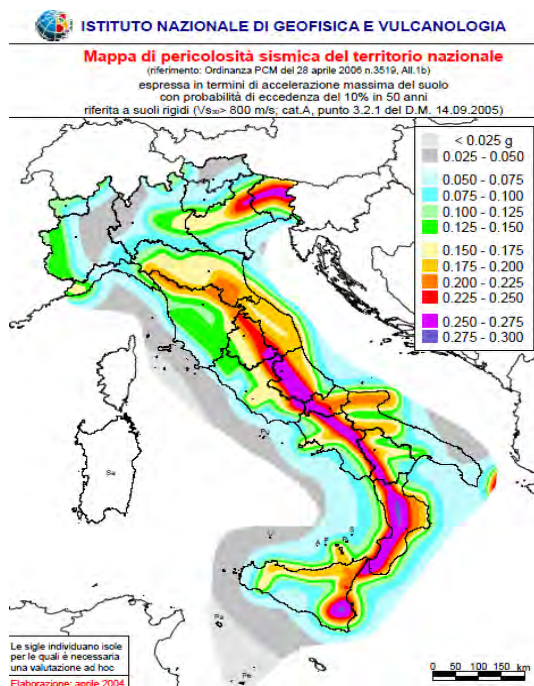


Fig. 32 – Classificazione secondo NTC 2008 con $T_r = 475$ anni

I valori di accelerazione di picco al suolo sono forniti in vari modi. Sono infatti reperibili dalle tabelle presenti nell'allegato al NTC 2008 entrando in tabella con le coordinate geografiche dei comuni di interesse, oppure si possono reperire mediante programmi come quello fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, oppure ancora dalle mappe di pericolosità fornite dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia su griglia con passo di $0,05^\circ$ per una maggior precisione.

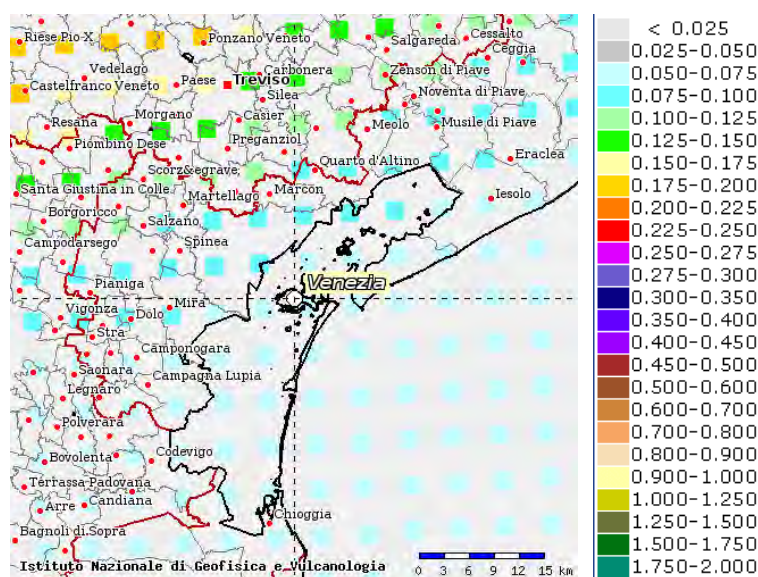


Fig. 33 – Mappa di pericolosità per Venezia

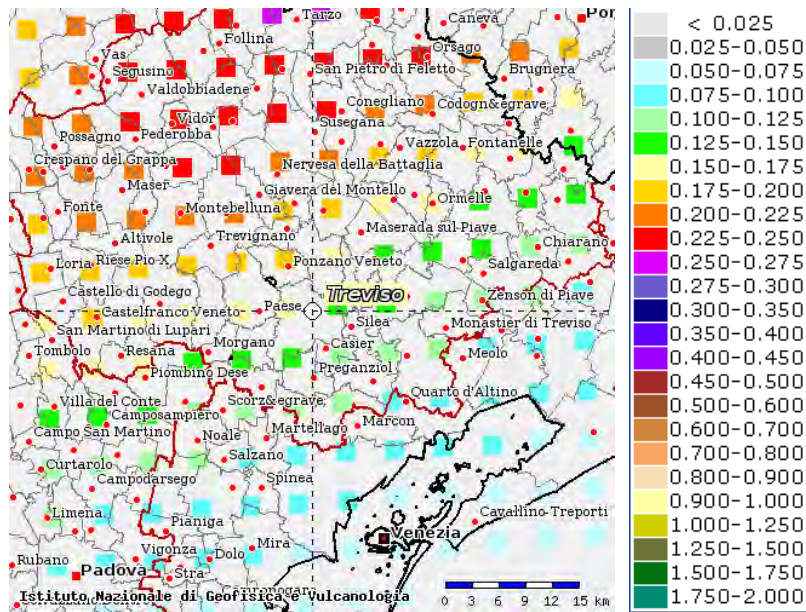


Fig. 34 – Mappa di pericolosità per Treviso

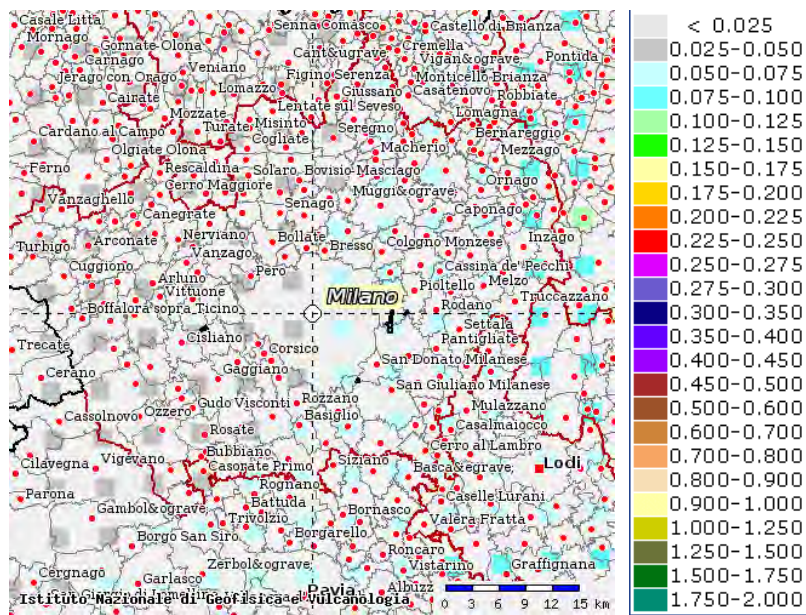


Fig. 35 – Mappa di pericolosità per Milano

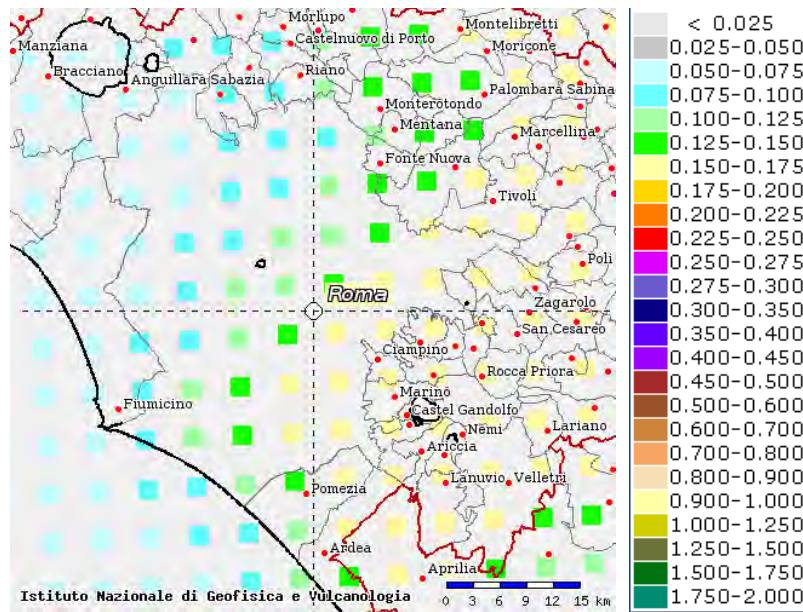


Fig. 36 – Mappa di pericolosità per Roma

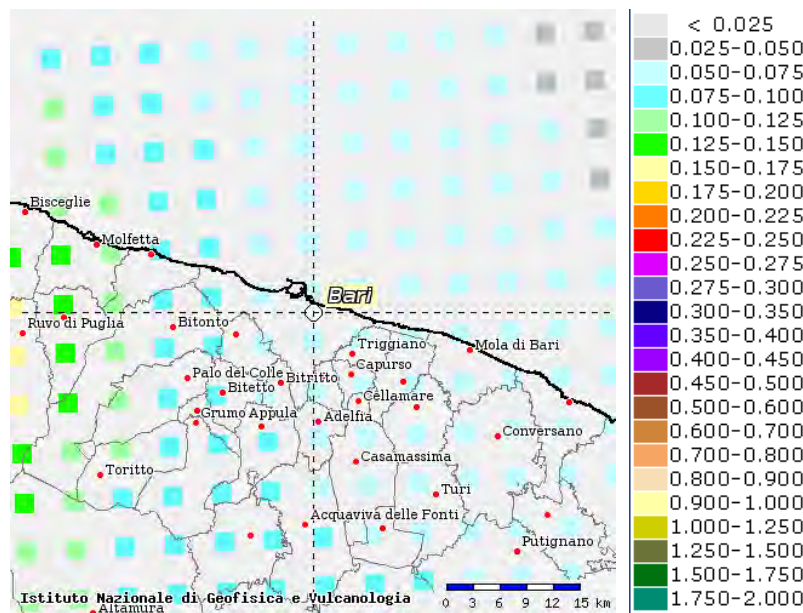


Fig. 37 – Mappa di pericolosità per Bari

Lo spettro di risposta elastico è il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo con tempo di ritorno pari a 475 anni.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido, in funzione di tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la definizione dello spettro elastico di risposta bisogna prima di tutto determinare la *vita nominale* della struttura, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché sottoposta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo alla quale è destinata e la *classe d'uso*.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Fig. 38 – Vita nominale

Per la classe d'uso si distinguono:

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;
- **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti;
- **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso;

- **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Fig. 39 – Coefficienti per la classe d'uso

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso secondo la relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Dove:

- V_R è il periodo di riferimento;
- V_N è la vita nominale dell'opera;
- C_U è il coefficiente per la classe d'uso.

Per il caso in esame, la vita nominale degli edifici industriali è posta pari a 50 anni e il rientrano nella classe d'uso II, quindi il periodo di riferimento è ancora pari a 50 anni.

Lo stato limite fondamentale preso in considerazione è lo "Stato Limite di Salvaguardia della Vita" o "SLV" per il quale si ha una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari al 10 %.

Il tempo di ritorno può quindi essere determinato con la seguente:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} \rightarrow T_R(50 \text{ anni}) = 475 \text{ anni}$$

Dove:

- T_R è il tempo di ritorno;
- V_R è il periodo di riferimento;
- P_{V_R} è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Nota il tempo di ritorno si può trovare, mediante le varie modalità definite sopra, l'accelerazione di picco al suolo relativa e i coefficiente.

Questo valore deve essere modificato in funzione del tipo di sottosuolo e della topografia del sito.

La normativa italiana (NTC08) classifica il sottosuolo in cinque classi principali, in dipendenza di una misura fondamentale che è la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di suolo.

Le classi individuate dalla normativa sono le seguenti:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento</i> (con $V_s > 800$ m/s).

Fig. 40 – Categorie di sottosuolo

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Tab. 13 – Coefficiente di amplificazione per il sottosuolo

Si vede come questi coefficienti aumentino al peggiorare della tipologia del terreno, essendo unitari solo per terreno roccioso che quindi non presenta amplificazione.

Un ultimo coefficiente coinvolto nel processo di amplificazione è il cosiddetto coefficiente topografico, che tuttavia nell'ambito di questo lavoro è stato uniformemente posto pari ad 1, date le difficoltà connesse ad una sua precisa ed affidabile valutazione se non tramite indagine sul campo. Ad ogni modo, la normativa lo definisce come segue:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Fig. 41 – Categorie topografiche

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Fig. 42 – Coefficiente di amplificazione topografica

I due coefficienti, S_S ed S_T si combinano secondo la seguente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

Dove:

- S_S è il coefficiente di amplificazione per il sottosuolo;
- S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

Definiti ora gli intervalli temporali di riferimento:

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_B = \frac{T_c}{3}$$

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

è possibile esprimere lo spettro elastico:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Dove:

- T è il periodo proprio di vibrazione;
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5 %, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

Nel caso in esame, ξ è stato assunto pari al 5 % quindi η è unitario.

Di seguito gli spettri elastici di risposta ottenuti.

Venezia

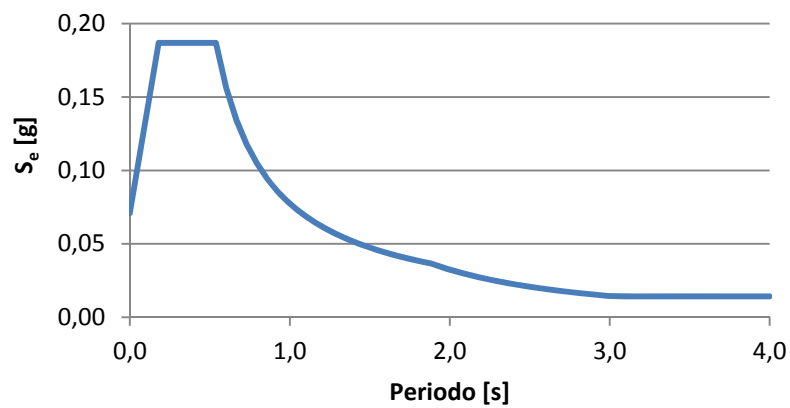


Fig. 43 – Spettro elastico per Venezia

Treviso

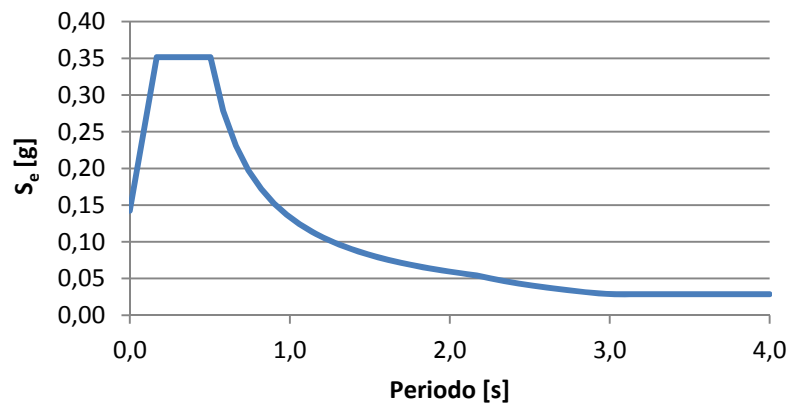


Fig. 44 – Spettro elastico per Treviso

Milano

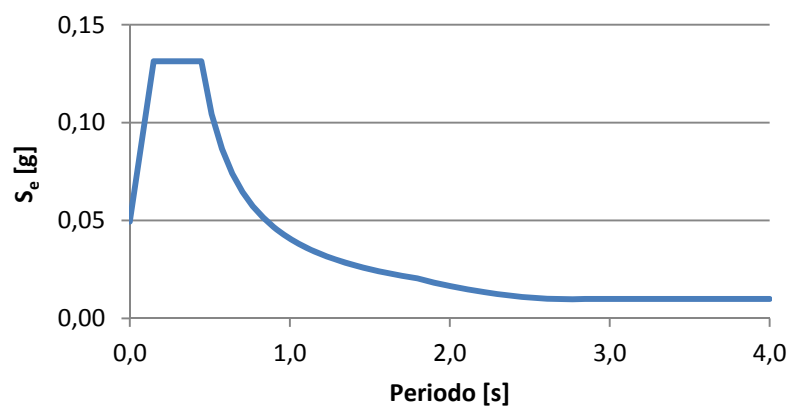


Fig. 45 – Spettro elastico per Milano

Roma

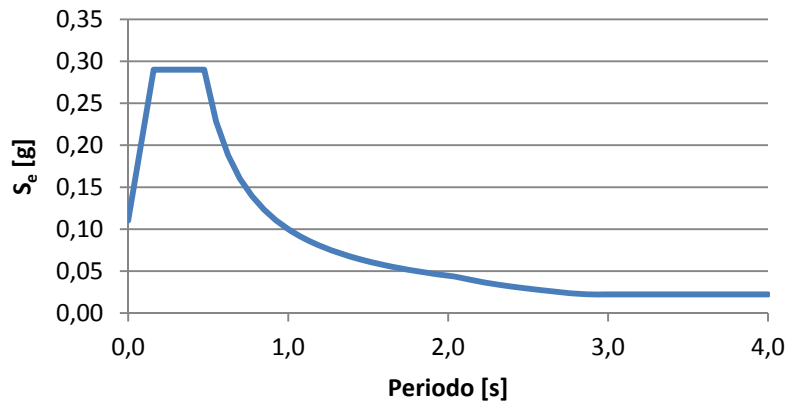


Fig. 46 – Spettro elastico per Roma

Bari

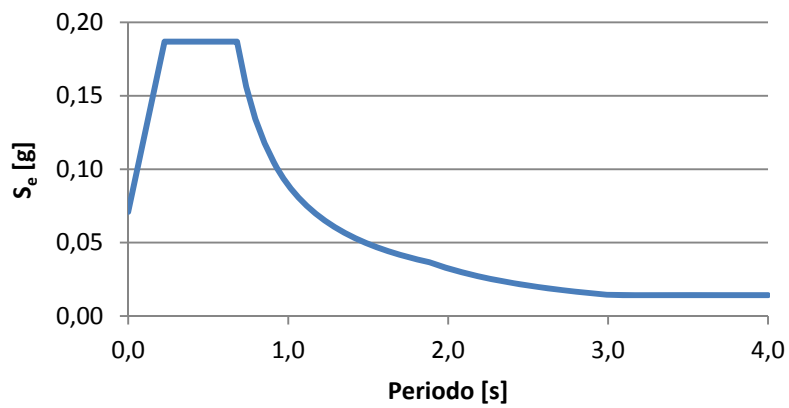


Fig. 47 – Spettro elastico per Bari

Nel caso in esame, per la valutazione della stima della perdita annua attesa sono state utilizzate le PGA come parametro di intensità sismica.

	\overline{PGA} [g]
Venezia	0,071
Treviso	0,142
Milano	0,049
Roma	0,110
Bari	0,071

Tab. 14 – Tabella riepilogativa PGA

9. STIMA DELLA PERDITA DIRETTA ANNUA ATTESA

In seguito ad un sisma si realizzano perdite economiche per danni diretti, cioè danneggiamenti all'edificio, ai macchinari e alle merci in esso contenuto. La stima della perdita permette di calcolare l'entità di queste perdite legando tra loro tutti gli aspetti visto fino ad ora, cioè accelerazione di picco al suolo, curve di fragilità e valore esposto.

La stima della perdita annua attesa viene calcolata mediante l'integrazione di pericolo, fragilità e di valore esposto. La perdita può essere calcolata con la seguente:

$$L = \sum_{i=1}^n RC(DS_i) \int [P(DS_i|PGA) - P(DS_{i+1}|PGA)] |d\lambda(PGA)|$$

Dove:

- L è la perdita diretta annua attesa;
- DS_i è il livello di danno i-esimo;
- $RC(DS_i)$ è il costo di ripristino riferito al livello di danno i-esimo;
- $P(DS_i|PGA)$ è la probabilità di superamento dello stato limite di danno DS_i , dato il valore della PGA;
- $\lambda(PGA)$ indica la pericolosità sismica calcolata in termini di tasso annuo superiore ad una determinata PGA con la PGA che varia tra $0g$ e $2g$.

Si può notare che per lo stato limite $n + 1$ la probabilità di superamento è nulla, infatti:

$$P(DS_{n+1}|PGA) = 0.$$

In alternativa all'equazione vista sopra, abbastanza complessa, si può utilizzare una versione discreta dell'equazione:

$$L = \sum_{i=1}^n RC(DS_i) [P(DS_i|\overline{PGA}) - P(DS_{i+1}|\overline{PGA})]$$

Dove:

- L è la perdita diretta annua attesa;
- DS_i è il livello di danno i -esimo;
- $RC(DS_i)$ è il costo di ricostruzione riferito al livello di danno DS_i ;
- $P(DS_i|\overline{PGA})$ è la probabilità di superamento dello stato limite di danno DS_i , dato il valore della \overline{PGA} .

Dove:

- \overline{PGA} denota il valore dell'accelerazione di picco al suolo nel centroide del comune in questione durante l'evento sismico di riferimento, tabella 14.

Per il caso in esame è stata utilizzata la forma discreta per il calcolo della perdita:

$$L = \sum_{i=1}^4 RC(DS_i)[P(DS_i|\overline{PGA}) - P(DS_{i+1}|\overline{PGA})]$$

Dove:

- \overline{PGA} è all'accelerazione di picco al suolo, tabella 14.

Quindi, nota l'accelerazione di picco al suolo ricavata dallo spettro elastico per ogni città esaminata, si può utilizzare questo parametro per ricavare dalle curve di fragilità considerate, "high-code" e "low-code", le probabilità di realizzazione dei vari stati di danno presentati. Queste probabilità sono state poi combinate con i costi di ripristino legati ai livelli di danno secondo la relazione precedente ricordando che $P(DS_{n+1}|PGA) = 0$.

I risultati ottenuti sono di seguito riportati.

Comune	\overline{PGA} [g]	<i>L</i> "high-code"	<i>L</i> "low-code"
<i>Venezia</i>	0,071	14.825,90 €	14.825,90 €
<i>Treviso</i>	0,142	95.387,32 €	292.074,02 €
<i>Milano</i>	0,049	3.765,89 €	23.839,72 €
<i>Roma</i>	0,110	53.030,36 €	189.719,20 €
<i>Bari</i>	0,071	14.825,90 €	14.825,90 €

Tab. 15 – Perdite dirette annue attese per i fabbricati

Comune	\overline{PGA} [g]	<i>L</i> "ancorati"	<i>L</i> "non ancorati"
<i>Venezia</i>	0,071	209.363,90 €	265.306,49 €
<i>Treviso</i>	0,142	708.401,63 €	1.009.503,77 €
<i>Milano</i>	0,049	86.678,77 €	89.769,39 €
<i>Roma</i>	0,110	478.502,72 €	676.283,43 €
<i>Bari</i>	0,071	209.363,90 €	265.306,49 €

Tab. 16 – Perdite dirette annue attese per i macchinari

Comune	\overline{PGA} [g]	<i>L</i> "scaffalature e merci"
<i>Venezia</i>	0,071	8.225,03 €
<i>Treviso</i>	0,142	110.306,96 €
<i>Milano</i>	0,049	1.268,81 €
<i>Roma</i>	0,110	48.278,64 €
<i>Bari</i>	0,071	8.225,03 €

Tab. 17 – Perdite dirette annue attese per le merci

Dai dati ottenuti si possono fare delle considerazioni. Prima fra tutte si può notare come le perdite per gli edifici produttivi progettati secondo un approccio "high-code" siano inferiori rispetto le perdite per edifici costruiti secondo un approccio "low-code" indipendentemente dalla città analizzata. Risultato che non sorprende più di tanto in quanto è noto che gli edifici costruiti secondo una normativa sismica sono in grado di resistere maggiormente alle scosse sismiche rispetto agli edifici "low-code", progettati per resistere solamente ai carichi gravitazionali indotti dai pesi propri, neve e carichi accidentali. Questi edifici, infatti, spesso sono carenti o del tutto assenti di elementi di connessione tra gli elementi strutturali principali.

Secondo aspetto da notare è la variabilità dei risultati in funzione della PGA della città di riferimento. Infatti, si evince che Treviso è quello che registra una PGA di picco al suolo maggiore, mentre Milano presenta una minore accelerazione al suolo infatti la perdita è inferiore rispetto tutte le altre città analizzate.

Tuttavia, questi dati forniscono solo un'informazione per unità produttiva, un'analisi più corretta andrebbe fatta sulla totalità di edifici industriali per città. Il risultato di quest'analisi potrebbe, infatti, portare a differenze in termini di perdita totali. Questo perché il numero di edifici industriali presenti in una città varia in conformità a molteplici aspetti economici, sociali, sviluppo di strutture e infrastrutture quali la vicinanza a una rete di trasporto importante, come un'autostrada.

Un'analisi sulla totalità produttiva potrebbe portare a risultati sorprendenti. Infatti, per città importanti con tante unità produttive ma con una pericolosità sismica bassa, la perdita totale per effetto del sisma potrebbe portare valori elevati rispetto alla perdita totale rilevata su altri città minori sebbene questi ultimi abbiano una pericolosità sismica maggiore.

Calcolate le perdite dirette annue attese per i fabbricati, i macchinari e le merci si può determinare la perdita totale attesa.

La perdita totale annua attesa per gli edifici "high-code" è stata determinata dalla somma della perdita attesa per i fabbricati "high-code", della perdita dei macchinari ancorati e delle merci.

La perdita totale annua attesa per gli edifici "low-code" è stata determinata dalla somma della perdita attesa per i fabbricati "low-code", della perdita dei macchinari non ancorati e delle merci.

Comune	\overline{PGA} [g]	<i>L</i> "high-code"	<i>L</i> "low-code"
<i>Venezia</i>	0,071	232.414,83 €	344.808,63 €
<i>Treviso</i>	0,142	914.095,91 €	1.411.884,75 €
<i>Milano</i>	0,049	91.713,46 €	114.877,92 €
<i>Roma</i>	0,110	579.811,71 €	914.281,26 €
<i>Bari</i>	0,071	232.414,83 €	344.808,63 €

Tab. 18 – Perdite dirette annue attese totali

10. STIMA DELLA PERDITA INDIRETTA ANNUA ATTESA

Per perdite indirette si intendono perdite legate all'uso che la struttura aveva precedentemente il terremoto. Esse sono principalmente legate alla riduzione della funzionalità dell'edificio e dell'attività in esso contenuta dopo un evento sismico, e quindi alla mancata produzione e alla riduzione del fatturato conseguenti all'attività interrotta.

Secondo la Raccomandazione della Commissione della Comunità Europee del 6 maggio 2003 relativa alla definizione delle microimprese, piccole e medie imprese, le imprese manifatturiere si classificano secondo:

- Numero di dipendenti;
- Fatturato.

Si identificano:

- Piccole imprese un fatturato annuo non superiore a 10 milioni di Euro e numero di dipendenti minore di 50;
- Medie imprese un fatturato annuo non superiore a 50 milioni di Euro e numero di dipendenti minore di 250;
- Grandi imprese un fatturato annuo superiore a 50 milioni di euro.

Per il caso in esame sono state considerate solo le categorie piccole e medie imprese.

	Fatturato lordo
Piccola impresa	10.000.000,00 €
Media impresa	50.000.000,00 €

Tab. 19 – Fatturato lordo imprese

La perdita economica relativa allo stato di danno i -esimo è stata calcolata usando il modello di funzionalità residua, fig. 28.

$$Loss(DS_i) = MDC \cdot (1 - RF_i)$$

Dove:

- $Loss (DS_i)$ è la perdita economica relativa allo stato di danno i-esimo;
- MDC è il margine di contribuzione;
- RF_i è la funzionalità residua relativa allo stato di danno i-esimo.

Livello di danno (DS_i)	Funzionalità residua (RF_i)
1 "Irrilevante"	1,0
2 "Lieve"	0,8
3 "Moderato"	0,4
4 "Vasto"	0,2
5 "Completo"	0

Tab. 20 – Funzionalità residua

Si definisce margine di contribuzione la differenza tra il prezzo di vendita ed il costo variabile che sono rispettivamente il ricavo ed il costo associati ad una variazione del volume di produzione.

La somma dei margini di contribuzioni relativi ad un anno dà il margine di contribuzione di annuale.

Quando il margine di contribuzione annuale è uguale al totale dei costi fissi del anno si raggiunge il **punto di pareggio**.

Quando il margine di contribuzione è maggiore dei costi fissi si genera l'**utile**.

$$\text{Margine di contribuzione} = \text{Ricavi} - \text{Costi variabili} - \text{Costi fissi}$$

Nel caso in esame il margine di contribuzione è stato ipotizzato pari al 10 % del fatturato lordo annuo.

	MDC
Piccola impresa	1.000.000,00 €
Media impresa	5.000.000,00 €

Tab. 21 – Margine di contribuzione

La perdita indiretta è stata calcolata quindi con la relazione in forma discreta usata anche per il calcolo della perdita diretta.

$$L = \sum_{i=1}^4 Loss(DS_i)[P(DS_i|\overline{PGA}) - P(DS_{i+1}|\overline{PGA})]$$

Dove:

- L è la perdita indiretta annua attesa;
- DS_i è il livello di danno i -esimo;
- $Loss(DS_i)$ è la perdita economica riferita al livello di danno DS_i ;
- $P(DS_i|\overline{PGA})$ è la probabilità di superamento dello stato limite di danno DS_i calcolata sulle curve di fragilità dei macchinari, ancorati o non ancorati, dato il valore della \overline{PGA} .

Dove:

- \overline{PGA} denota il valore dell'accelerazione di picco al suolo nel centroide del comune in questione durante l'evento sismico di riferimento, tabella 14.

Si può notare che per lo stato limite $n + 1$ la probabilità di superamento è nulla, infatti:

$$P(DS_{n+1}|PGA) = 0.$$

Nel calcolo della probabilità di superamento dello stato limite di danno si sono utilizzate le curve di fragilità dei macchinari ancorati per gli edifici costruiti secondo un approccio "low-code", mentre per gli edifici "high-code" si sono utilizzate le curve di fragilità dei macchinari ancorati.

La scelta di utilizzare le curve di fragilità dei macchinari è dovuta al fatto che senza di essi o con una porzione di essi danneggiata la produzione non avverrebbe, e quindi si avrebbe una mancanza di profitto inseguito al sisma e perciò un danno indiretto.

Di seguito i risultati di perdita indiretta annua attesa per le varie città al variare della tipologia di impresa.

	MDC	L "high-code"	L "low-code"
Piccola impresa	1.000.000,00 €	35.095,05 €	46.685,39 €
Media impresa	5.000.000,00 €	175.475,26 €	233.426,93 €

Tab. 22 – Perdita indiretta annua attesa per Venezia

	MDC	L "high-code"	L "low-code"
Piccola impresa	1.000.000,00 €	131.263,06 €	199.695,06 €
Media impresa	5.000.000,00 €	656.315,32 €	998.475,28 €

Tab. 23 – Perdita indiretta annua attesa per Treviso

	MDC	L "high-code"	L "low-code"
Piccola impresa	1.000.000,00 €	14.156,67 €	15.172,72 €
Media impresa	5.000.000,00 €	70.783,35 €	75.863,62 €

Tab. 24 – Perdita indiretta annua attesa per Milano

	MDC	L "high-code"	L "low-code"
Piccola impresa	1.000.000,00 €	84.815,04 €	127.556,39 €
Media impresa	5.000.000,00 €	424.075,22 €	637.781,95 €

Tab. 25 – Perdita indiretta annua attesa per Roma

	MDC	L "high-code"	L "low-code"
Piccola impresa	1.000.000,00 €	35.095,05 €	46.685,39 €
Media impresa	5.000.000,00 €	175.475,26 €	233.426,93 €

Tab. 26 – Perdita indiretta annua attesa per Bari

Come per la perdita diretta annua attesa anche in questo caso si ha una dipendenza molto forte dalla PGA, infatti, si notano valori molto elevati per le città con una elevata PGA come Treviso e Roma, maggiori di un ordine di grandezza rispetto i valori ottenuti per le città con scarso rischio sismico come Milano.

11. MODELLO ASSICURATIVO

Le assicurazioni ordinarie non coprono le perdite per effetto del sisma sulle proprietà private.

La maggior parte delle polizze di assicurazione per terremoto dispongono di una franchigia elevata, il che rende questo tipo di assicurazione utile se tutta la casa venisse distrutta, ma non utile se la casa venisse semplicemente danneggiata.

Le tariffe delle polizze di assicurazione dipendono dalla posizione, la probabilità di accadimento del terremoto e dalla tipologia di struttura assicurata. Il prezzo della polizza può essere più conveniente per le case di legno, in grado di resistere in modo migliore ai terremoti, rispetto a case in muratura.

Come con assicurazioni per inondazioni, danni causati da un uragano o altri disastri su larga scala, le compagnie di assicurazione devono porre particolare attenzione nell'assegnazione questo tipo di assicurazione, questo perché con un terremoto abbastanza forte, in grado di distruggere una casa, distruggerà probabilmente altre decine di case nella stessa area. Perciò, se una società assicuratrice ha scritto polizze assicurative su un gran numero di abitazioni in quell'area, un terremoto devastante prosciugherà istantaneamente tutte le risorse aziendali mettendo in crisi l'economia stessa della società di assicurazione. Le compagnie di assicurazione, quindi, dedicano uno studio attento verso la gestione del rischio per evitare che tali casi a loro sfavore si realizzino.

Per esempio, come avviene negli Stati Uniti, le compagnie assicurative smettono di assicurare la copertura per un periodo di qualche settimana dopo che si è verificato un terremoto di notevole entità. Questo perché le scosse di assestamento che possono verificarsi dopo il terremoto iniziale, anche se di entità inferiore, deviano dall'epicentro originale. Se una scossa di assestamento è vicina ad una zona popolata, può causare molti più danni del terremoto iniziale. Un esempio è il terremoto di Christchurch, nel 2011 in Nuova Zelanda, il quale, per effetto di un evento sismico maggiore e con epicentro più lontano dal primo verificatosi ha causato la morte di 185 persone.

Per questi motivi, per affrontare le perdite indotte dal sisma e per agevolare il recupero finanziario per i proprietari dei beni danneggiati, sono stati introdotti nuovi sistemi

assicurativi in paesi con alta sismicità, come Giappone, Nuova Zelanda, California e Turchia.

- In **California** l'assicurazione per terremoto è diventata una questione politica. Dopo il terremoto di Northridge del 1994, quasi tutte le compagnie di assicurazione cessarono completamente la sottoscrizione delle polizze assicurative in tutto lo stato, questo perché per la legge della California (*"Mandatory Offer Law"*) le aziende che offrono l'assicurazione per l'abitazione devono anche offrire assicurazione per il terremoto, cosa che non era stata pattuita dalle società assicurative. Il legislatore creò quindi un'agenzia, privata ma gestita pubblicamente, chiamata *CEA (California Earthquake Authority)* al fine di superare le potenziali difficoltà finanziarie incontrate dalle compagnie private.
- In **Giappone** invece, i proprietari di abitazione possono acquistare l'assicurazione per terremoto da una compagnia di assicurazioni come clausola opzionale per una polizza di assicurazione incendio, la quale copre danni anche per tsunami ed eruzioni vulcaniche.
- In **Nuova Zelanda**, la *"New Zealand's Earthquake Commission" (EQC)*, di proprietà del governo, fornisce assicurazione per disastri naturali ai proprietari di immobili. L'EQC nasce nel 1945 come Commissione di danni di guerra e di terremoto. La copertura, attualmente, è estesa a danni da terremoto e da altri disastri come frane naturali, eruzioni vulcaniche, attività idrotermale e tsunami. Inoltre, la copertura si estende su danni da fuoco causati da uno qualsiasi di questi disastri naturali.
- In **Spagna**, la copertura assicurativa è garantita, conformemente ai termini della legge spagnola, dal *Consorzio assicurativo di risarcimento (Consorcio de Compensacion de Seguros)*. Essa si estende ai danni derivanti da fenomeni naturali di tipo straordinario (alluvione, terremoto, eruzione vulcanica, la caduta dei corpi astrali e meteoriti), dal terrorismo, da sommosse, dalle rivolte popolari e dalle azioni delle forze armate in tempo di pace.

- In **Francia**, il fondo di riassicurazione centrale statale, *Caisse Centrale de Reassurance (CCR)*, copre le perdite assicurate a causa di un disastro naturale d'intensità eccezionale, incluso il terremoto. L'assicurazione copre il costo del danno diretto alla proprietà fino al valore pattuito, cioè il massimale, inoltre il danno indiretto resta escluso dalla polizza.
- In **Svizzera**, il parlamento sta introducendo un'assicurazione obbligatoria per gli eventi sismici nonostante il *Servizio Sismico Svizzero, Swiss Seismic Service (SED)* ritenga che la Svizzera abbia un livello di pericolosità sismica moderata rispetto al resto d'Europa. La copertura si divide in 3 opzioni: la prima dovrebbe coprire solo gli edifici, la seconda dovrebbe includere la rimozione dei detriti e la terza dovrebbe includere possessi delle famiglie e gli arredi delle aziende.
- In **Italia**, un sistema di assicurazione nazionale per il terremoto è stato spesso discusso, soprattutto dopo eventi sismici rilevanti, ma con scarsi risultati. Solo nel 1998 è stata elaborata una proposta di legge che mirava ad estendere l'assicurazione per l'incendio anche ai danni sismici. Tuttavia questa proposta non è mai stata adottata ed è stata alla fine ritirata.

11.1. MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI DIRETTI

Lo studio eseguito da Prota et al. (2013) mira a proporre un modello di assicurazione per danni diretti da terremoto per gli edifici residenziali sul territorio italiano prendendo in considerazione le tipologie strutturali più diffuse.

Lo studio per un ipotetico modello assicurativo per gli edifici industriali analizzato in questa tesi ha come riferimento le ipotesi e le metodologie proposte da Prota et al.

Il modello di seguito proposto fornisce risultati per unità produttiva.

Il proprietario di un edificio può decidere di stipulare un contratto di assicurazione pattuendo un risarcimento X , nel caso in cui avvenga la perdita. Il contratto prevede il pagamento di una quota p verso la compagnia di assicurazione. Questa quota, chiamata *premio assicurativo*, è una spesa annua a carico del soggetto assicurato.

Il valore totale assicurato è stato assunto pari alla somma costo di ricostruzione del fabbricato, del costo dei macchinari e delle merci contenute nel fabbricato. Il valore totale rappresenta la massima spesa che si deve sostenere per il ripristino al nuovo nel caso di un evento sismico che porti al collasso la struttura, nel caso in esame 10.000.000 €.

Dove, il valore del fabbricato è stato ipotizzato pari a 1.000.000 €, il valore dei macchinari a 5.000.000 € e quello delle merci a 4.000.000 €.

Il modello di assicurazione può essere espresso in termini di funzione di utilità, la quale è la misura della felicità o soddisfazione del proprietario del bene.

Nel caso in cui il proprietario non stipula un contratto di assicurazione, l'utilità attesa è data dalla somma di due termini:

- Il primo riguarda il caso in cui il terremoto non avvenga e il valore dell'edificio resti invariato;
- Il secondo riguarda il caso in cui il terremoto con intensità PGA, con una certa probabilità di accadimento, avvenga e il valore dell'edificio sia ridotto della perdita attesa.

$$U_n = (1 - \pi) \cdot \ln(W_0 + 1) + \sum_i \pi_i \cdot \ln(W_0 - L(PGA_i) + 1)$$

Dove:

- U_n è l'utilità attesa senza contratto di assicurazione;
- W_0 è il valore totale al nuovo esposto al sisma;
- π_i è probabilità di accadimento;
- $L(PGA_i)$ è perdita annua attesa.

Nel caso invece in cui il proprietario stipula un contratto di assicurazione, l'utilità attesa è data da:

$$U = (1 - \pi) \cdot \ln(W_0 - p + 1) + \sum_i \pi_i \cdot \ln(W_0 - p - L(PGA_i) + X(L_i) + 1)$$

Dove:

- U è l'utilità attesa con contratto di assicurazione;
- W_0 è il valore totale al nuovo esposto al sisma;
- π_i è probabilità di accadimento;
- $L(PGA_i)$ è perdita annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- $X(L_i)$ è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

Nell'espressione si distinguono due termini:

- il primo termine riguarda il caso in cui il terremoto non si verifichi e il valore dell'edificio viene ridotto del premio pagato;
- il secondo termine invece riguarda il caso in cui il terremoto con intensità PGA, con una certa probabilità di accadimento, si verifichi e il valore dell'edificio viene ridotto sia del premio pagato all'assicurazione che della perdita attesa e aumentato del risarcimento pagato dalla compagnia di assicurazione.

Quindi, il consumatore accetta il contratto solo se l'utilità attesa con contratto di assicurazione è maggiore di quella attesa senza contratto di assicurazione. In caso contrario, il proprietario dell'immobile preferirà correre il rischio di non assicurare il bene, e quindi di incorrere in una possibile perdita, a fronte di un evento incerto com'è il sisma. Questo viene tradotto mediante la seguente disuguaglianza:

$$U_n - U \leq 0$$

quindi:

$$(1 - \pi_i) \cdot \ln\left(\frac{W_0 + 1}{W_0 - p + 1}\right) + \ln\left(\frac{\prod_i (W_0 - L_i + 1)^{\pi_i}}{\prod_i (W_0 - p - L_i + X_i + 1)^{\pi_i}}\right) \leq 0$$

Dove:

- W_0 è il valore totale al nuovo esposto al sisma;
- π_i è probabilità di accadimento;

- L_i è perdita annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

Si nota che la perdita non può essere maggiore del valore dell'immobile come è logico che sia.

In generale, il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice nel caso in cui un evento sismico si realizzi, è fissato mediante la polizza di assicurazione e dipende dalla perdita subita. Il risarcimento, può essere fissato pari alla perdita se la compagnia di assicurazione si impegna a coprire tutta la perdita avvenuta, si parla allora di *assicurazione completa*. In questo caso, può essere stabilito un massimale di copertura e che il risarcimento non possa andare oltre il valore fissato del massimale. Si hanno quindi le seguenti relazioni:

$$X_i = L_i \quad \forall L_i \leq M$$

$$X_i = M \quad \forall L_i > M$$

Dove:

- L_i è perdita annua attesa;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice;
- M è il massimale di copertura.

La prima relazione indica che se la perdita dovesse essere minore del massimale il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice è pari al valore della perdita.

Per contro, qualora la perdita dovesse essere maggiore del massimale, il risarcimento massimo offerto dalla compagnia assicuratrice è pari al valore del massimale pattuito con la polizza di assicurazione tra le parti all'atto della firma del contratto.

Può essere fissato anche un limite minimo di perdita affinché possa essere richiesto un risarcimento da parte del proprietario del bene. Questo limite minimo può essere fissato in percentuale sulla somma assicurata, lo *scoperto*, o in importo fisso, la *franchigia*.

Questo limite minimo rappresenta quella parte di danno che resta a carico dell'assicurato.

$$X_i = 0 \quad \forall L_i \leq m$$

$$X_i = L_i - m \quad \forall L_i > m$$

Dove:

- L_i è perdita annua attesa;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice;
- m è il limite minimo di perdita a carico dell'assicurato.

Nelle trattazioni seguenti si useranno le seguenti notazioni:

- F (Fixed Insurance Excess) è la franchigia;
- P (Percentage Insurance Excess) è lo scoperto.

La prima relazione indica che se la perdita dovesse essere minore del limite minimo di perdita il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice è nullo.

Per contro, qualora la perdita dovesse essere maggiore del limite minimo di perdita, il risarcimento offerto dalla compagnia assicuratrice è pari al valore della perdita ridotto del valore del limite minimo di perdita stabilita nel contratto di assicurazione.

Queste condizioni, massimale e limite minimo di perdita, possono essere applicate anche contemporaneamente, ovviamente, al diminuire del massimale e all'aumentare del limite minimo corrisponde una diminuzione della quota pagata dal proprietario, cioè in caso di terremoto la compagnia assicuratrice offrirà un risarcimento inferiore poiché il valore assicurato è minore.

Per quanto riguarda la società assicuratrice, il profitto previsto può essere calcolato sommando le entrate derivanti dai premi delle polizze stipulate ridotte dei risarcimenti pagati in caso di evento sismico d'intensità PGA.

$$G = \sum_i p_i - \sum_i X_i \pi_i$$

Dove:

- G (Gain) è il profitto della compagnia assicuratrice;
- p_i è il premio di assicurazione pagato;
- X_i sono i risarcimenti dovuti, cioè le spese;
- π_i è la probabilità di accadimento dell'evento sismico con intensità PGA.

La compagnia di assicurazione mirerà quindi a massimizzare il proprio profitto, perciò, si dovrà risolvere un problema di ottimizzazione al fine di far sì che il proprietario dell'immobile ritenga vantaggioso, e quindi soddisfatto in termini di utilità, stipulare il contratto con la compagnia al prezzo p e allo stesso tempo il profitto della compagnia sia massimizzato in modo da realizzare un giusto compromesso tra l'offerta e la domanda.

Nel caso in esame l'utilità attesa senza contratto di assicurazione è calcolata con la seguente:

$$U_n = (1 - \pi) \cdot \ln(W_0 + 1) + \pi \cdot \ln(W_0 - L_i + 1)$$

Dove:

- U_n è l'utilità attesa senza contratto di assicurazione;
- W_0 è il valore totale al nuovo esposto al sisma;
- π è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita annua attesa.

Mentre l'utilità attesa in caso di stipulazione del contratto di assicurazione risulta:

$$U = (1 - \pi) \cdot \ln(W_0 - p + 1) + \pi \cdot \ln(W_0 - p - L_i + X(L_i) + 1)$$

Dove:

- U è l'utilità attesa con contratto di assicurazione;
- W_0 è il valore totale al nuovo esposto al sisma;
- π è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- $X(L_i)$ è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

Con π si indica la probabilità di accadimento del sisma, in conformità ai dati prelevati dalle mappe di pericolosità sismica dell'INGV è stata assunta pari al 10 %, mentre per i valori di perdita attesi sono stati presi i valori precedentemente calcolati relativamente alla città esaminata e all'approccio di progettazione sismica analizzato, tabella 18.

Il problema di ottimizzazione tra la domanda e l'offerta è stato risolto ponendo nulla la disuguaglianza di utilità:

$$U_n - U = 0$$

quindi:

$$(1 - \pi) \cdot \ln\left(\frac{W_0 + 1}{W_0 - p + 1}\right) + \pi \cdot \ln\left(\frac{W_0 - L_i + 1}{W_0 - p - L_i + X(L_i) + 1}\right) = 0$$

Dove:

- W_0 è il valore totale al nuovo esposto al sisma;
- π è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

11.2. MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI DIRETTI CON FRANCHIGIA

11.2.1. MODELLO ASSICURATIVO PER VENEZIA

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
344.808,63	0,00	344.808,63	35.027,87
344.808,63	25.000,00	319.808,63	32.525,04
344.808,63	50.000,00	294.808,63	30.016,55
344.808,63	75.000,00	269.808,63	27.502,36
344.808,63	100.000,00	244.808,63	24.982,46
344.808,63	125.000,00	219.808,63	22.456,83
344.808,63	150.000,00	194.808,63	19.925,44
344.808,63	175.000,00	169.808,63	17.388,26
344.808,63	200.000,00	144.808,63	14.845,28
344.808,63	225.000,00	119.808,63	12.296,46
344.808,63	250.000,00	94.808,63	9.741,80
344.808,63	275.000,00	69.808,63	7.181,25
344.808,63	300.000,00	44.808,63	4.614,80

Tab. 27 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code”

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
232.414,83	0,00	232.414,83	23.488,20
232.414,83	25.000,00	207.414,83	20.985,37
232.414,83	50.000,00	182.414,83	18.476,89
232.414,83	75.000,00	157.414,83	15.962,72
232.414,83	100.000,00	132.414,83	13.442,85
232.414,83	125.000,00	107.414,83	10.917,25
232.414,83	150.000,00	82.414,83	8.385,89
232.414,83	175.000,00	57.414,83	5.848,76
232.414,83	200.000,00	32.414,83	3.305,82
232.414,83	225.000,00	7.414,83	757,07
232.414,83	250.000,00	0,00	0,00
232.414,83	275.000,00	0,00	0,00
232.414,83	300.000,00	0,00	0,00

Tab. 28 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare della franchigia, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e la franchigia, si riduce sempre più.

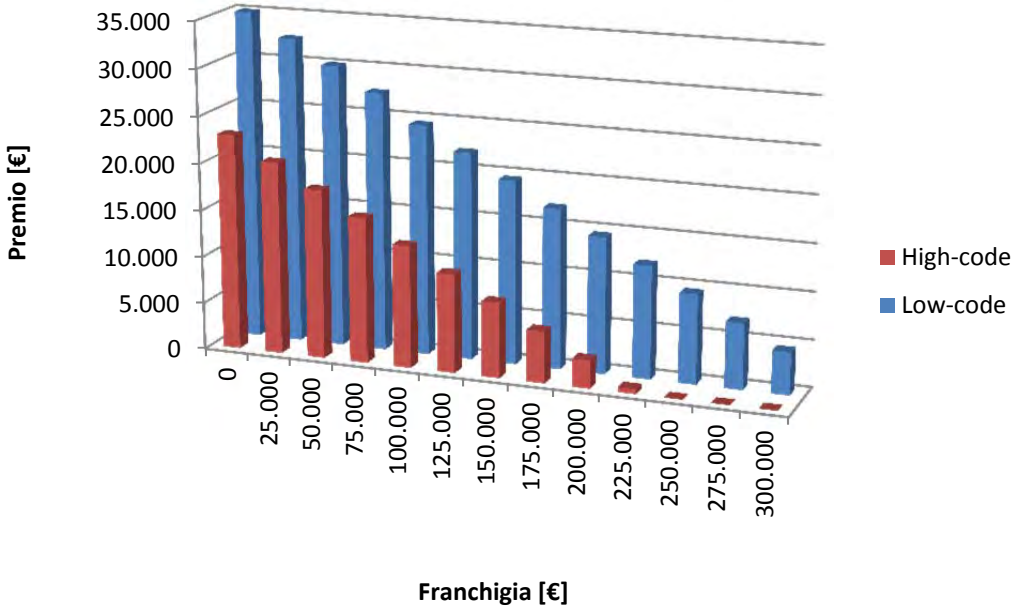


Fig. 48 – Variabilità del premio di assicurazione per Venezia

11.2.2. MODELLO ASSICURATIVO PER TREVISO

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
1.411.884,75	0,00	1.411.884,75	151.053,32
1.411.884,75	25.000,00	1.386.884,75	148.550,39
1.411.884,75	50.000,00	1.361.884,75	146.041,96
1.411.884,75	75.000,00	1.336.884,75	143.527,61
1.411.884,75	100.000,00	1.311.884,75	141.007,48
1.411.884,75	125.000,00	1.286.884,75	138.481,54
1.411.884,75	150.000,00	1.261.884,75	135.949,77
1.411.884,75	175.000,00	1.236.884,75	133.412,15
1.411.884,75	200.000,00	1.211.884,75	130.868,65
1.411.884,75	225.000,00	1.186.884,75	128.319,25
1.411.884,75	250.000,00	1.161.884,75	125.763,93
1.411.884,75	275.000,00	1.136.884,75	123.202,66
1.411.884,75	300.000,00	1.111.884,75	120.635,31

Tab. 29 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code”

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
914.095,91	0,00	914.095,91	95.402,88
914.095,91	25.000,00	889.095,91	92.900,06
914.095,91	50.000,00	864.095,91	90.391,59
914.095,91	75.000,00	839.095,91	87.877,17
914.095,91	100.000,00	814.095,91	85.357,30
914.095,91	125.000,00	789.095,91	82.831,51
914.095,91	150.000,00	764.095,91	80.299,92
914.095,91	175.000,00	739.095,91	77.762,51
914.095,91	200.000,00	714.095,91	75.219,27
914.095,91	225.000,00	689.095,91	72.669,99
914.095,91	250.000,00	664.095,91	70.115,04
914.095,91	275.000,00	639.095,91	67.554,13
914.095,91	300.000,00	614.095,91	64.987,26

Tab. 30 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare della franchigia, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e la franchigia, si riduce sempre più.

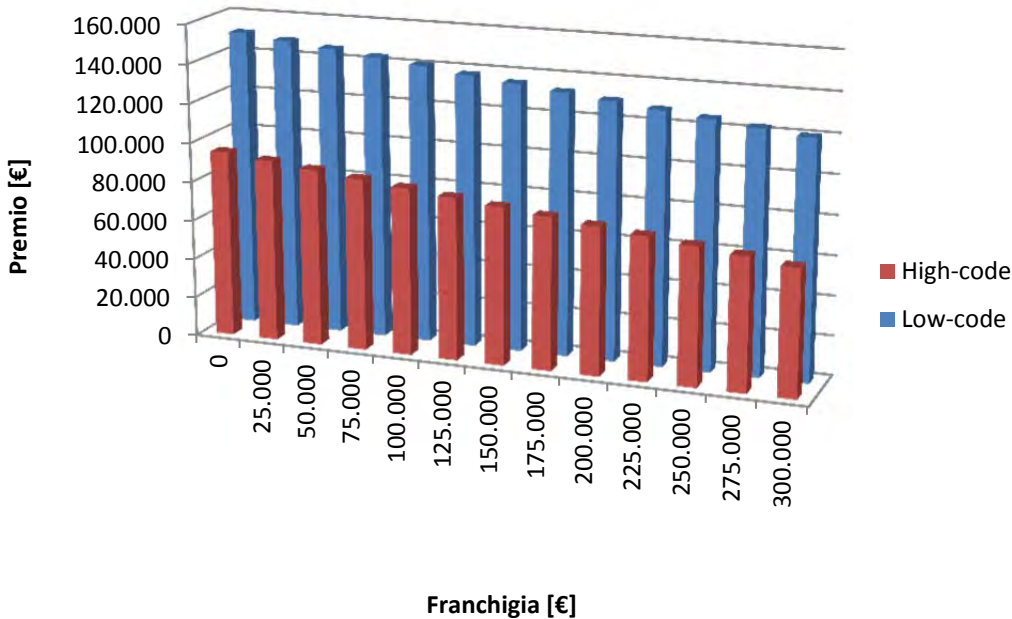


Fig. 49 – Variabilità del premio di assicurazione per Treviso

11.2.3. MODELLO ASSICURATIVO PER MILANO

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
114.877,92	0,00	114.877,92	11.547,61
114.877,92	25.000,00	89.877,92	9.044,87
114.877,92	50.000,00	64.877,92	6.536,32
114.877,92	75.000,00	39.877,92	4.022,17
114.877,92	100.000,00	14.877,92	1.502,32
114.877,92	125.000,00	0,00	0,00
114.877,92	150.000,00	0,00	0,00
114.877,92	175.000,00	0,00	0,00
114.877,92	200.000,00	0,00	0,00
114.877,92	225.000,00	0,00	0,00
114.877,92	250.000,00	0,00	0,00
114.877,92	275.000,00	0,00	0,00
114.877,92	300.000,00	0,00	0,00

Tab. 31 – Premio di assicurazione per Milano “low-code”

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
91.713,46	0,00	91.713,46	9.209,42
91.713,46	25.000,00	66.713,46	6.706,68
91.713,46	50.000,00	41.713,46	4.198,13
91.713,46	75.000,00	16.713,46	1.683,98
91.713,46	100.000,00	0,00	0,00
91.713,46	125.000,00	0,00	0,00
91.713,46	150.000,00	0,00	0,00
91.713,46	175.000,00	0,00	0,00
91.713,46	200.000,00	0,00	0,00
91.713,46	225.000,00	0,00	0,00
91.713,46	250.000,00	0,00	0,00
91.713,46	275.000,00	0,00	0,00
91.713,46	300.000,00	0,00	0,00

Tab. 32 – Premio di assicurazione per Milano “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare della franchigia, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e la franchigia, si riduce sempre più.

In questo modello, a differenza degli altri si ottengono dei valori nulli del premio di assicurazione per valori elevati di franchigia, questo perché la franchigia presenta un valore più alto della perdita annua attesa e quindi il capitale assicurato è nullo.

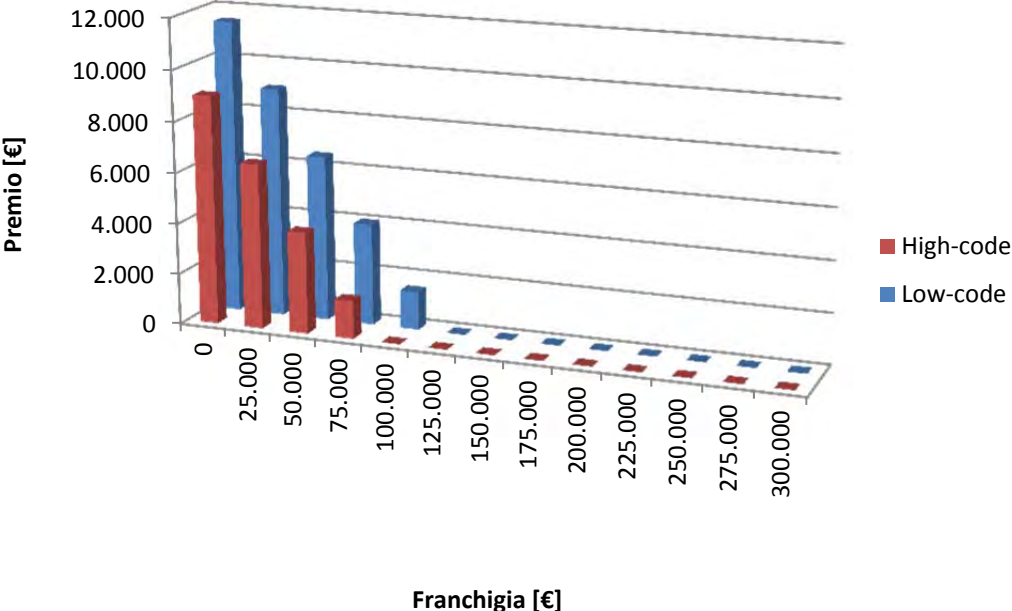


Fig. 50 – Variabilità del premio di assicurazione per Milano

11.2.4. MODELLO ASSICURATIVO PER ROMA

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
914.281,26	0,00	914.281,26	95.423,09
914.281,26	25.000,00	889.281,26	92.920,15
914.281,26	50.000,00	864.281,26	90.411,66
914.281,26	75.000,00	839.281,26	87.897,52
914.281,26	100.000,00	814.281,26	85.377,37
914.281,26	125.000,00	789.281,26	82.851,52
914.281,26	150.000,00	764.281,26	80.319,95
914.281,26	175.000,00	739.281,26	77.782,56
914.281,26	200.000,00	714.281,26	75.239,33
914.281,26	225.000,00	689.281,26	72.690,23
914.281,26	250.000,00	664.281,26	70.135,24
914.281,26	275.000,00	639.281,26	67.574,34
914.281,26	300.000,00	614.281,26	65.007,47

Tab. 33 – Premio di assicurazione per Roma “low-code”

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
579.811,71	0,00	579.811,71	59.551,99
579.811,71	25.000,00	554.811,71	57.049,25
579.811,71	50.000,00	529.811,71	54.540,73
579.811,71	75.000,00	504.811,71	52.026,52
579.811,71	100.000,00	479.811,71	49.506,48
579.811,71	125.000,00	454.811,71	46.980,87
579.811,71	150.000,00	429.811,71	44.449,40
579.811,71	175.000,00	404.811,71	41.912,13
579.811,71	200.000,00	379.811,71	39.368,86
579.811,71	225.000,00	354.811,71	36.820,10
579.811,71	250.000,00	329.811,71	34.265,27
579.811,71	275.000,00	304.811,71	31.704,59
579.811,71	300.000,00	279.811,71	29.137,89

Tab. 34 – Premio di assicurazione per Roma “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare della franchigia, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e la franchigia, si riduce sempre più.

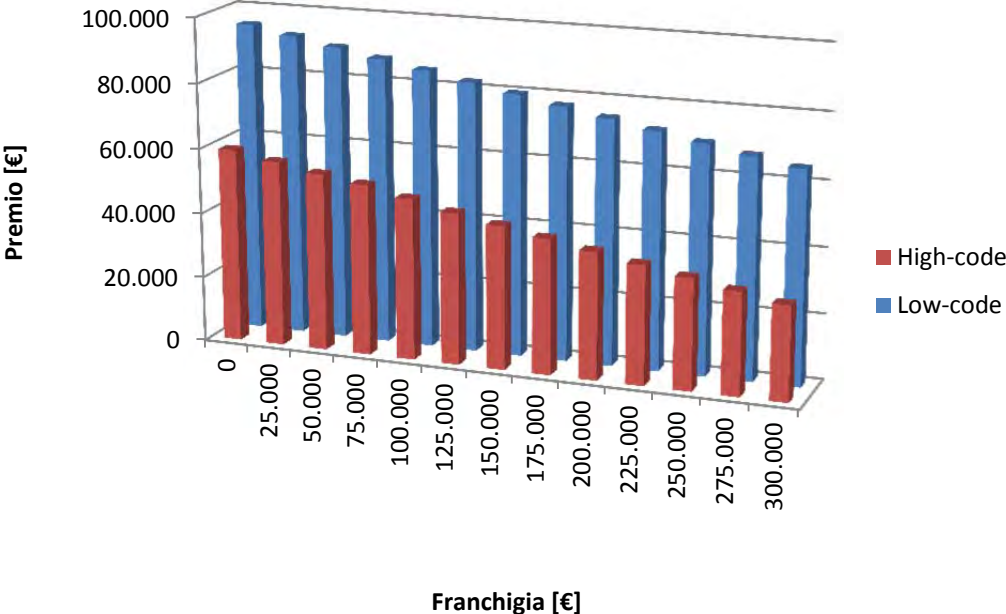


Fig. 51 – Variabilità del premio di assicurazione per Roma

11.2.5. MODELLO ASSICURATIVO PER BARI

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
344.808,63	0,00	344.808,63	35.027,96
344.808,63	25.000,00	319.808,63	32.524,99
344.808,63	50.000,00	294.808,63	30.016,45
344.808,63	75.000,00	269.808,63	27.502,33
344.808,63	100.000,00	244.808,63	24.982,55
344.808,63	125.000,00	219.808,63	22.456,89
344.808,63	150.000,00	194.808,63	19.925,50
344.808,63	175.000,00	169.808,63	17.388,34
344.808,63	200.000,00	144.808,63	14.845,37
344.808,63	225.000,00	119.808,63	12.296,56
344.808,63	250.000,00	94.808,63	9.741,88
344.808,63	275.000,00	69.808,63	7.181,31
344.808,63	300.000,00	44.808,63	4.614,77

Tab. 35 – Premio di assicurazione per Bari “low-code”

Perdita [€]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
232.414,83	0,00	232.414,83	23.488,27
232.414,83	25.000,00	207.414,83	20.985,46
232.414,83	50.000,00	182.414,83	18.476,92
232.414,83	75.000,00	157.414,83	15.962,82
232.414,83	100.000,00	132.414,83	13.442,92
232.414,83	125.000,00	107.414,83	10.917,31
232.414,83	150.000,00	82.414,83	8.385,98
232.414,83	175.000,00	57.414,83	5.848,85
232.414,83	200.000,00	32.414,83	3.305,91
232.414,83	225.000,00	7.414,83	757,17
232.414,83	250.000,00	0,00	0,00
232.414,83	275.000,00	0,00	0,00
232.414,83	300.000,00	0,00	0,00

Tab. 36 – Premio di assicurazione per Bari “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare della franchigia, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e la franchigia, si riduce sempre più.

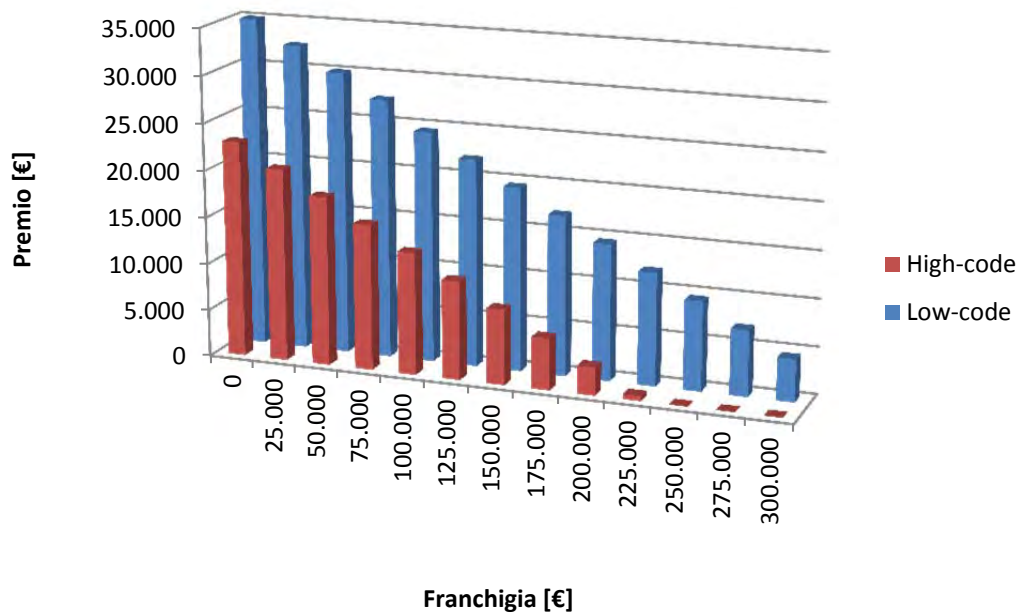


Fig. 52 – Variabilità del premio di assicurazione per Bari

11.2.6. OSSERVAZIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO

Lo studio analizzato su varie città d'Italia rivela che vi è una correlazione tra la PGA del spettro elastico di picco al suolo, perdita attesa e premio di assicurazione. Si può, infatti, notare che la città con minor rischio sismico è Milano mentre quella con rischio sismico maggiore è Treviso. Questo comporta valori di perdita attesa minori per il primo e maggiori per il secondo, mentre per le altre città si ottengono valori intermedi. Per quanto riguarda il modello assicurativo si nota una notevole differenza tra le due città sia con approccio "low-code" che con approccio "high-code".

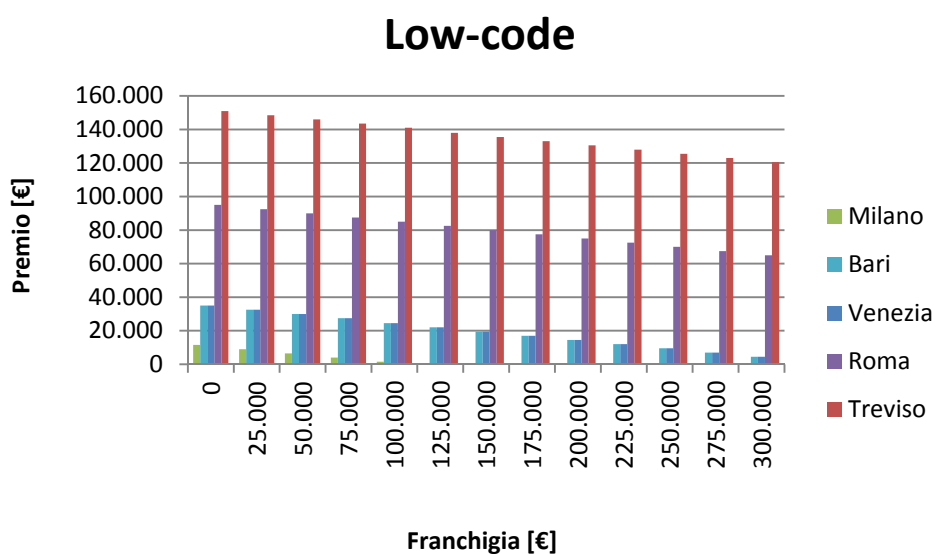


Fig. 53 – Variabilità del premio di assicurazione "low-code"

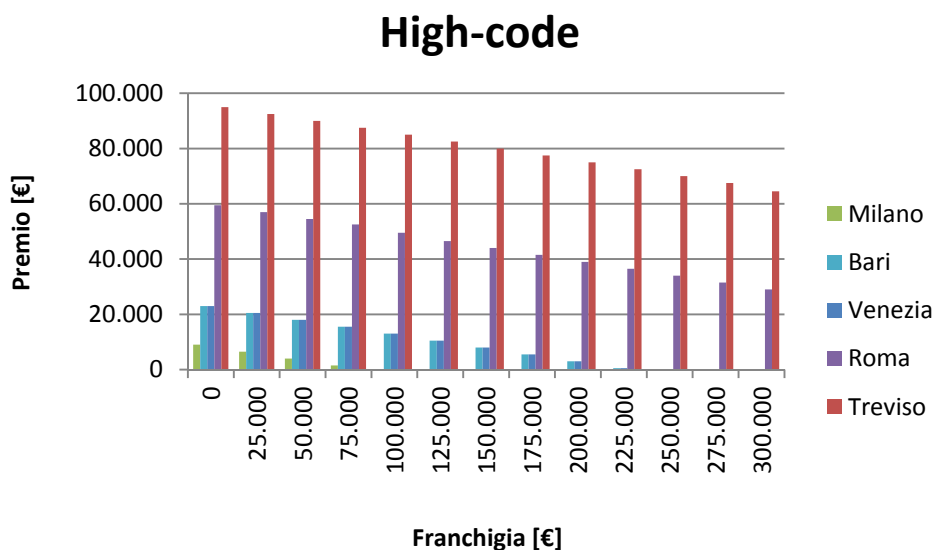


Fig. 54 – Variabilità del premio di assicurazione "high-code"

11.2.7. CONCLUSIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO PER DANNI DIRETTI

Una volta ottenuti i valori per unità produttiva e per città è possibile determinare il valore medio del premio di assicurazione valido su tutto il territorio italiano.

Questo valore si calcola con una semplice media ponderata sul numero di unità produttive delle città analizzate.

$$p_{medio}(F_j) = \frac{\sum_i p_i(F_j) \cdot n_{unità\ produttive,i}}{\sum_i n_{unità\ produttive}}$$

Dove:

- $p_{medio}(F_j)$ è il premio di assicurazione medio relativo alla j-esima franchigia;
- $p_i(F_j)$ è il premio di assicurazione della i-esima città e alla j-esima franchigia;
- F_j è la j-esima franchigia;
- $n_{unità\ produttive,i}$ è il numero di unità produttive della i-esima città;
- $\sum_i n_{unità\ produttive}$ è il numero totali di unità produttive.

Dai dati ISTAT prelevati dal data warehouse del “9° Censimento dell’Industria e dei Servizi” del 2011 è possibile determinare il numero di unità produttive presenti nelle città analizzate.

N° imprese Venezia	5.615
N° imprese Treviso	9.391
N° imprese Milano	22.594
N° imprese Roma	14.612
N° imprese Bari	7.421
Totale	59.633

Tab. 37 – Numero unità produttive

I valori mediati così ottenuti sono:

Franchigia [€]	Premio [€]	Tasso [‰]
0,00	59.202,03	5,92
25.000,00	56.699,17	5,67
50.000,00	54.190,66	5,42
75.000,00	51.676,49	5,17
100.000,00	49.156,52	4,92
125.000,00	47.018,50	4,70
150.000,00	45.446,11	4,54
175.000,00	43.870,11	4,39
200.000,00	42.290,48	4,23
225.000,00	40.707,21	4,07
250.000,00	39.120,28	3,91
275.000,00	37.529,68	3,75
300.000,00	35.935,37	3,59

Tab. 38 – Premio di assicurazione medio “low-code”

Franchigia [€]	Premio [€]	Tasso [‰]
0,00	38.240,11	3,82
25.000,00	35.737,34	3,57
50.000,00	33.228,82	3,32
75.000,00	30.714,61	3,07
100.000,00	28.511,40	2,85
125.000,00	26.942,68	2,69
150.000,00	25.370,36	2,54
175.000,00	23.794,42	2,38
200.000,00	22.214,83	2,22
225.000,00	20.631,68	2,06
250.000,00	19.437,80	1,94
275.000,00	18.407,06	1,84
300.000,00	17.373,91	1,74

Tab. 39 – Premio di assicurazione medio “high-code”

Il valore del tasso di assicurazione è stato calcolato come percentuale sul valore totale al nuovo esposto al sisma, cioè 10.000.000 €.

La media tra i due approcci fornisce i valori di premio che possono essere applicati su tutto il suolo nazionale al variare della franchigia.

Franchigia [€]	Premio [€]	Tasso [%]
0,00	48.721,07	4,87
25.000,00	46.218,26	4,62
50.000,00	43.709,74	4,37
75.000,00	41.195,55	4,12
100.000,00	38.833,96	3,88
125.000,00	36.980,59	3,70
150.000,00	35.408,23	3,54
175.000,00	33.832,27	3,38
200.000,00	32.252,66	3,23
225.000,00	30.669,45	3,07
250.000,00	29.279,04	2,93
275.000,00	27.968,37	2,80
300.000,00	26.654,64	2,67

Tab. 40 – Premio di assicurazione medio su suolo nazionale

Valori mediati

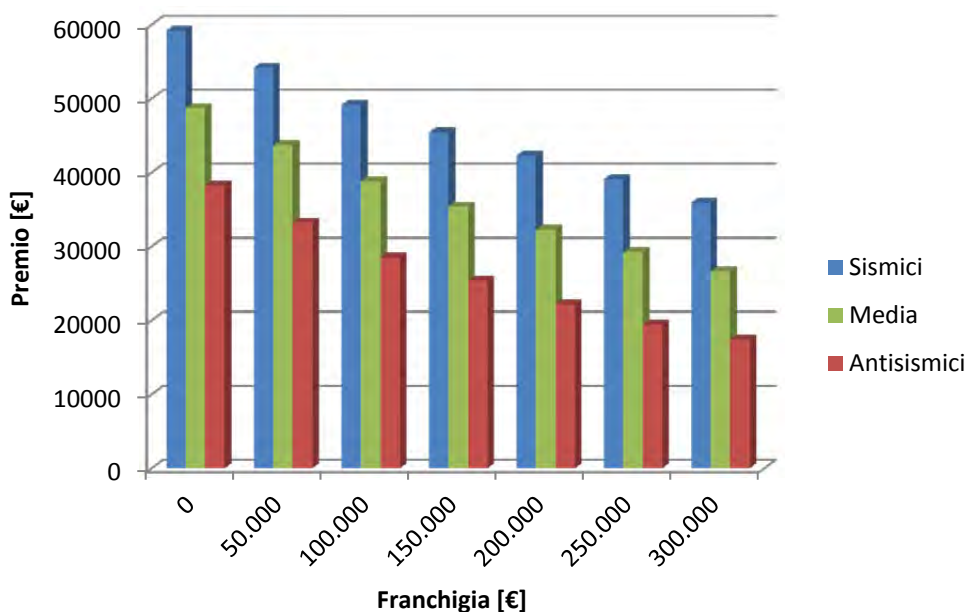


Fig. 55 – Valori medi premio di assicurazione

Dai valori ricavati si nota una relazione lineare tra la franchigia e il premio di assicurazione, così come tra la franchigia e il tasso di assicurazione. È stato possibile quindi determinare una funzione lineare attraverso la quale è possibile fare una proiezione dei dati per ulteriori valori di franchigia non analizzati.

Le funzioni interpolanti sono:

- “Low-code” $Tasso [\%] = -8 \cdot 10^{-6} \cdot Franchigia [€] + 5,7763$
- “High-code” $Tasso [\%] = -7 \cdot 10^{-6} \cdot Franchigia [€] + 3,6219$
- “Media” $Tasso [\%] = -7 \cdot 10^{-6} \cdot Franchigia [€] + 4,7141$

Fissato il valore della franchigia è possibile determinare il valore dell'incidenza percentuale del premio sul valore totale assicurato, fissato a 10.000.000 €, e quindi il premio di assicurazione.

$$Premio [€] = Valore\ totale\ assicurato [€] \cdot Tasso [\%]$$

Low-code

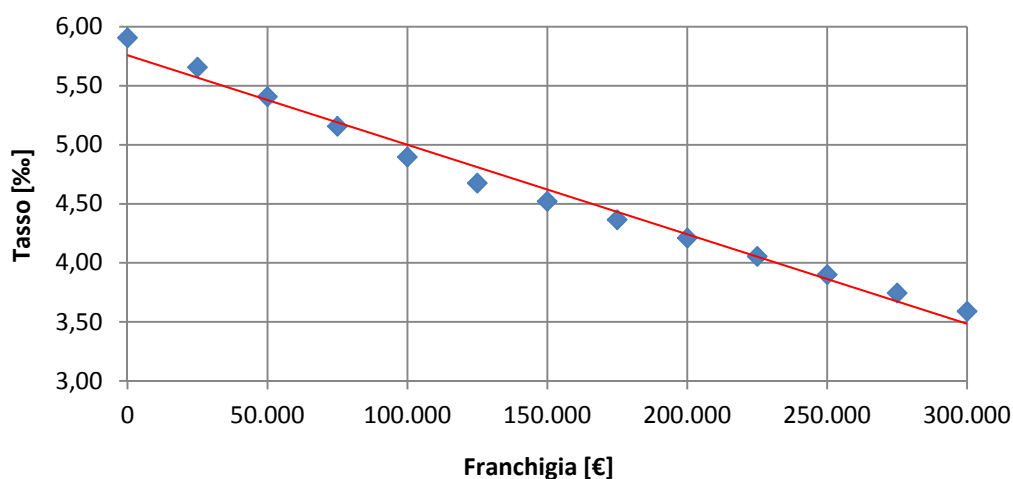


Fig. 56 – Interpolazione lineare “low-code”

High-code

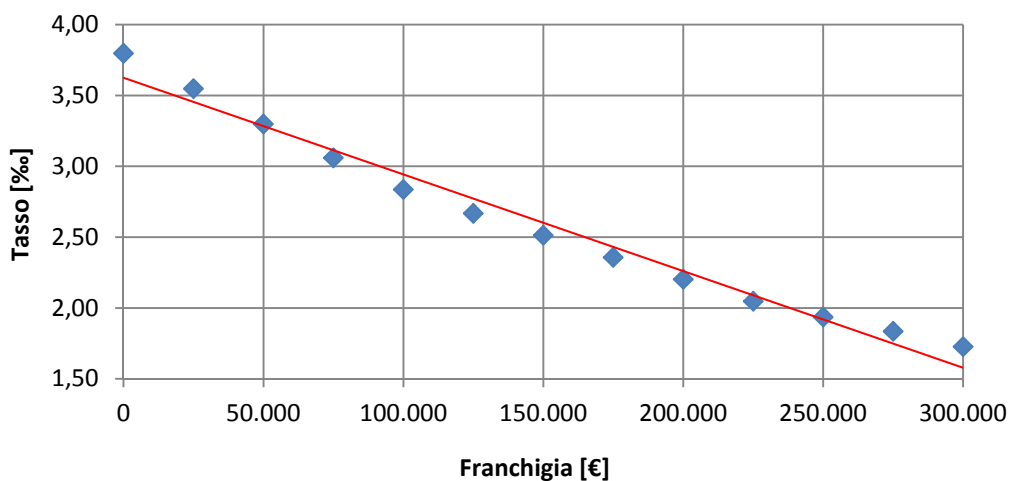


Fig. 57 – Interpolazione lineare “high-code”

Media

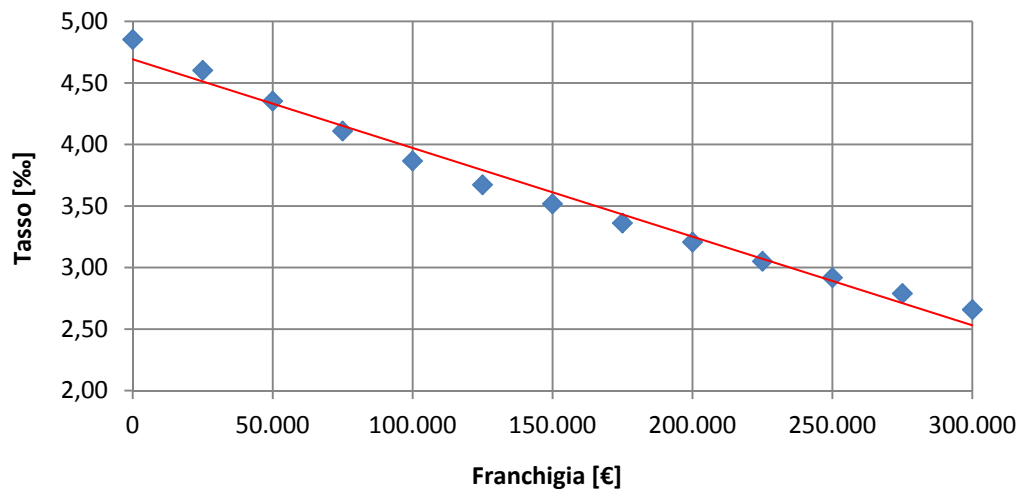


Fig. 58 – Interpolazione lineare per valori nazionali

11.3. MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI DIRETTI CON SCOPERTO

11.3.1. MODELLO ASSICURATIVO PER VENEZIA

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
344.808,63	0	0,00	344.808,63	35.027,87
344.808,63	5	17.240,43	327.568,20	33.302,48
344.808,63	10	34.480,86	310.327,77	31.574,40
344.808,63	15	51.721,29	293.087,33	29.843,62
344.808,63	20	68.961,73	275.846,90	28.110,14
344.808,63	25	86.202,16	258.606,47	26.373,94
344.808,63	30	103.442,59	241.366,04	24.635,02

Tab. 41 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code”

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
232.414,83	0	0,00	232.414,83	23.488,20
232.414,83	5	11.620,74	220.794,09	22.325,51
232.414,83	10	23.241,48	209.173,35	21.161,60
232.414,83	15	34.862,22	197.552,61	19.996,47
232.414,83	20	46.482,97	185.931,87	18.830,12
232.414,83	25	58.103,71	174.311,12	17.662,54
232.414,83	30	69.724,45	162.690,38	16.493,75

Tab. 42 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare dello scoperto, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e lo scoperto, si riduce sempre più.

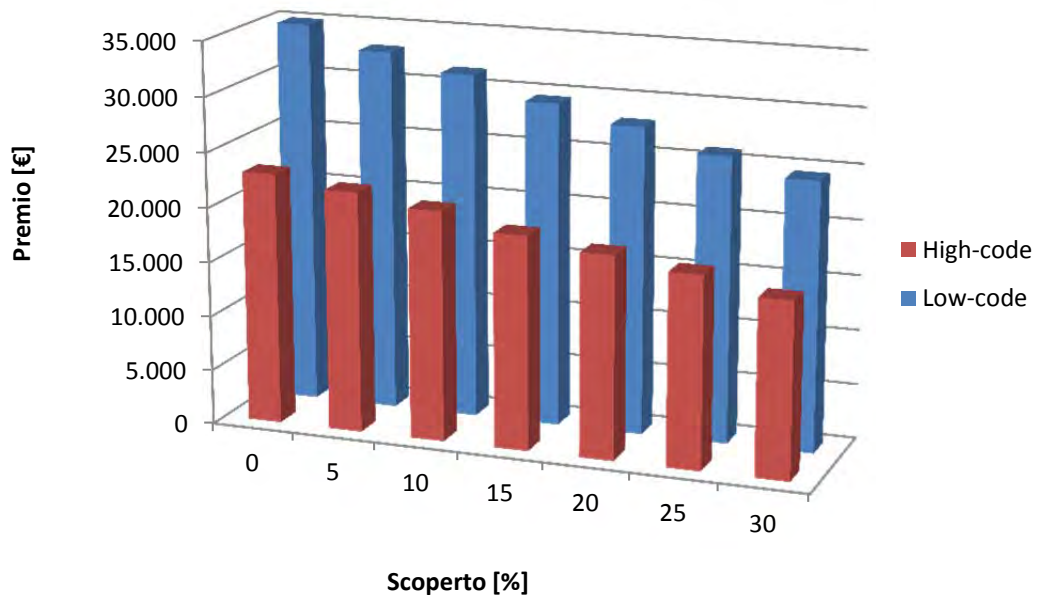


Fig. 59 – Variabilità del premio di assicurazione per Venezia

11.3.2. MODELLO ASSICURATIVO PER TREVISO

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
1.411.884,75	0	0,00	1.411.884,75	151.053,32
1.411.884,75	5	70.594,24	1.341.290,51	143.971,04
1.411.884,75	10	141.188,48	1.270.696,28	136.842,69
1.411.884,75	15	211.782,71	1.200.102,04	129.667,74
1.411.884,75	20	282.376,95	1.129.507,80	122.445,64
1.411.884,75	25	352.971,19	1.058.913,56	115.175,85
1.411.884,75	30	423.565,43	988.319,33	107.857,79

Tab. 43 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code”

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
914.095,91	0	0,00	914.095,91	95.402,88
914.095,91	5	45.704,80	868.391,11	90.822,83
914.095,91	10	91.409,59	822.686,32	86.223,75
914.095,91	15	137.114,39	776.981,52	81.605,42
914.095,91	20	182.819,18	731.276,73	76.967,67
914.095,91	25	228.523,98	685.571,93	72.310,34
914.095,91	30	274.228,77	639.867,13	67.633,21

Tab. 44 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare dello scoperto, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e lo scoperto, si riduce sempre più.

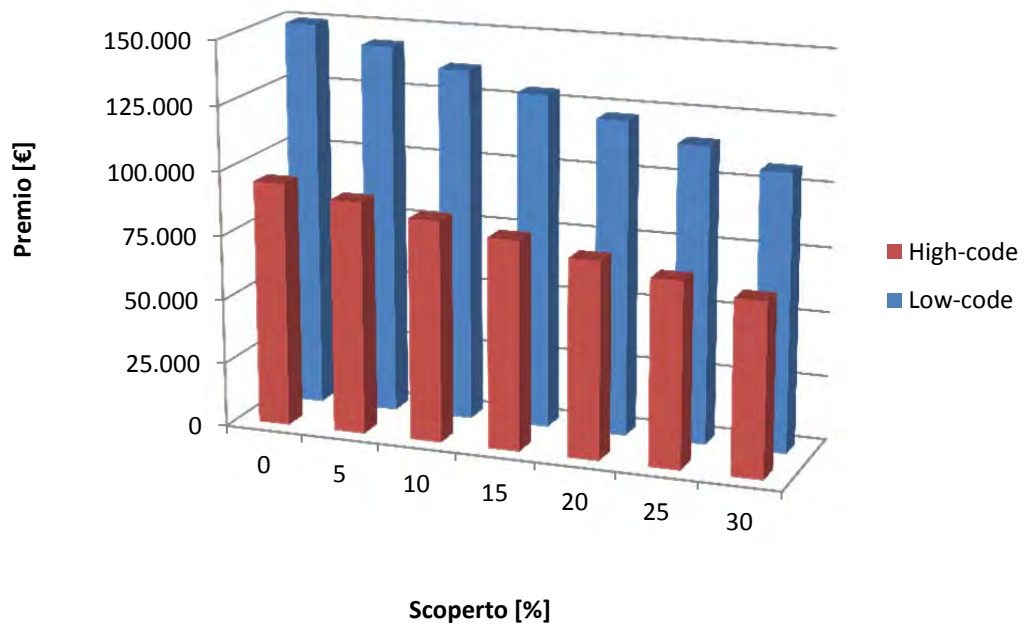


Fig. 60 – Variabilità del premio di assicurazione per Treviso

11.3.3. MODELLO ASSICURATIVO PER MILANO

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
114.877,92	0	0,00	114.877,92	11.547,61
114.877,92	5	5.743,90	109.134,02	10.973,08
114.877,92	10	11.487,79	103.390,13	10.398,24
114.877,92	15	17.231,69	97.646,23	9.823,11
114.877,92	20	22.975,58	91.902,33	9.247,67
114.877,92	25	28.719,48	86.158,44	8.671,94
114.877,92	30	34.463,38	80.414,54	8.095,92

Tab. 45 – Premio di assicurazione per Milano “low-code”

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
91.713,46	0	0,00	91.713,46	9.209,42
91.713,46	5	4.585,67	87.127,79	8.750,76
91.713,46	10	9.171,35	82.542,11	8.291,90
91.713,46	15	13.757,02	77.956,44	7.832,86
91.713,46	20	18.342,69	73.370,77	7.373,63
91.713,46	25	22.928,36	68.785,09	6.914,21
91.713,46	30	27.514,04	64.199,42	6.454,60

Tab. 46 – Premio di assicurazione per Milano “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare dello scoperto, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e lo scoperto, si riduce sempre più.

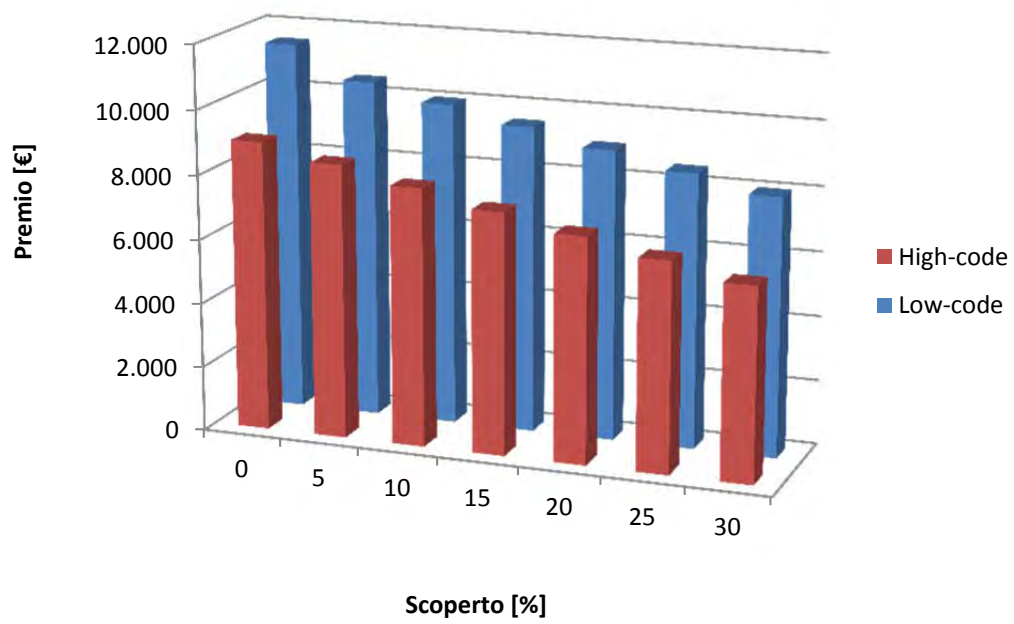


Fig. 61 – Variabilità del premio di assicurazione per Milano

11.3.4. MODELLO ASSICURATIVO PER ROMA

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
914.281,26	0	0,00	914.281,26	95.423,09
914.281,26	5	45.714,06	868.567,20	90.842,20
914.281,26	10	91.428,13	822.853,13	86.242,20
914.281,26	15	137.142,19	777.139,07	81.622,84
914.281,26	20	182.856,25	731.425,01	76.984,06
914.281,26	25	228.570,31	685.710,94	72.325,73
914.281,26	30	274.284,38	639.996,88	67.647,72

Tab. 47 – Premio di assicurazione per Roma “low-code”

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
579.811,71	0	0,00	579.811,71	59.551,99
579.811,71	5	28.990,59	550.821,12	56.649,13
579.811,71	10	57.981,17	521.830,54	53.738,63
579.811,71	15	86.971,76	492.839,95	50.820,45
579.811,71	20	115.962,34	463.849,37	47.894,55
579.811,71	25	144.952,93	434.858,78	44.960,90
579.811,71	30	173.943,51	405.868,20	42.019,29

Tab. 48 – Premio di assicurazione per Roma “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare dello scoperto, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e lo scoperto, si riduce sempre più.

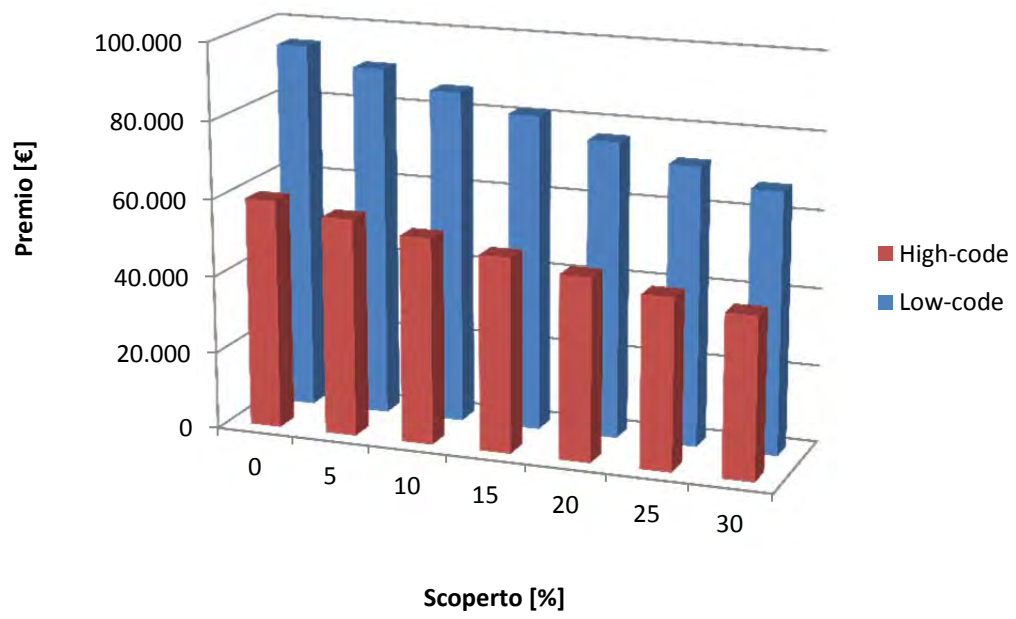


Fig. 62 – Variabilità del premio di assicurazione per Roma

11.3.5. MODELLO ASSICURATIVO PER BARI

Il modello descritto fornisce i seguenti valori al variare della franchigia e dell'approccio, low-code o high-code, considerato.

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
344.808,63	0	0,00	344.808,63	35.027,87
344.808,63	5	17.240,43	327.568,20	33.302,55
344.808,63	10	34.480,86	310.327,77	31.574,48
344.808,63	15	51.721,29	293.087,33	29.843,71
344.808,63	20	68.961,73	275.846,90	28.110,23
344.808,63	25	86.202,16	258.606,47	26.374,03
344.808,63	30	103.442,59	241.366,04	24.634,99

Tab. 49 – Premio di assicurazione per Bari “low-code”

Perdita [€]	Scoperto [%]	Scoperto [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
232.414,83	0	0,00	232.414,83	23.488,14
232.414,83	5	11.620,74	220.794,09	22.325,60
232.414,83	10	23.241,48	209.173,35	21.161,70
232.414,83	15	34.862,22	197.552,61	19.996,57
232.414,83	20	46.482,97	185.931,87	18.830,22
232.414,83	25	58.103,71	174.311,12	17.662,65
232.414,83	30	69.724,45	162.690,38	16.493,82

Tab. 50 – Premio di assicurazione per Bari “high-code”

Il modello utilizzato per il calcolo del premio di assicurazione è posto indipendente dal massimale, si ipotizza quindi che la compagnia di assicurazioni copra completamente la perdita annua attesa in caso di sisma.

Dal presente modello si può notare come i valori del premio di assicurazione decrescano all'aumentare dello scoperto, questo perché la copertura dell'assicurazione, data dalla differenza tra la perdita annua attesa e lo scoperto, si riduce sempre più.

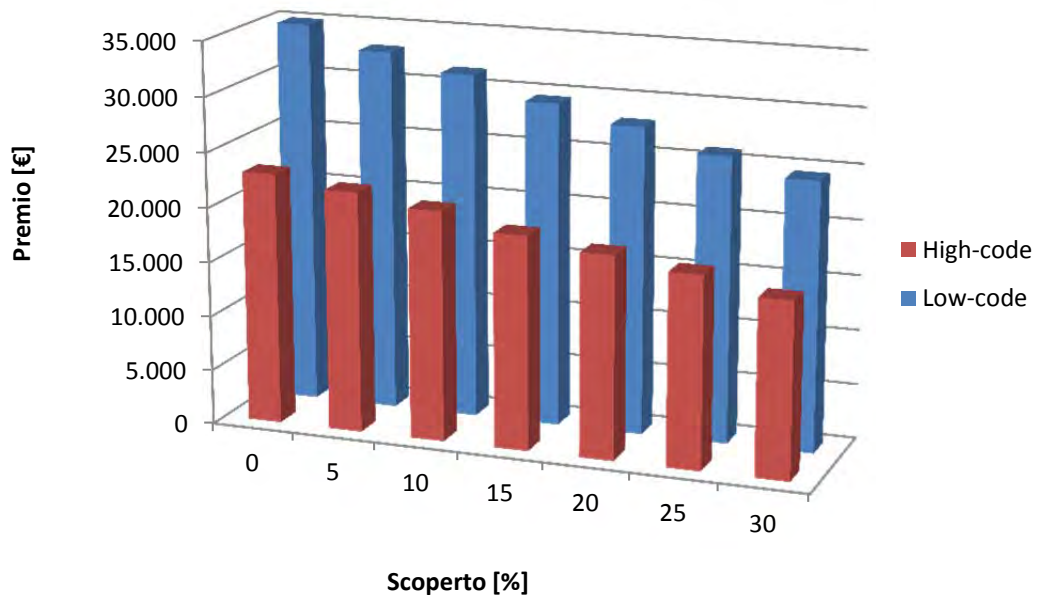


Fig. 63 – Variabilità del premio di assicurazione per Bari

11.3.6. OSSERVAZIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO

Lo studio analizzato su varie città d'Italia rivela che vi è una correlazione tra la PGA del spettro elastico di picco al suolo, perdita attesa e premio di assicurazione. Si può, infatti, notare che la città con minor rischio sismico è Milano mentre quella con rischio sismico maggiore è Treviso. Questo comporta valori di perdita attesa minori per il primo e maggiori per il secondo, mentre per le altre città si ottengono valori intermedi. Per quanto riguarda il modello assicurativo si nota una notevole differenza tra le due città sia con approccio "low-code" che con approccio "high-code".

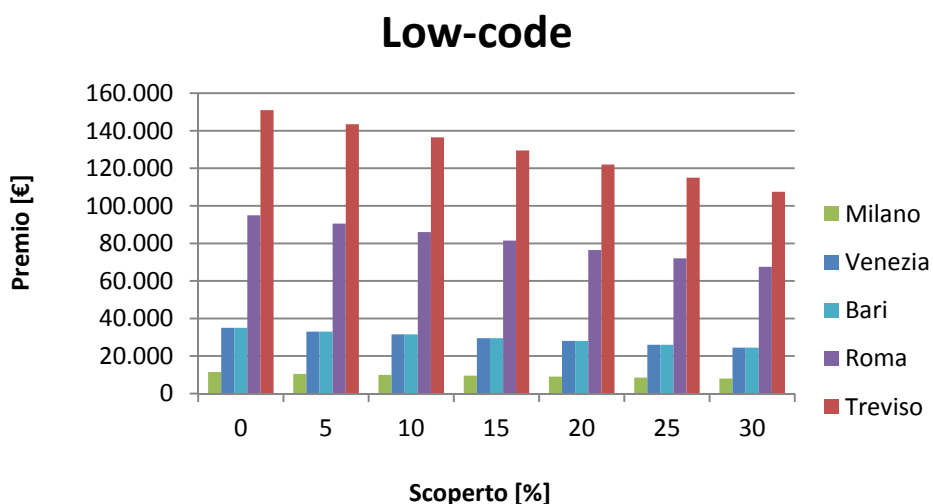


Fig. 64 – Variabilità del premio di assicurazione "low-code"

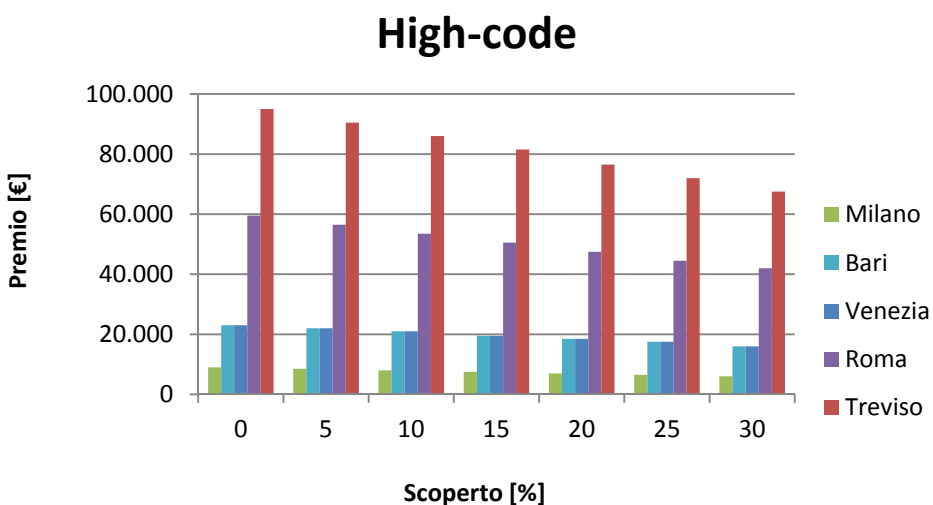


Fig. 65 – Variabilità del premio di assicurazione "high-code"

11.3.7. CONCLUSIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO PER DANNI DIRETTI

Una volta ottenuti i valori per unità produttiva e per città è possibile determinare il valore medio del premio di assicurazione valido su tutto il territorio italiano.

Questo valore si calcola con una semplice media ponderata sul numero di unità produttive delle città analizzate.

$$p_{medio}(P_j) = \frac{\sum_i p_i(P_j) \cdot n_{unità\ produttive,i}}{\sum_i n_{unità\ produttive}}$$

Dove:

- $p_{medio}(P_j)$ è il premio di assicurazione medio relativo allo j-esimo scoperto;
- $p_i(P_j)$ è il premio di assicurazione della i-esima città e allo j-esimo scoperto;
- P_j è lo j-esimo scoperto;
- $n_{unità\ produttive,i}$ è il numero di unità produttive della i-esima città;
- $\sum_i n_{unità\ produttive}$ è il numero totali di unità produttive.

Dai dati ISTAT prelevati dal data warehouse del “9° Censimento dell’Industria e dei Servizi” del 2011 è possibile determinare il numero di unità produttive presenti nelle città analizzate.

N° imprese Venezia	5.615
N° imprese Treviso	9.391
N° imprese Milano	22.594
N° imprese Roma	14.612
N° imprese Bari	7.421
Totale	59.633

Tab. 51 – Numero unità produttive

I valori mediati così ottenuti sono:

Scoperto [%]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	5.9202,02	5,92
5	5.6369,39	5,64
10	5.3524,11	5,35
15	5.0666,04	5,07
20	4.7795,09	4,78
25	4.4911,13	4,49
30	4.2014,02	4,20

Tab. 52 – Premio di assicurazione medio “low-code”

Scoperto [%]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	38.240,09	3,82
5	36.379,60	3,64
10	34.513,89	3,45
15	32.642,92	3,26
20	30.766,67	3,08
25	28.885,09	2,89
30	26.998,10	2,70

Tab. 53 – Premio di assicurazione medio “high-code”

Il valore del tasso di assicurazione è stato calcolato come percentuale sul valore totale al nuovo esposto al sisma, cioè 10.000.000 €.

La media tra i due approcci fornisce i valori di premio che possono essere applicati su tutto il suolo nazionale al variare dello scoperto.

Scoperto [%]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	48.721,06	4,87
5	46.374,49	4,64
10	44.019,00	4,40
15	41.654,48	4,17
20	39.280,88	3,93
25	36.898,11	3,69
30	34.506,06	3,45

Tab. 54 – Premio di assicurazione su suolo nazionale

Valori mediati

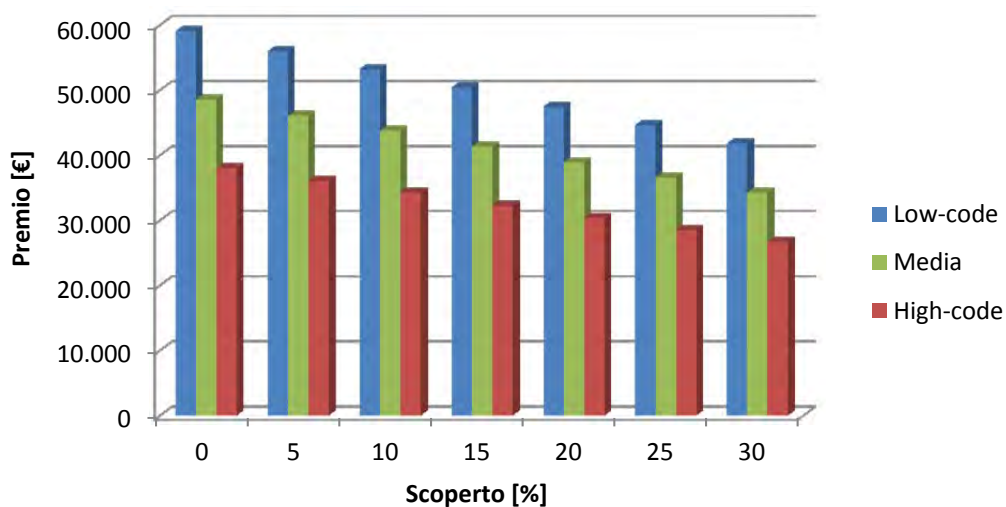


Fig. 66 – Valori medi premio di assicurazione

Dai valori ricavati si nota una relazione lineare tra lo scoperto e il premio di assicurazione, così come tra lo scoperto e il tasso di assicurazione. È stato possibile quindi determinare una funzione lineare attraverso la quale è possibile fare una proiezione dei dati per ulteriori valori di scoperto non analizzati.

Le funzioni interpolanti sono:

- “Low-code” $Tasso [\text{‰}] = -0,0573 \cdot Scoperto [\%] + 5,9234$
- “High-code” $Tasso [\text{‰}] = -0,0375 \cdot Scoperto [\%] + 3,8253$
- “Media” $Tasso [\text{‰}] = -0,0474 \cdot Scoperto [\%] + 4,8744$

Fissato il valore della franchigia è possibile determinare il valore dell’incidenza percentuale del premio sul valore totale assicurato, fissato a 10.000.000 €, e quindi il premio di assicurazione.

$$Premio [€] = Valore\ totale\ assicurato [€] \cdot Tasso [\text{‰}]$$

Low-code

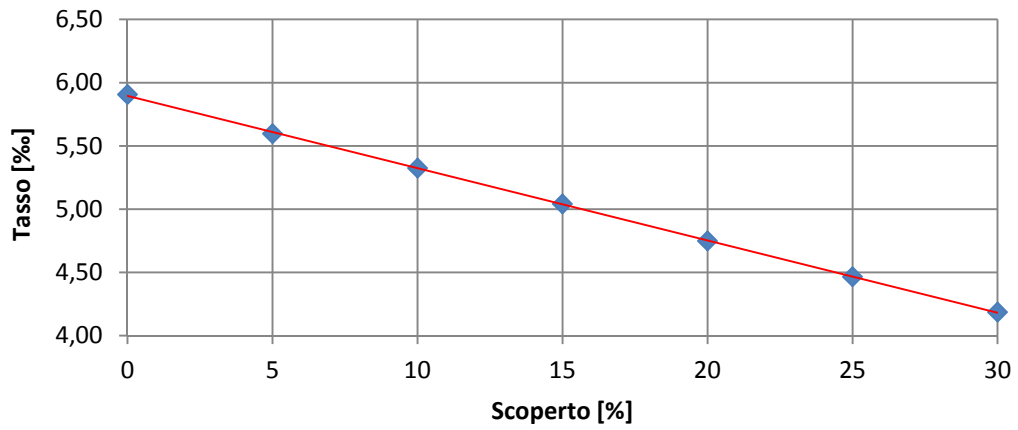


Fig. 67 – Interpolazione lineare "low-code"

High-code

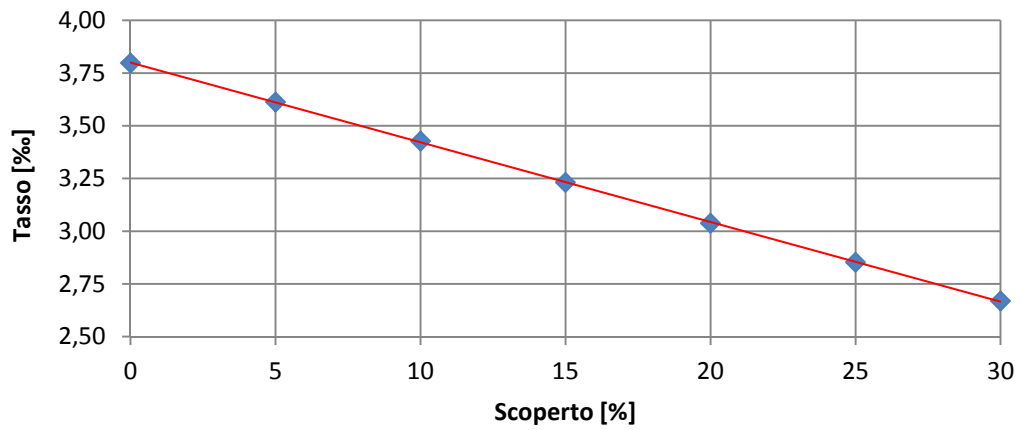


Fig. 68 – Interpolazione lineare "high-code"

Media

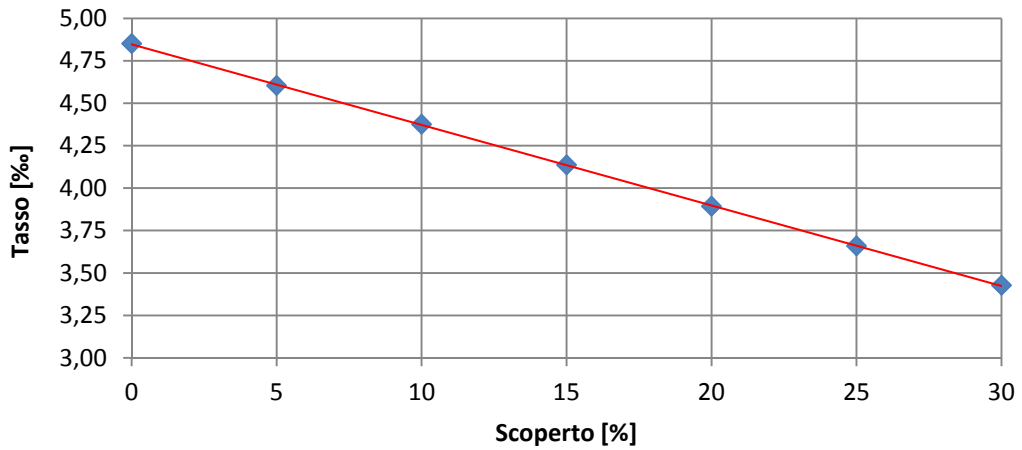


Fig. 69 – Interpolazione lineare per valori nazionali

11.4. MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI INDIRETTI

Si definiscono danni indiretti tutte quelle perdite economiche legate all'uso che la struttura aveva prima dell'evento sismico e che in seguito al terremoto sono state interrotte o parzializzate, sono cioè perdite finanziarie conseguenti a un danno diretto come:

- Interruzione di attività con perdita di profitto e mantenimento di costi fissi;
- Spese extra o maggiori costi per il proseguo dell'attività.

Per altre definizioni o esempi sulle perdite indirette si rimanda al capitolo 6.

Il modello assicurativo per i danni indiretti è sviluppato prendendo in considerazione il modello presentato da Prota et al. (2013), visto anche nel capitolo 11.2.

Il modello in questione per il calcolo del premio di assicurazione per i danni indiretti ipotizza una quota di perdita annua attesa non assicurata, la franchigia. A differenza dei modelli precedenti questa quota, pattuita all'atto della stipulazione del contratto di assicurazione tra il proprietario dell'attività produttiva e la società assicuratrice, è calcolata come numero di giorni in cui la produzione è ferma e quindi non produce introiti all'azienda.

Nel caso in esame, la stima del danno indiretto subito considera solo la perdita per riduzione della funzionalità e della produzione ed è stata ipotizzata pari alla perdita annua attesa per danni indiretti calcolata nel capitolo 10, dalla tabella 22 alla tabella 26.

Come nel modello precedente si distinguono l'utilità attesa senza contratto di assicurazione e l'utilità aspettata con contratto di assicurazione.

Nel caso in cui il proprietario non stipula un contratto di assicurazione, l'utilità attesa è data dalla somma di due termini:

- Il primo riguarda il caso in cui il terremoto non si verifichi e il margine di contribuzione dell'azienda resta inalterato;
- Il secondo riguarda il caso in cui il terremoto con intensità PGA, con una certa probabilità di accadimento, avvenga e il margine di contribuzione sia ridotto della perdita attesa.

$$U_n = (1 - \pi) \cdot \ln(MDC + 1) + \sum_i \pi_i \cdot \ln(MDC - L_i + 1)$$

Dove:

- U_n è l'utilità attesa senza contratto di assicurazione;
- MDC è il margine di contribuzione, definito nel capitolo 10;
- π_i è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita indiretta annua attesa.

Nel caso invece in cui il proprietario stipula un contratto di assicurazione, l'utilità attesa è data da:

$$U = (1 - \pi) \cdot \ln(MDC - p + 1) + \sum_i \pi_i \cdot \ln(MDC - p - L_i + X(L_i) + 1)$$

Dove:

- U è l'utilità attesa con contratto di assicurazione;
- MDC è il margine di contribuzione, definito nel capitolo 10;
- π_i è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita indiretta annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- $X(L_i)$ è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

Nell'espressione si distinguono due termini:

- il primo termine riguarda il caso in cui il terremoto non si verifichi e il margine di contribuzione viene ridotto del premio pagato;
- il secondo termine invece riguarda il caso in cui il terremoto con intensità PGA, con una certa probabilità di accadimento, si verifichi e il margine di contribuzione viene ridotto sia del premio pagato all'assicurazione che della perdita attesa e aumentato del risarcimento pagato dalla compagnia di assicurazione.

Quindi, il consumatore accetta il contratto solo se l'utilità attesa con contratto di assicurazione è maggiore di quella attesa senza contratto di assicurazione.

In caso contrario, il proprietario dell'immobile preferirà correre il rischio di non assicurare il bene, e quindi di incorrere in una possibile perdita, a fronte di un evento incerto com'è il sisma.

Questo viene tradotto mediante la seguente disuguaglianza di ottimizzazione:

$$U_n - U \leq 0$$

quindi:

$$(1 - \pi_i) \cdot \ln \left(\frac{MDC + 1}{MDC - p + 1} \right) + \ln \left(\frac{\prod_i (MDC - L_i + 1)^{\pi_i}}{\prod_i (MDC - p - L_i + X_i + 1)^{\pi_i}} \right) \leq 0$$

Dove:

- MDC è il margine di contribuzione, definito nel capitolo 10;
- π_i è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita indiretta annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

Il modello assicurativo si sviluppa secondo le seguenti relazioni:

$$X_i = L_i - F \quad \forall L_i \leq M$$

$$X_i = M - F \quad \forall L_i > M$$

Dove:

- L_i è perdita indiretta annua attesa;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.
- M è il massimale di copertura;
- F (Fixed Insurance Excess) è la franchigia.

La prima relazione indica che se la perdita dovesse essere minore del massimale, il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice è pari alla perdita ridotta della franchigia.

Per contro, qualora la perdita dovesse essere maggiore del massimale, il risarcimento massimo offerto dalla compagnia assicuratrice è pari al valore del massimale pattuito ridotto della franchigia.

Ovviamente, al diminuire del massimale e all'aumentare della franchigia corrisponde una diminuzione della quota assicurativa, cioè in caso di terremoto la compagnia assicuratrice offrirà un risarcimento inferiore poiché il valore assicurato è minore.

Per il caso in esame, l'utilità attesa senza contratto di assicurazione è calcolata con la seguente:

$$U_n = (1 - \pi) \cdot \ln(MDC + 1) + \pi \cdot \ln(MDC - L_i + 1)$$

Dove:

- U_n è l'utilità attesa senza contratto di assicurazione;
- MDC è il margine di contribuzione, definito nel capitolo 10;
- π è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita indiretta annua attesa.

Mentre l'utilità attesa in caso di stipulazione del contratto di assicurazione risulta:

$$U = (1 - \pi) \cdot \ln(MDC - p + 1) + \pi \cdot \ln(MDC - p - L_i + X(L_i) + 1)$$

Dove:

- U è l'utilità attesa con contratto di assicurazione;
- MDC è il margine di contribuzione, definito nel capitolo 10;
- π è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita indiretta annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- $X(L_i)$ è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

Con π si indica la probabilità di accadimento del sisma, in conformità ai dati prelevati dalle mappe di pericolosità sismica dell'INGV è stata assunta pari al 10 %, mentre i valori di perdita indiretta attesa sono stati calcolati precedentemente, dalla tabella 22 alla tabella 26.

Il problema di ottimizzazione tra la domanda e l'offerta è stato risolto ponendo nulla la disuguaglianza di utilità:

$$U_n - U = 0$$

quindi:

$$(1 - \pi) \cdot \ln\left(\frac{MDC + 1}{MDC - p + 1}\right) + \pi \cdot \ln\left(\frac{MDC - L_i + 1}{MDC - p - L_i + X(L_i) + 1}\right) = 0$$

Dove:

- MDC è il margine di contribuzione, definito nel capitolo 10;
- π è probabilità di accadimento;
- L_i è perdita indiretta annua attesa;
- p è il premio di assicurazione pagato;
- X_i è il risarcimento pagato dalla compagnia assicuratrice.

La franchigia è calcolata come numero di giorni in cui la produzione non vi è produzione e quindi guadagno da parte dell'impresa. Noto il margine di contribuzione annuale, ipotizzato pari al 10 % del fatturato lordo annuo, è possibile determinare il margine di contribuzione giornaliero:

$$MDC_{giornaliero} = \frac{MDC_{annuale}}{365}$$

Quindi, il prodotto tra il margine di contribuzione giornaliero e i giorni in cui non vi è produzione forniscono il valore della franchigia in termini monetari.

$$Franchigia [\text{€}] = Franchigia [gg] \cdot MDC_{giornaliero}$$

11.5. MODELLO ASSICURATIVO PER GLI EDIFICI “LOW-CODE”

11.5.1. MODELLO ASSICURATIVO PER VENEZIA

Di seguito i risultati per la città di Venezia per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
46.685,39	0	0,00	46.685,39	4.769,62
46.685,39	10	27.397,26	19.288,13	1.995,45
46.685,39	20	54.794,52	0,00	0,00
46.685,39	30	82.191,78	0,00	0,00
46.685,39	40	109.589,04	0,00	0,00
46.685,39	50	136.986,30	0,00	0,00
46.685,39	60	164.383,56	0,00	0,00

Tab. 55 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
233.426,93	0	0,00	233.426,93	23.848,10
233.426,93	10	136.986,30	96.440,63	9.977,24
233.426,93	20	273.972,60	0,00	0,00
233.426,93	30	410.958,90	0,00	0,00
233.426,93	40	547.945,21	0,00	0,00
233.426,93	50	684.931,51	0,00	0,00
233.426,93	60	821.917,81	0,00	0,00

Tab. 56 – Premio di assicurazione per Venezia “low-code” media impresa

Si può notare che quando il valore della franchigia supera quello della perdita indiretta annua attesa il premio di assicurazione si annulla in quanto la logica del modello non è ragionevole. Infatti, si avrebbe il pagamento di un premio di assicurazione da parte dell’impresa senza avere una copertura poiché tutta la perdita è a carico del proprietario.

11.5.2. MODELLO ASSICURATIVO PER TREVISO

Di seguito i risultati per la città di Treviso per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
199.695,06	0	0,00	199.695,06	22.029,96
199.695,06	10	27.397,26	172.297,80	19.255,17
199.695,06	20	54.794,52	144.900,54	16.408,09
199.695,06	30	82.191,78	117.503,28	13.485,32
199.695,06	40	109.589,04	90.106,02	10.483,21
199.695,06	50	136.986,30	62.708,76	7.397,90
199.695,06	60	164.383,56	35.311,50	4.225,23

Tab. 57 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
998.475,28	0	0,00	998.475,28	110.149,80
998.475,28	10	136.986,30	861.488,98	96.275,86
998.475,28	20	273.972,60	724.502,68	82.040,47
998.475,28	30	410.958,90	587.516,38	67.426,60
998.475,28	40	547.945,21	450.530,08	52.416,07
998.475,28	50	684.931,51	313.543,78	36.989,50
998.475,28	60	821.917,81	176.557,48	21.126,14

Tab. 58 – Premio di assicurazione per Treviso “low-code” media impresa

11.5.3. MODELLO ASSICURATIVO PER MILANO

Di seguito i risultati per la città di Milano per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
15.172,72	0	0,00	15.172,72	1.527,73
15.172,72	10	27.397,26	0,00	0,00
15.172,72	20	54.794,52	0,00	0,00
15.172,72	30	82.191,78	0,00	0,00
15.172,72	40	109.589,04	0,00	0,00
15.172,72	50	136.986,30	0,00	0,00
15.172,72	60	164.383,56	0,00	0,00

Tab. 59 – Premio di assicurazione per Milano “low-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
75.863,62	0	0,00	75.863,62	7.638,66
75.863,62	10	136.986,30	0,00	0,00
75.863,62	20	273.972,60	0,00	0,00
75.863,62	30	410.958,90	0,00	0,00
75.863,62	40	547.945,21	0,00	0,00
75.863,62	50	684.931,51	0,00	0,00
75.863,62	60	821.917,81	0,00	0,00

Tab. 60 – Premio di assicurazione per Milano “low-code” media impresa

Si può notare che quando il valore della franchigia supera quello della perdita indiretta annua attesa il premio di assicurazione si annulla in quanto la logica del modello non è ragionevole. Infatti, si avrebbe il pagamento di un premio di assicurazione da parte dell'impresa senza avere una copertura poiché tutta la perdita è a carico del proprietario.

11.5.4. MODELLO ASSICURATIVO PER ROMA

Di seguito i risultati per la città di Roma per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
127.556,39	0	0,00	127.556,39	13.553,04
127.556,39	10	27.397,26	100.159,13	10.778,56
127.556,39	20	54.794,52	72.761,87	7.932,44
127.556,39	30	82.191,78	45.364,61	5.011,33
127.556,39	40	109.589,04	17.967,35	2.011,67
127.556,39	50	136.986,30	0,00	0,00
127.556,39	60	164.383,56	0,00	0,00

Tab. 61 – Premio di assicurazione per Roma “low-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
637.781,95	0	0,00	637.781,95	67.765,22
637.781,95	10	136.986,30	500.795,65	53.892,81
637.781,95	20	273.972,60	363.809,34	39.662,20
637.781,95	30	410.958,90	226.823,04	25.056,65
637.781,95	40	547.945,21	89.836,74	10.058,35
637.781,95	50	684.931,51	0,00	0,00
637.781,95	60	821.917,81	0,00	0,00

Tab. 62 – Premio di assicurazione per Roma “low-code” media impresa

11.5.5. MODELLO ASSICURATIVO PER BARI

Di seguito i risultati per la città di Bari per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
46.685,39	0	0,00	46.685,39	4.769,62
46.685,39	10	27.397,26	19.288,13	1.995,45
46.685,39	20	54.794,52	0,00	0,00
46.685,39	30	82.191,78	0,00	0,00
46.685,39	40	109.589,04	0,00	0,00
46.685,39	50	136.986,30	0,00	0,00
46.685,39	60	164.383,56	0,00	0,00

Tab. 63 – Premio di assicurazione per Bari “low-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
233.426,93	0	0,00	233.426,93	23.886,49
233.426,93	10	136.986,30	96.440,63	10.015,63
233.426,93	20	273.972,60	0,00	0,00
233.426,93	30	410.958,90	0,00	0,00
233.426,93	40	547.945,21	0,00	0,00
233.426,93	50	684.931,51	0,00	0,00
233.426,93	60	821.917,81	0,00	0,00

Tab. 64 – Premio di assicurazione per Bari “low-code” media impresa

Si può notare che quando il valore della franchigia supera quello della perdita indiretta annua attesa il premio di assicurazione si annulla in quanto la logica del modello non è ragionevole. Infatti, si avrebbe il pagamento di un premio di assicurazione da parte dell'impresa senza avere una copertura poiché tutta la perdita è a carico del proprietario.

11.5.6. OSSERVAZIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO

Lo studio analizzato su varie città d'Italia rivela che vi è una correlazione tra la PGA del spettro elastico di picco al suolo, perdita attesa e premio di assicurazione. Si può, infatti, notare che la città con minor rischio sismico è Milano mentre quella con rischio sismico maggiore è Treviso. Questo comporta valori di perdita attesa minori per il primo e maggiori per il secondo, mentre per le altre città si ottengono valori intermedi. Per quanto riguarda il modello assicurativo si nota una notevole differenza tra le due città sia per le piccole imprese che per le medie imprese.

11.5.7. CONCLUSIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI INDIRETTI

Una volta ottenuti i valori per unità produttiva e per città è possibile determinare il valore medio del premio di assicurazione valido su tutto il territorio italiano.

Questo valore si calcola con una semplice media ponderata sul numero di unità produttive delle città analizzate.

$$p_{medio}(F_j) = \frac{\sum_i p_i(F_j) \cdot n_{unità\ produttive,i}}{\sum_i n_{unità\ produttive}}$$

Dove:

- $p_{medio}(F_j)$ è il premio di assicurazione medio relativo alla j-esima franchigia;
- $p_i(F_j)$ è il premio di assicurazione della i-esima città e alla j-esima franchigia;
- F è la j-esima franchigia;
- $n_{unità\ produttive,i}$ è il numero di unità produttive della i-esima città;
- $\sum_i n_{unità\ produttive}$ è il numero totali di unità produttive.

Dai dati ISTAT prelevati dal data warehouse del "9° Censimento dell'Industria e dei Servizi" del 2011 è possibile determinare il numero di unità produttive presenti nelle città analizzate.

N° imprese Venezia	5.615
N° imprese Treviso	9.391
N° imprese Milano	22.594
N° imprese Roma	14.612
N° imprese Bari	7.421
Totale	59.633

Tab. 65 – Numero unità produttive

I valori mediati così ottenuti sono:

Franchigia [gg]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	8.411,70	8,41
10	6.109,61	6,11
20	4.527,65	4,53
30	3.351,60	3,35
40	2.143,82	2,14
50	1.165,02	1,17
60	665,39	0,67

Tab. 66 – Premio di assicurazione medio “low-code” piccola impresa

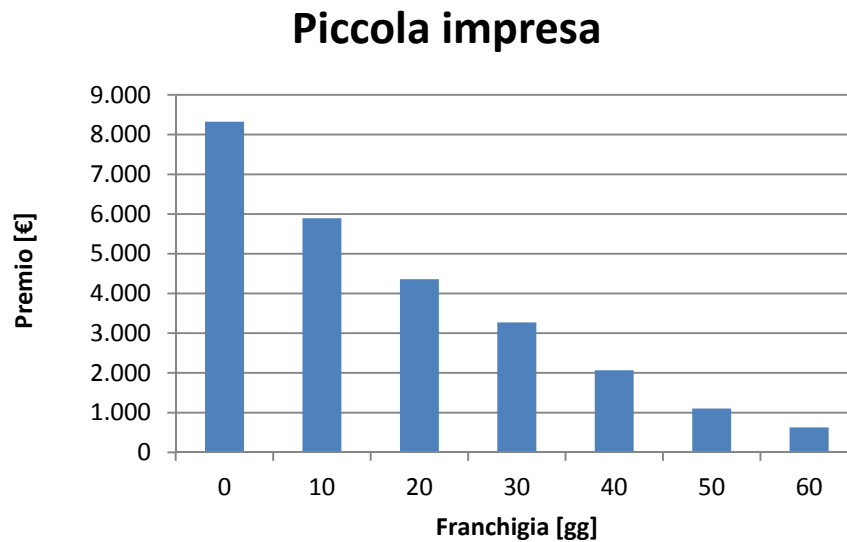


Fig. 70 – Premio di assicurazione medio “low-code” piccola impresa

Franchigia [gg]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	42.063,27	8,41
10	30.552,82	6,11
20	22.638,24	4,53
30	16.758,02	3,35
40	10.719,10	2,14
50	5.825,10	1,17
60	3.326,94	0,67

Tab. 67 – Premio di assicurazione medio “low-code” media impresa

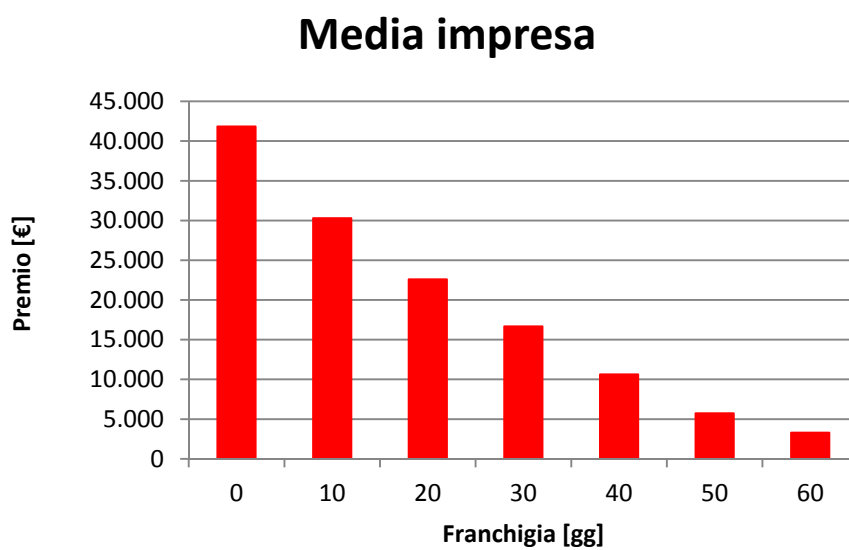


Fig. 71 – Premio di assicurazione medio “low-code” media impresa

Il valore del tasso di assicurazione è stato calcolato come percentuale sul margine di contribuzione annuale, cioè 1.000.000 € per la piccola impresa e 5.000.000 € per la media impresa.

11.6. MODELLO ASSICURATIVO PER GLI EDIFICI “HIGH-CODE”

11.6.1. MODELLO ASSICURATIVO PER VENEZIA

Di seguito i risultati per la città di Venezia per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
35.095,05	0	0,00	35.095,05	3.566,20
35.095,05	10	27.397,26	7.697,79	792,06
35.095,05	20	54.794,52	0,00	0,00
35.095,05	30	82.191,78	0,00	0,00
35.095,05	40	109.589,04	0,00	0,00
35.095,05	50	136.986,30	0,00	0,00

Tab. 68 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
175.475,26	0	0,00	175.475,26	17.830,98
175.475,26	10	136.986,30	38.488,96	3.960,33
175.475,26	20	273.972,60	0,00	0,00
175.475,26	30	410.958,90	0,00	0,00
175.475,26	40	547.945,21	0,00	0,00
175.475,26	50	684.931,51	0,00	0,00

Tab. 69 – Premio di assicurazione per Venezia “high-code” media impresa

Si può notare che quando il valore della franchigia supera quello della perdita indiretta annua attesa il premio di assicurazione si annulla in quanto la logica del modello non è ragionevole. Infatti, si avrebbe il pagamento di un premio di assicurazione da parte dell’impresa senza avere una copertura poiché tutta la perdita è a carico del proprietario.

11.6.2. MODELLO ASSICURATIVO PER TREVISO

Di seguito i risultati per la città di Treviso per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
131.263,06	0	0,00	131.263,06	13.972,95
131.263,06	10	27.397,26	103.865,80	11.198,45
131.263,06	20	54.794,52	76.468,54	8.352,28
131.263,06	30	82.191,78	49.071,28	5.431,09
131.263,06	40	109.589,04	0,00	0,00
131.263,06	50	136.986,30	0,00	0,00

Tab. 70 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
656.315,32	0	0,00	656.315,32	69.864,76
656.315,32	10	136.986,30	519.329,01	55.992,27
656.315,32	20	273.972,60	382.342,71	41.761,42
656.315,32	30	410.958,90	245.356,41	27.155,47
656.315,32	40	547.945,21	108.370,11	12.156,56
656.315,32	50	684.931,51	0,00	0,00

Tab. 71 – Premio di assicurazione per Treviso “high-code” media impresa

11.6.3. MODELLO ASSICURATIVO PER MILANO

Di seguito i risultati per la città di Milano per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
14.156,67	0	0,00	14.156,67	1.424,77
14.156,67	10	27.397,26	0,00	0,00
14.156,67	20	54.794,52	0,00	0,00
14.156,67	30	82.191,78	0,00	0,00
14.156,67	40	109.589,04	0,00	0,00
14.156,67	50	136.986,30	0,00	0,00

Tab. 72 – Premio di assicurazione per Milano “high-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
70.783,35	0	0,00	70.783,35	7.123,83
70.783,35	10	136.986,30	0,00	0,00
70.783,35	20	273.972,60	0,00	0,00
70.783,35	30	410.958,90	0,00	0,00
70.783,35	40	547.945,21	0,00	0,00
70.783,35	50	684.931,51	0,00	0,00

Tab. 73 – Premio di assicurazione per Milano “high-code” media impresa

Si può notare che quando il valore della franchigia supera quello della perdita indiretta annua attesa il premio di assicurazione si annulla in quanto la logica del modello non è ragionevole. Infatti, si avrebbe il pagamento di un premio di assicurazione da parte dell'impresa senza avere una copertura poiché tutta la perdita è a carico del proprietario.

11.6.4. MODELLO ASSICURATIVO PER ROMA

Di seguito i risultati per la città di Roma per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
84.815,04	0	0,00	84.815,04	8.823,75
84.815,04	10	27.397,26	57.417,78	6.049,44
84.815,04	20	54.794,52	30.020,52	3.203,84
84.815,04	30	82.191,78	2.623,26	0,00
84.815,04	40	109.589,04	0,00	0,00
84.815,04	50	136.986,30	0,00	0,00

Tab. 74 – Premio di assicurazione per Roma “high-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
424.075,22	0	0,00	424.075,22	44.118,75
424.075,22	10	136.986,30	287.088,91	30.247,18
424.075,22	20	273.972,60	150.102,61	16.019,19
424.075,22	30	410.958,90	13.116,31	1.418,23
424.075,22	40	547.945,21	0,00	0,00
424.075,22	50	684.931,51	0,00	0,00

Tab. 75 – Premio di assicurazione per Roma “low-code” media impresa

11.6.5. MODELLO ASSICURATIVO PER BARI

Di seguito i risultati per la città di Bari per le piccole imprese, fatturato lordo di 10.000.000 € e margine di contribuzione di 1.000.000 €, e per le medie imprese, fatturato lordo di 50.000.000 € e margine di contribuzione di 5.000.000 €.

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
35.095,05	0	0,00	35.095,05	3.566,19
35.095,05	10	27.397,26	7.697,79	792,06
35.095,05	20	54.794,52	0,00	0,00
35.095,05	30	82.191,78	0,00	0,00
35.095,05	40	109.589,04	0,00	0,00
35.095,05	50	136.986,30	0,00	0,00

Tab. 76 – Premio di assicurazione per Bari “high-code” piccola impresa

Perdita [€]	Franchigia [gg]	Franchigia [€]	Risarcimento [€]	Premio [€]
175.475,26	0	0,00	175.475,26	17.830,97
175.475,26	10	136.986,30	38.488,96	3.960,32
175.475,26	20	273.972,60	0,00	0,00
175.475,26	30	410.958,90	0,00	0,00
175.475,26	40	547.945,21	0,00	0,00
175.475,26	50	684.931,51	0,00	0,00

Tab. 77 – Premio di assicurazione per Bari “high-code” media impresa

Si può notare che quando il valore della franchigia supera quello della perdita indiretta annua attesa il premio di assicurazione si annulla in quanto la logica del modello non è ragionevole. Infatti, si avrebbe il pagamento di un premio di assicurazione da parte dell’impresa senza avere una copertura poiché tutta la perdita è a carico del proprietario.

11.6.6. OSSERVAZIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI INDIRETTI

Lo studio analizzato su varie città d'Italia rivela che vi è una correlazione tra la PGA del spettro elastico di picco al suolo, perdita attesa e premio di assicurazione. Si può, infatti, notare che la città con minor rischio sismico è Milano mentre quella con rischio sismico maggiore è Treviso. Questo comporta valori di perdita attesa minori per il primo e maggiori per il secondo, mentre per le altre città si ottengono valori intermedi. Per quanto riguarda il modello assicurativo si nota una notevole differenza tra le due città sia per le piccole imprese che per le medie imprese.

11.6.7. CONCLUSIONI SUL MODELLO ASSICURATIVO

Una volta ottenuti i valori per unità produttiva e per città è possibile determinare il valore medio del premio di assicurazione valido su tutto il territorio italiano.

Questo valore si calcola con una semplice media ponderata sul numero di unità produttive delle città analizzate.

$$p_{medio}(F_j) = \frac{\sum_i p_i(F_j) \cdot n_{unità\ produttive,i}}{\sum_i n_{unità\ produttive}}$$

Dove:

- $p_{medio}(F_j)$ è il premio di assicurazione medio relativo alla j-esima franchigia;
- $p_i(F_j)$ è il premio di assicurazione della i-esima città e alla j-esima franchigia;
- F è la j-esima franchigia;
- $n_{unità\ produttive,i}$ è il numero di unità produttive della i-esima città;
- $\sum_i n_{unità\ produttive}$ è il numero totali di unità produttive.

Dai dati ISTAT prelevati dal data warehouse del "9° Censimento dell'Industria e dei Servizi" del 2011 è possibile determinare il numero di unità produttive presenti nelle città analizzate.

N° imprese Venezia	5.615
N° imprese Treviso	9.391
N° imprese Milano	22.594
N° imprese Roma	14.612
N° imprese Bari	7.421
Totale	59.633

Tab. 78 – Numero unità produttive

I valori mediati così ottenuti sono:

Franchigia [gg]	Premio [€]	Tasso [%]
0	5.681,97	5,68
10	3.418,99	3,42
20	2.100,36	2,10
30	924,79	0,92
40	382,88	0,38
50	0,00	0,00
60	0,00	0,00

Tab. 79 – Premio di assicurazione medio “high-code” piccola impresa

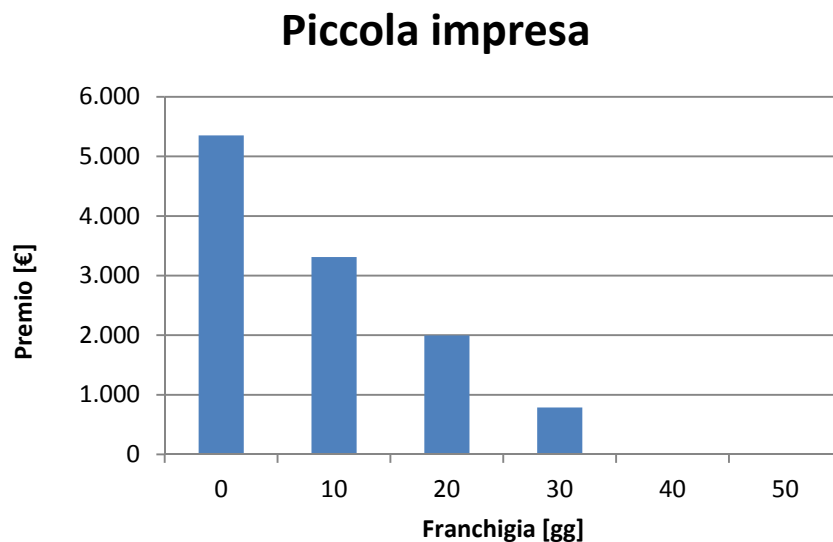


Fig. 72 – Premio di assicurazione medio “high-code” piccola impresa

Franchigia [gg]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	28.409,83	5,68
10	17.094,93	3,42
20	10.501,80	2,10
30	4.623,95	0,92
40	1.914,41	0,38
50	0,00	0,00
60	0,00	0,00

Tab. 80 – Premio di assicurazione medio “high-code” media impresa

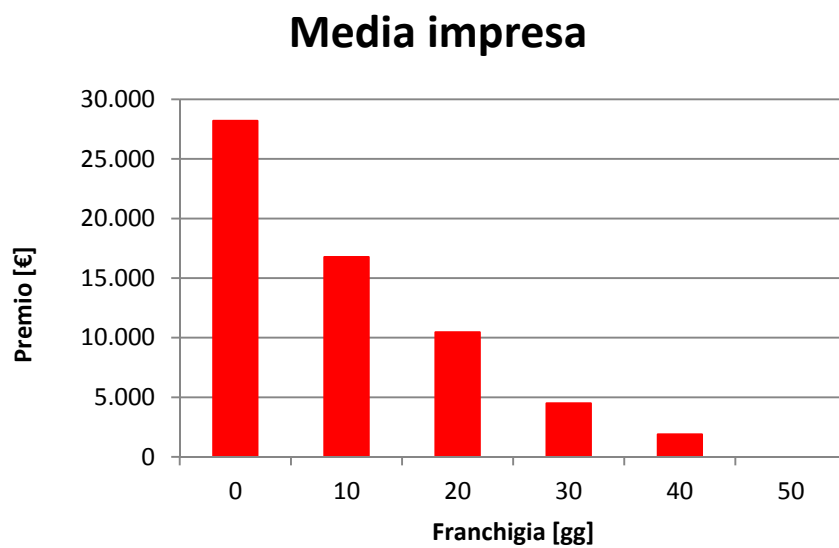


Fig. 73 – Premio di assicurazione medio “high-code” media impresa

Il valore del tasso di assicurazione è stato calcolato come percentuale sul margine di contribuzione annuale, cioè 1.000.000 € per la piccola impresa e 5.000.000 € per la media impresa.

11.7. RISULTATI DEL MODELLO ASSICURATIVO PER I DANNI INDIRETTI

I valori dei premi di assicurazione a livello nazionale per danni indiretti sono ottenuti mediando i valori dei premi ottenuti per la categoria “low-code” e “high-code” e divisi per tipologia di impresa, piccola o media.

I valori mediati così ottenuti sono:

Franchigia [gg]	Premio [€]	Tasso [‰]
0	7.046,83	7,05
10	4.764,30	4,76
20	3.314,00	3,31
30	2.138,20	2,14
40	1.263,35	1,26
50	582,51	0,58
60	332,69	0,33

Tab. 81 – Premio di assicurazione medio piccola impresa

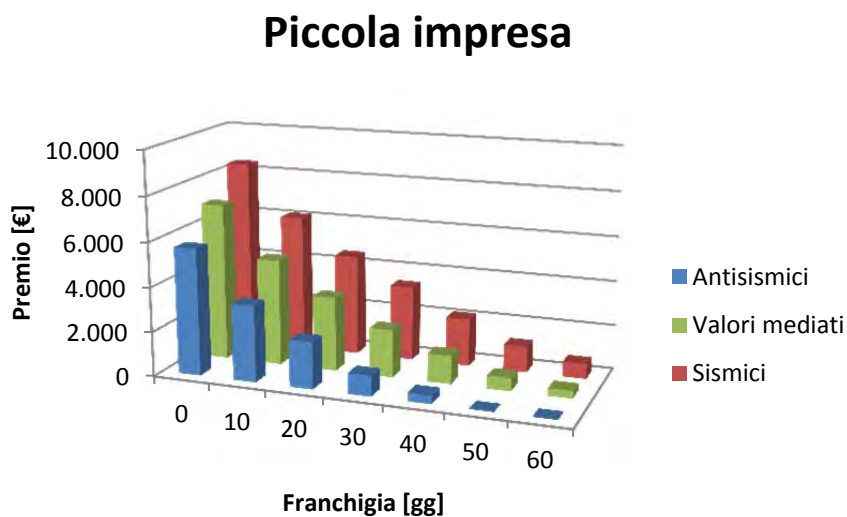


Fig. 74 – Premio di assicurazione medio piccola impresa

Franchigia [gg]	Premio [€]	Tasso [%]
0	35.236,55	7,05
10	23.823,88	4,76
20	16.570,02	3,31
30	10.690,99	2,14
40	6.316,76	1,26
50	2.912,55	0,58
60	1.663,47	0,33

Tab. 82 – Premio di assicurazione medio media impresa

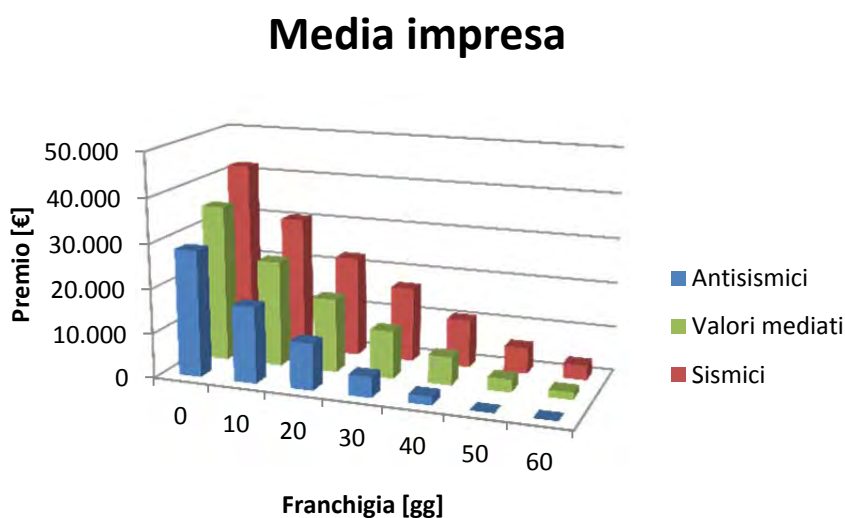


Fig. 75 – Premio di assicurazione medio media impresa

Si può notare che il modello fornisce gli stessi risultati in termini di tasso per entrambe le tipologie di impresa. Questo perché il calcolo del premio di assicurazione per danni indiretti viene calcolato sulla base del margine di contribuzione, diverso tra piccola e media impresa, così come il tasso di assicurazione dato dal rapporto tra il premio di assicurazione e il margine di contribuzione preso in considerazione, perciò si ottiene una relazione indipendente dal margine di contribuzione.

Esiste così una relazione unica tra il modello assicurativo per danni indiretti della piccola impresa e della media impresa.

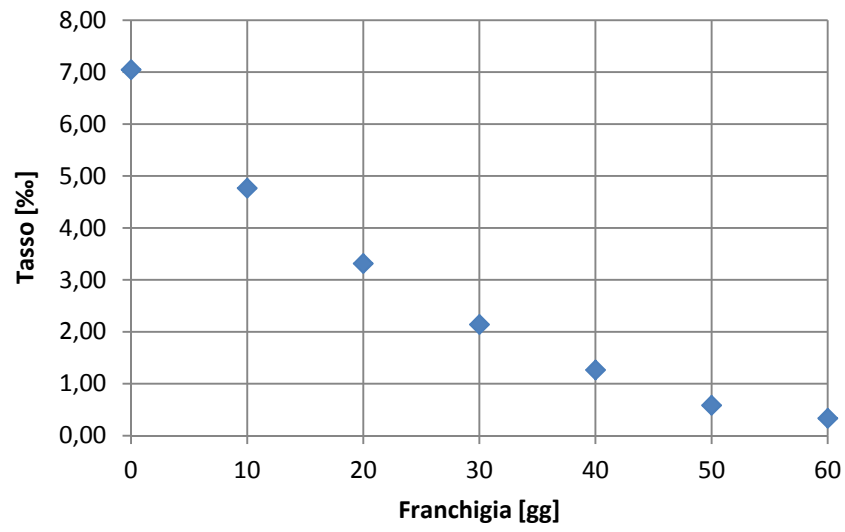


Fig. 76 – Tasso del premio per danni indiretti

12. TEMPO DI RIPRISTINO

Dopo un evento sismico è interesse del proprietario dell'attività produttiva ripristinare prima possibile l'immobile e i servizi ad esso connessi al fine di limitare, per quanto possibile, la perdita finanziaria in termini economici, di tempo e quindi di danni indiretti. Questo, in alcuni casi, potrebbe tradursi in uno spostamento temporaneo di tutta o parte dell'attività produttiva da un immobile produttivo danneggiato ad uno "sano", in altri casi la riparazione degli elementi danneggiati. Gli effetti però possono ripercuotersi sull'economia dell'azienda perché se essa non è sufficientemente forte da sopportare queste spese extra potrebbe non riuscire a sostenere il carico economico e quindi andare incontro al fallimento dell'attività produttiva.

Per quanto riguarda le aziende danneggiate non in modo grave, esse dovranno essere sottoposte al controllo da parte degli ingegneri competenti al fine di escludere qualsiasi pericolo di crollo post-sisma. Questi controlli per quanto tempestivi essi siano comportano sempre un'attesa con conseguenti ritardi nella produzione, nella spedizione e nella vendita dei prodotti.

Perciò, quando sono coinvolte le attività produttive, i tempi di ripristino dei fabbricati e dell'attività presentano un ruolo chiave nell'azione di ricostruzione e di ripristino.

Lo stato, come avviene in seguito ad un evento sismico importante, stanziava una serie di aiuti economici per le popolazioni colpite dal sisma. Questi aiuti servono a coprire le perdite avvenute ma anche ad aiutare la popolazione nella ricostruzione del patrimonio edilizio delle zone colpite.

Una forma di aiuto può arrivare anche dalle società assicurative con le quali si è stipulato in precedenza un contratto di assicurazione e quindi si impegnano a risarcire il danno subito, anche in questo caso la chiave di tutto sono i tempi di erogazione dei risarcimenti.

A questo proposito, lo stato potrebbe direttamente fornire un aiuto alle aziende danneggiate, infatti, dal modello presentato in "Seismic risk analysis of revenue losses, gross regional product and transportation system" di Carturan F., si può vedere come cambiano i tempi di ripristino in funzione delle risorse disponibili, distinguendo il caso in cui vi siano aiuti monetari dallo stato dal caso in cui l'azienda non gode di aiuti.

Il modello di ripristino in funzione della funzionalità residua è stato costruito utilizzando la distribuzione cumulativa log-normale con i seguenti parametri di riferimento.

	μ (senza aiuti)	μ (con aiuti)	β
$0,8 < RF < 1,0$	4	4	0,90
$0,4 < RF < 0,8$	30	30	0,90
$0,2 < RF < 0,4$	120	60	0,90
$0,0 < RF < 0,2$	720	360	0,90

Tab. 83 – Parametri del modello di ripristino

Dove:

- μ è il valore medio della distribuzione espresso in giorni;
- σ è la deviazione standard della distribuzione.

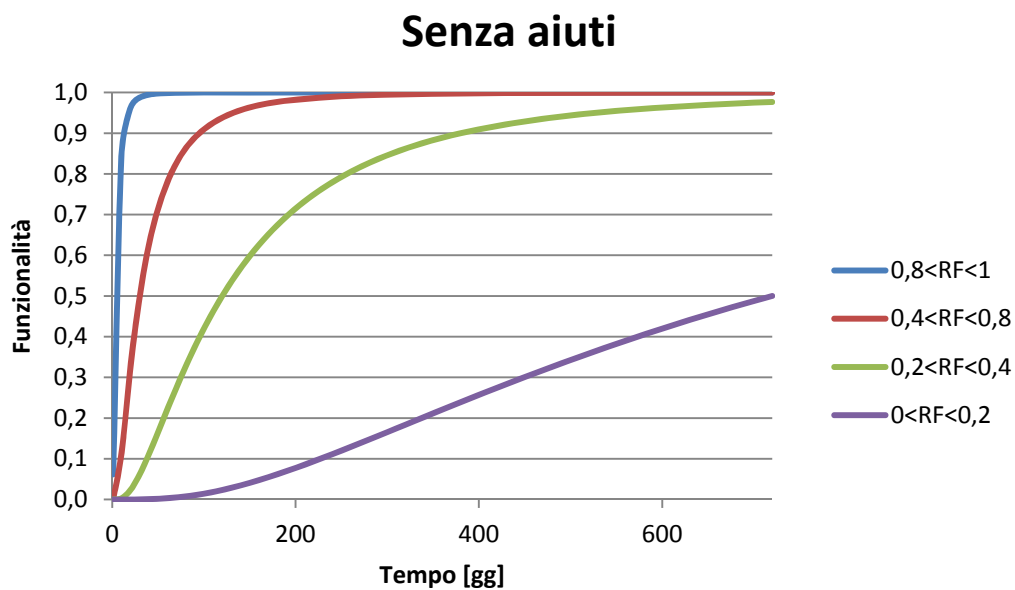


Fig. 77 – Modello di ripristino senza aiuti

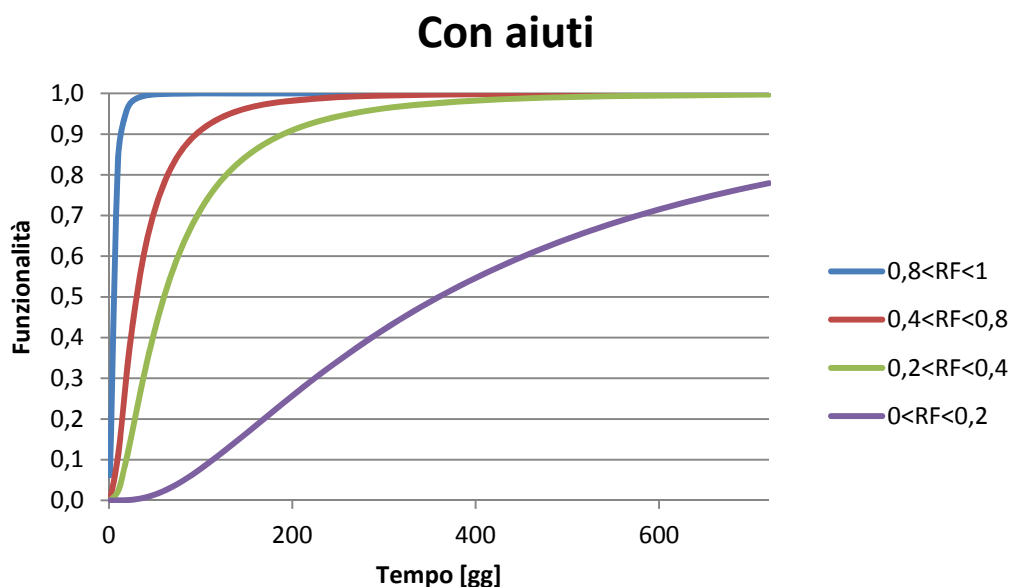


Fig. 78 – Modello di ripristino con aiuti

Dal modello si ricavano due grafici:

- primo diagramma, caso in cui non ci siano aiuti finanziari esterni;
- secondo diagramma, caso in cui ci siano aiuti finanziari esterni.

Si può notare come varia il tempo di ripristino in funzione della funzionalità residua.

Se si considera un edificio scarsamente danneggiato cioè con una funzionalità residua compresa tra lo 0,8 e 1, linea continua, si può notare che i tempi di ripristino per ottenere la piena funzionalità dell'edificio sono bassi e i risultati per i 2 casi analizzati, presenza o mancanza di aiuti, forniscono pressoché gli stessi risultati. All'aumentare del danno ricevuto, cioè al diminuire della funzionalità residua post-sisma, si può notare come la presenza di aiuti economici sia essenziale per il recupero dell'area. Per esempio, se si analizza un edificio molto danneggiato o completamente distrutto, funzionalità residua compresa tra lo 0,2 e lo 0, i tempi di ripristino per avere la piena funzionalità dell'opera sono dell'ordine dei 700 giorni per il caso della presenza di aiuti economici mentre, per il caso della mancanza di aiuti, a 700 giorni si raggiunge solo la metà della funzionalità dell'edificio. Risultato che non stupisce perché tutti i costi sono a carico del proprietario e tutto dipende dalla possibilità economica di quest'ultimo.

13. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi rappresenta un'estensione agli edifici ad uso produttivo di studi precedentemente realizzati su edifici residenziali. Lo scopo del lavoro svolto mira a determinare un modello assicurativo per i danni diretti e danni indiretti derivanti da un evento sismico.

Alla base del modello vi è uno studio legato alla fragilità delle strutture, edifici prefabbricati in calcestruzzo, dei macchinari e delle scaffalature in essi contenuti al fine di determinare la perdita annua attesa, diretta ed indiretta. La ricerca delle curve di fragilità è stato un elemento cruciale al fine di ottenere risultati aderenti alla realtà e realistici.

La perdita diretta è stata calcolata sulla base della PGA del campione di città analizzato e del valore al nuovo degli elementi esposti al sisma.

La perdita indiretta è stata calcolata anch'essa sulla base della PGA ma anche sulla base del margine di contribuzione delle imprese distinguendo i casi di piccola impresa e media impresa in conformità con la definizione fornita nella *Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea*. Essa è stata calcolata usando le curve di fragilità dei macchinari in quanto la loro funzionalità genera il profitto dell'impresa.

Note le perdite attese è stato possibile impostare il modello assicurativo adattandolo al caso in esame. Esso si basa sul concetto di utilità e il risultato è conseguenza di un problema di ottimizzazione, il quale mira a trovare il valore del premio di assicurazione che meglio soddisfa l'utente finale che deve stipulare il contratto di assicurazione. L'ottimizzazione è stata posta imponendo l'uguaglianza tra l'utilità aspettata senza e con un contratto di assicurazione.

I risultati dei modelli forniscono i valori dei premi da pagare verso la società assicuratrice nel caso in cui si applichi un vincolo di franchigia o di scoperto.

Infine, con i valori dei premi ottenuti e con il numero di edifici ad uso produttivo prelevati dall'ISTAT, si sono determinati i valori dei premi e dei tassi di assicurazione applicabili a livello nazionale.

Questi risultati finali possono essere considerati attendibili nonostante la cerchia ristretta di città analizzate ed in linea con i parametri offerti dal mercato, uno sviluppo futuro potrebbe essere l'implementazione del modello su un campione di città che preveda la totalità del territorio italiano.

In coda alla tesi si può osservare il modello assicurativo per danni diretti applicato anche agli edifici residenziali.

Personalmente ritengo questo lavoro di tesi utile per capire le problematiche, economiche ed ingegneristiche, retrostanti un premio di assicurazione ma anche per comprendere meglio il concetto di danni indiretti, i quali, molto spesso passano in secondo piano nonostante siano una componente di danno non trascurabile. Infatti, essi si ripercuotono a lungo termine e possono influenzare l'economia e lo sviluppo di un paese.

Infine, la scelta dell'argomento di tesi è avvenuta in seguito all'evento sismico dell'Emilia Romagna nel 2012, perché è stato il sisma che più di tutti ha colpito in quanto le scosse sismiche sono state avvertite distintamente e perché impressionato la fragilità degli edifici produttivi e di stoccaggio con la conseguente perdita di beni, nell'immediato, e attività produttive, nel lungo termine, per milioni di euro.

14. ALLEGATO: MODELLO ASSICURATIVO PER GLI EDIFICI RESIDENZIALI

Sulla base del modello assicurativo degli edifici industriali si è costruito il modello assicurativo per gli edifici residenziali. Quest'ultimo risulta essere una semplificazione del modello precedentemente calcolato in quanto si considerano solo le perdite dirette derivanti dal danneggiamento dell'edificio.

La costruzione del modello parte dalla definizione delle curve di fragilità per gli edifici residenziali, a tale scopo sono state prese in considerazione le curve di fragilità fornite da Rota et al. (2008).

Le tipologie di strutture ad uso residenziali analizzate sono:

- MX1: struttura mista con numero di piani minore o uguale a 2;
- MX2: struttura mista con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- RC1: struttura in calcestruzzo armato progettata in modo antisismico con numero di piani minore o uguale a 3;
- RC2: struttura in calcestruzzo armato non progettata in modo antisismico con numero di piani minore o uguale a 3;
- RC3: struttura in calcestruzzo armato progettata in modo antisismico con numero di piani maggiore o uguale a 4;
- RC4: struttura in calcestruzzo armato non progettata in modo antisismico con numero di piani maggiore o uguale a 4;
- IMA1: struttura in muratura con pianta irregolare, solai flessibili e tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- IMA2: struttura in muratura con pianta irregolare, solai flessibili e senza tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- IMA3: struttura in muratura con pianta irregolare, solai rigidi e tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- IMA4: struttura in muratura con pianta irregolare, solai rigidi e senza tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- IMA5: struttura in muratura con pianta irregolare, solai flessibili e tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;

- IMA6: struttura in muratura con pianta irregolare, solai flessibili e senza tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- IMA7: struttura in muratura con pianta irregolare, solai rigidi e tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- IMA8: struttura in muratura con pianta irregolare, solai rigidi e senza tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- RMA1: struttura in muratura con pianta regolare, solai flessibili e tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- RMA2: struttura in muratura con pianta regolare, solai flessibili e senza tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- RMA3: struttura in muratura con pianta regolare, solai rigidi e tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- RMA4: struttura in muratura con pianta regolare, solai rigidi e senza tiranti con numero di piani minore o uguale a 2;
- RMA5: struttura in muratura con pianta regolare, solai flessibili e tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- RMA6: struttura in muratura con pianta regolare, solai flessibili e senza tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- RMA7: struttura in muratura con pianta regolare, solai rigidi e tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;
- RMA8: struttura in muratura con pianta regolare, solai rigidi e senza tiranti con numero di piani maggiore o uguale a 3;

	DS1		DS2		DS3		DS4		DS5	
	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β	μ [g]	β
MX1	-4,83	4,73	0,81	4,28	3,31	5,24	2,76	3,33	2,07	2,24
MX2	-5,05	5,11	-0,43	2,32	-0,15	1,74	0,97	2,05	1,56	1,83
RC1	-0,17	2,80	0,64	1,42	0,38	1,08	0,23	0,85	0,00	0,00
RC2	-1,34	2,06	-0,18	0,98	-0,26	0,64	0,31	0,91	0,67	0,93
RC4	-1,95	0,86	-1,16	0,44	-1,04	0,40	-0,82	0,43	-0,47	0,52
IMA1	-10,48	8,01	0,04	10,81	2,13	4,99	3,06	3,81	2,68	2,51
IMA2	-9,96	5,95	-3,02	5,30	-1,12	4,77	-0,21	2,95	0,04	1,84
IMA3	-4,20	4,74	1,12	4,72	2,54	4,09	3,73	3,52	1,93	1,89
IMA4	-7,32	5,74	-1,48	3,60	-0,22	3,41	1,12	3,21	2,03	2,65
IMA5	-10,61	7,45	-2,50	8,20	-0,51	2,98	0,74	2,46	0,00	0,00
IMA6	-9,35	5,35	-2,91	4,36	-1,36	3,05	-0,41	2,10	-0,15	1,34
IMA7	-3,64	2,89	-1,48	2,59	-0,75	1,86	0,67	2,16	1,99	2,00
IMA8	-6,89	4,26	-2,39	2,08	-1,67	1,67	-0,69	1,64	0,53	1,79
RMA1	-5,13	6,82	6,28	8,44	5,18	5,11	3,70	2,90	0,00	0,00
RMA2	-10,76	9,84	1,30	9,89	5,48	9,33	5,42	6,18	3,53	3,41
RMA3	-1,12	5,67	5,55	5,54	4,97	4,16	3,90	2,94	0,00	0,00
RMA4	-6,66	12,63	4,57	7,17	2,92	3,96	3,44	3,22	2,33	1,94
RMA5	-4,77	6,34	0,98	6,34	1,79	4,17	0,46	1,45	0,00	0,00
RMA6	-11,12	10,53	-0,67	8,99	0,80	5,13	1,66	3,48	4,13	3,54
RMA7	-2,02	2,51	-0,18	1,78	-0,01	1,48	0,13	1,11	0,11	0,55
RMA8	-6,03	9,12	-0,82	3,43	-0,35	2,33	-0,36	1,29	3,49	2,83

Tab. 84 – Parametri delle curve di fragilità per gli edifici residenziali

Di seguito le rappresentazioni delle curve di fragilità.

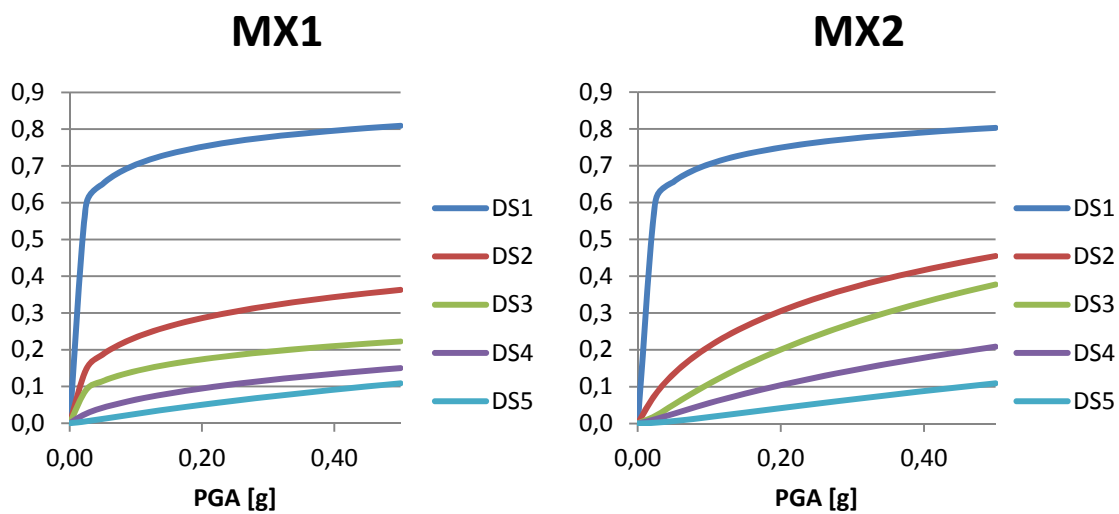


Fig. 79 – Curva di fragilità MX1

Fig. 80 – Curva di fragilità MX2

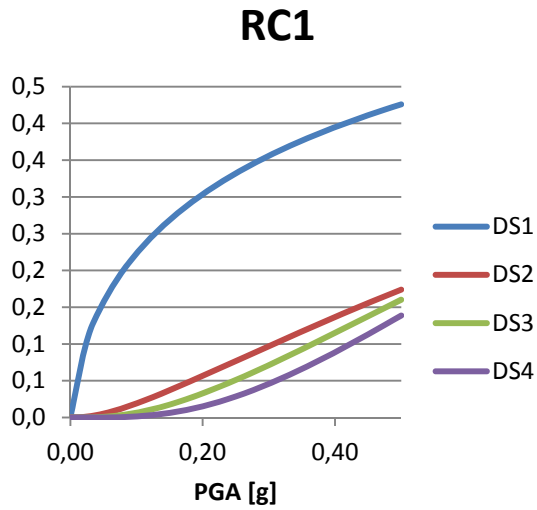


Fig. 81 – Curva di fragilità RC1

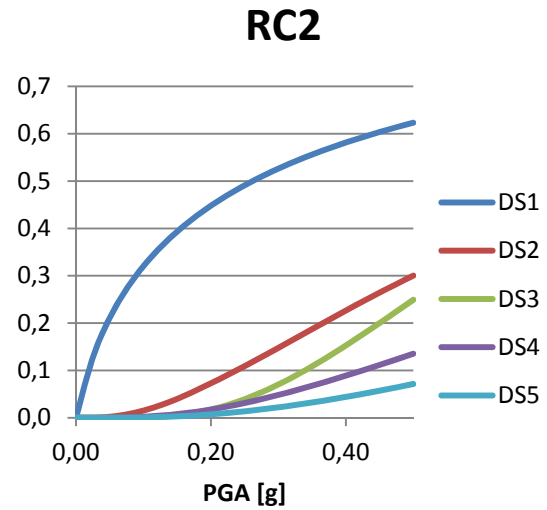


Fig. 82 – Curva di fragilità RC2

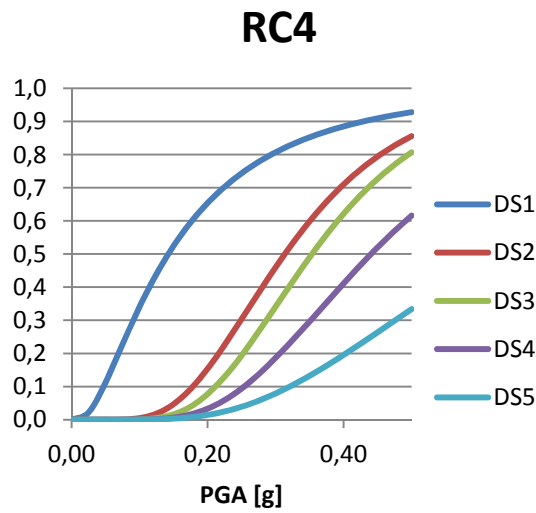


Fig. 83 – Curva di fragilità RC4

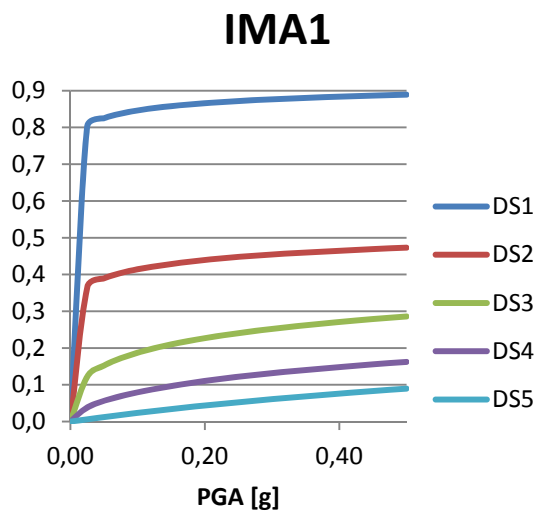


Fig. 84 – Curva di fragilità IMA1

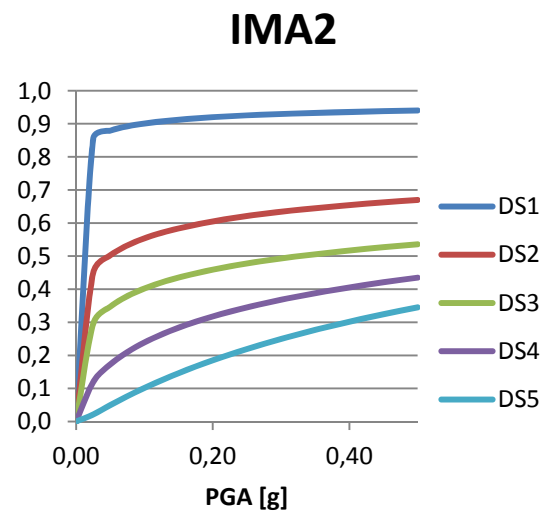


Fig. 85 – Curva di fragilità IMA2

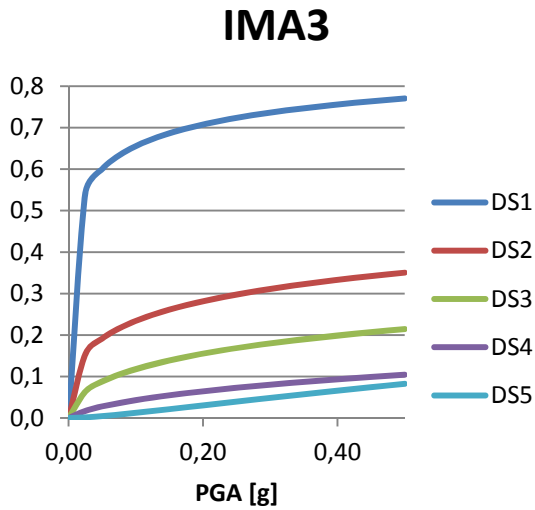


Fig. 86 – Curva di fragilità IMA3

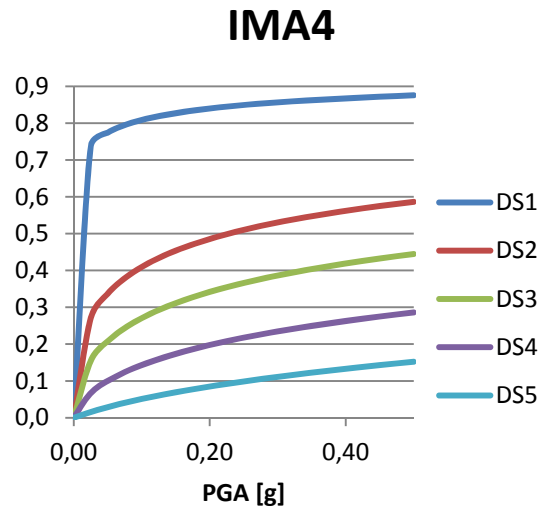


Fig. 87 – Curva di fragilità IMA4

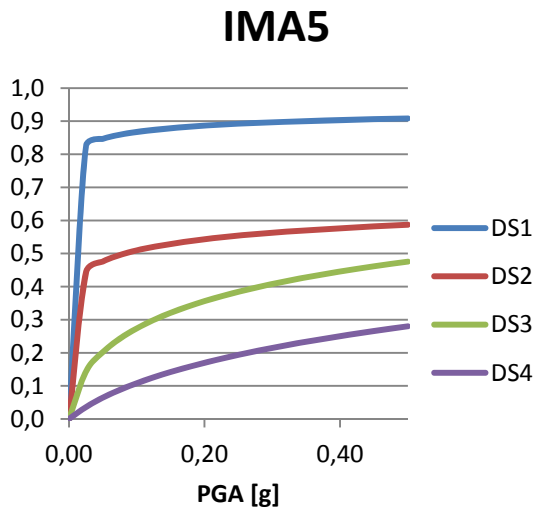


Fig. 88 – Curva di fragilità IMA5

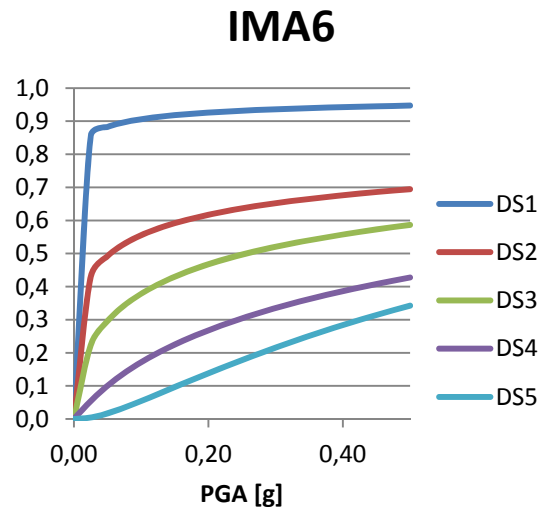


Fig. 89 – Curva di fragilità IMA6

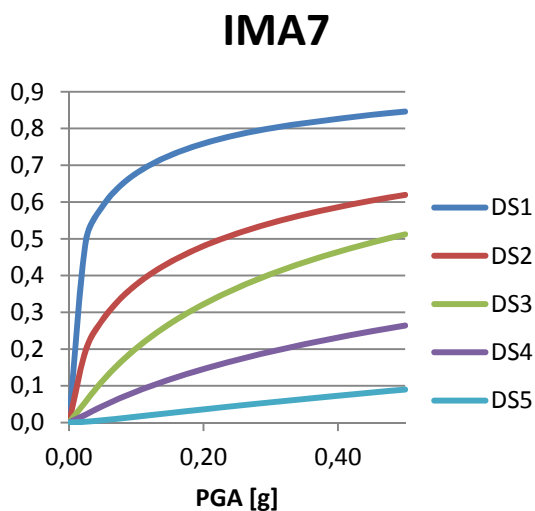


Fig. 90 – Curva di fragilità IMA7

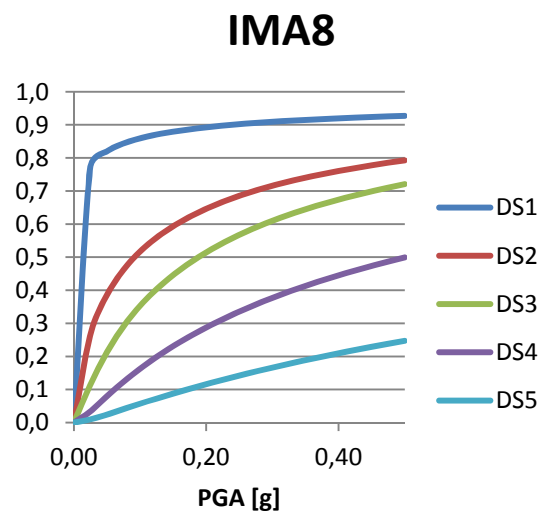


Fig. 91 – Curva di fragilità IMA8

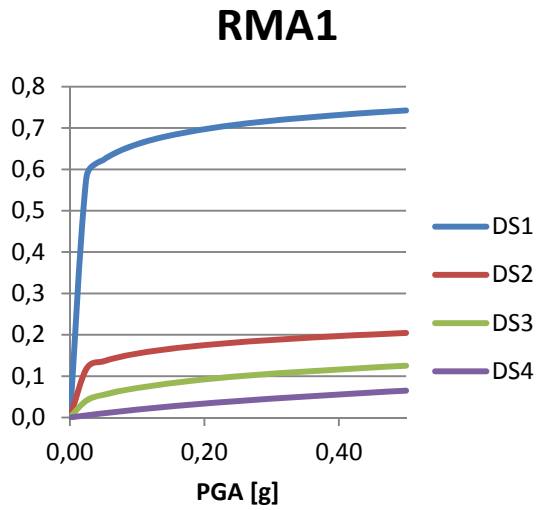


Fig. 92 – Curva di fragilità RMA1

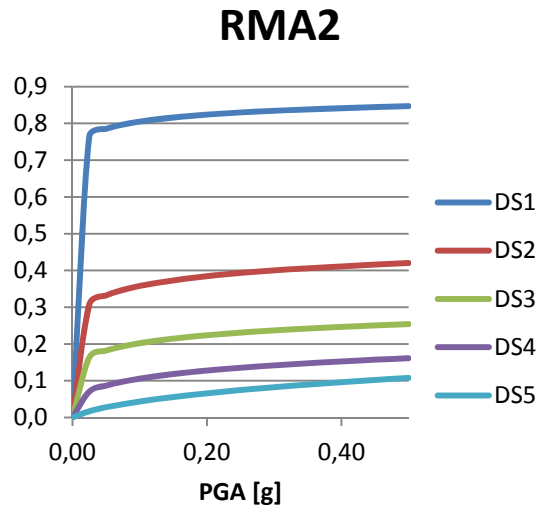


Fig. 93 – Curva di fragilità RMA2

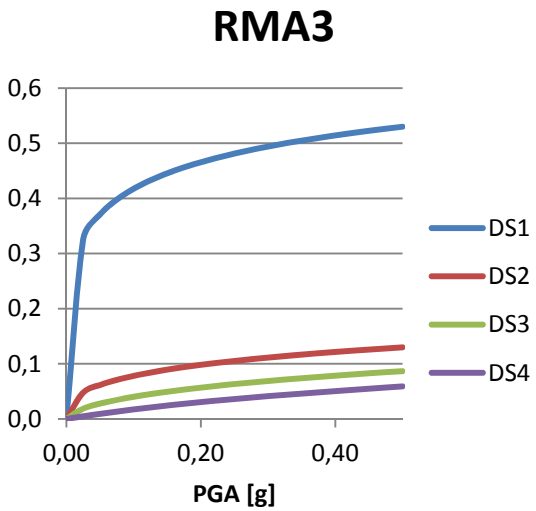


Fig. 94 – Curva di fragilità RMA3

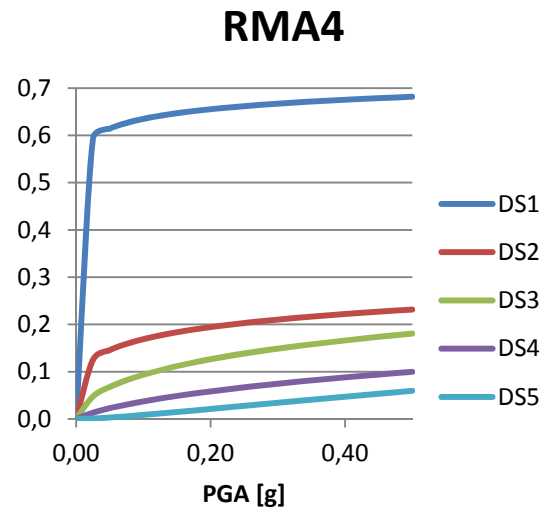


Fig. 95 – Curva di fragilità RMA4

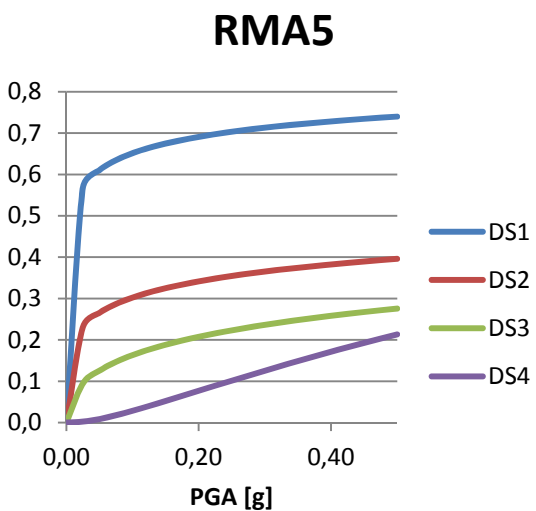


Fig. 96 – Curva di fragilità RMA5

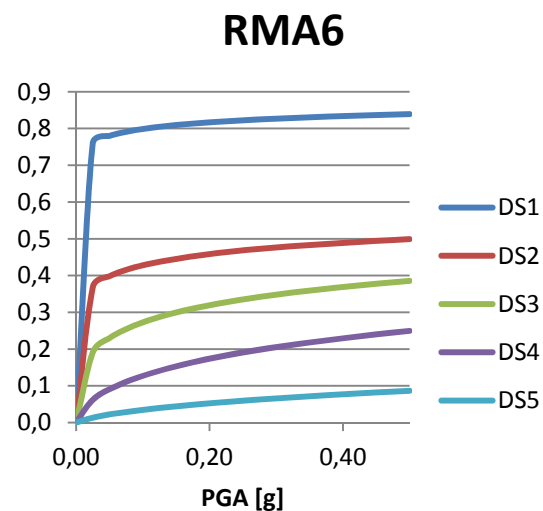


Fig. 97 – Curva di fragilità RMA6

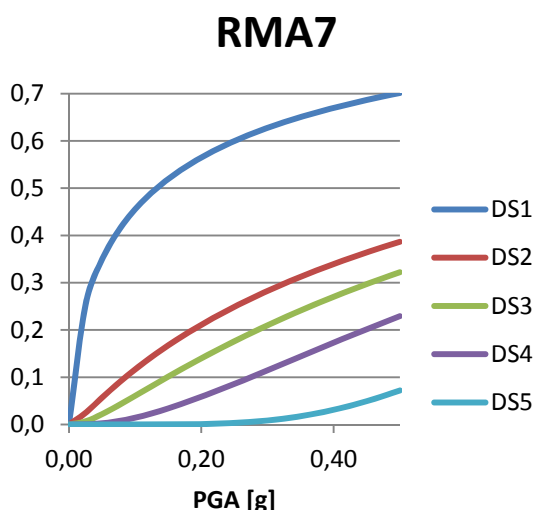


Fig. 98 – Curva di fragilità RMA7

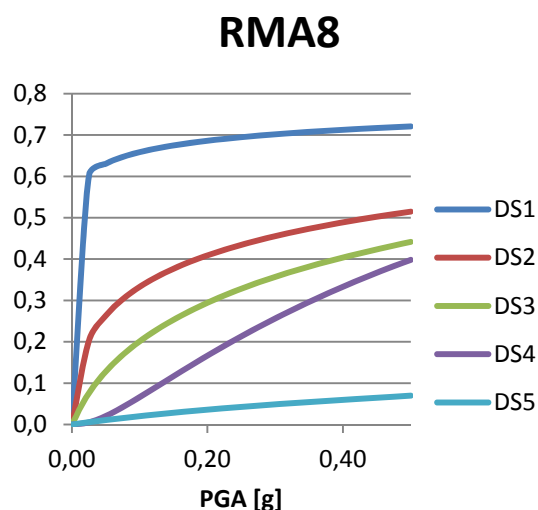


Fig. 99 – Curva di fragilità RMA8

Fissato un valore di ricostruzione pari a 1.000 €/m² per tutte le tipologie di strutture e note le PGA delle varie città analizzate è stato possibile determinare la perdita diretta annua attesa espressa in €/m².

	Venezia	Treviso	Milano	Roma	Bari
MX1	217,10	252,08	200,34	238,59	217,10
MX2	195,28	247,69	173,82	226,34	195,28
RC1	40,32	63,36	32,13	53,25	40,32
RC2	54,00	86,30	42,01	72,23	54,00
RC4	41,98	110,56	21,52	78,77	41,98
IMA1	298,26	323,35	286,24	313,67	298,26
IMA2	414,03	467,68	388,67	446,93	414,03
IMA3	197,27	229,84	181,67	217,27	197,27
IMA4	312,63	362,91	288,30	343,66	312,63
IMA5	334,34	371,04	316,90	356,90	334,34
IMA6	386,16	449,48	357,84	424,42	386,16
IMA7	237,58	308,80	204,75	281,08	237,58
IMA8	345,20	439,36	302,43	402,71	345,20
RMA1	172,91	190,23	164,34	183,63	172,91
RMA2	292,63	313,81	282,09	305,77	292,63
RMA3	102,02	120,17	93,37	113,16	102,02
RMA4	179,28	199,36	170,18	191,43	179,28
RMA5	214,97	245,28	201,21	233,27	214,97
RMA6	317,88	347,94	303,22	336,45	317,88
RMA7	105,68	159,15	84,95	136,82	105,68
RMA8	231,54	285,01	209,46	263,24	231,54

Tab. 85 – Perdita diretta annua attesa

Si può notare che si registrano le perdite attese maggiori per le città di Roma e Treviso, mentre per le città di Venezia e Bari si hanno gli stessi valori in quanto la PGA è la stessa.

Si può notare inoltre che le perdite attese massime si registrano per la tipologia di fabbricato con struttura in muratura con pianta irregolare.

Si poi ipotizzate delle probabili percentuali di presenza delle tipologie strutturali esaminate conformi alla posizione e all'evoluzione storica delle costruzioni delle città.

	Venezia	Treviso	Milano	Roma	Bari
MX1	0,15	0,12	0,13	0,10	0,14
MX2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
RC1	0,10	0,20	0,15	0,20	0,11
RC2	0,20	0,10	0,10	0,10	0,20
RC4	0,05	0,05	0,15	0,05	0,08
IMA1	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
IMA2	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03
IMA3	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
IMA4	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03
IMA5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
IMA6	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
IMA7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
IMA8	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
RMA1	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01
RMA2	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04
RMA3	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01
RMA4	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02
RMA5	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
RMA6	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
RMA7	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
RMA8	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02

Tab. 86 – Distribuzione percentuale tipologie strutturali

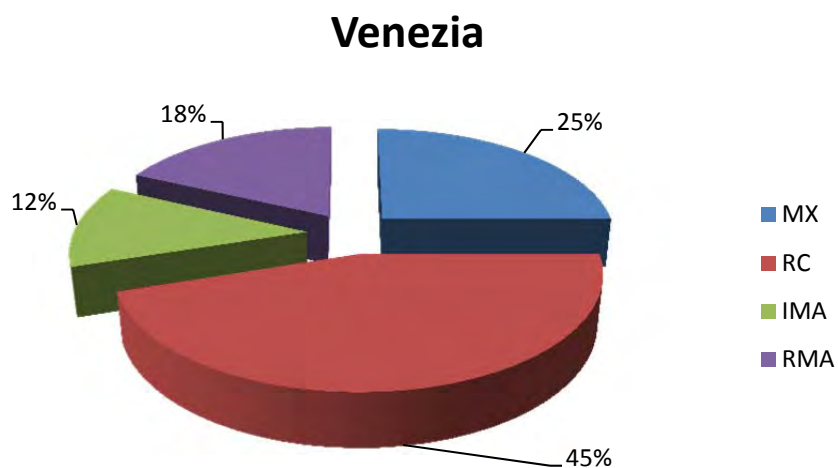


Fig. 100 – Distribuzione tipologie strutturali per Venezia

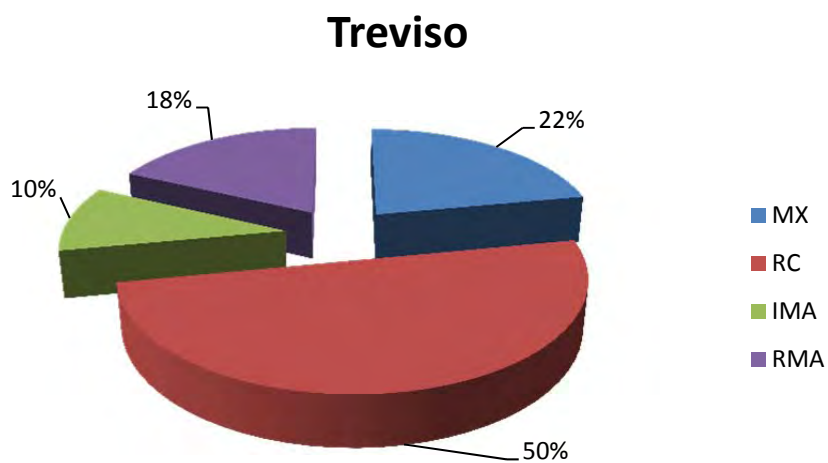


Fig. 101 – Distribuzione tipologie strutturali per Treviso

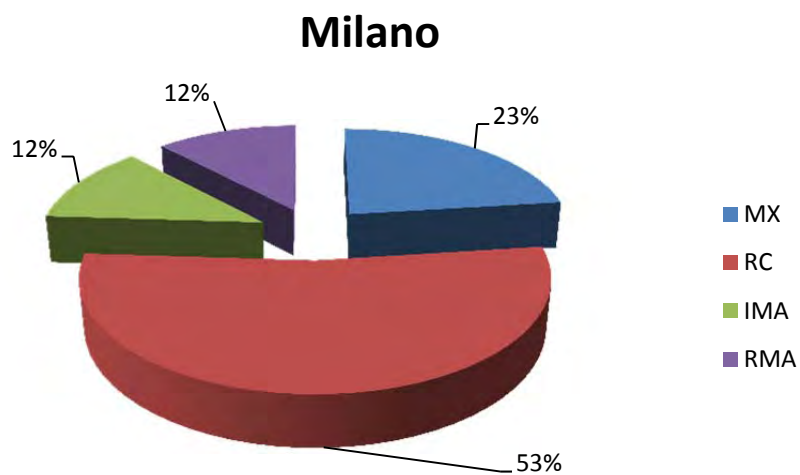


Fig. 102 – Distribuzione tipologie strutturali per Milano

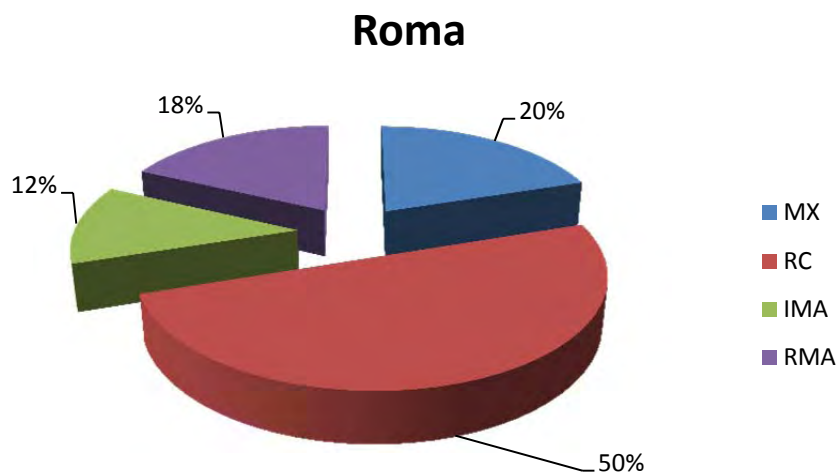


Fig. 103 – Distribuzione tipologie strutturali per Roma

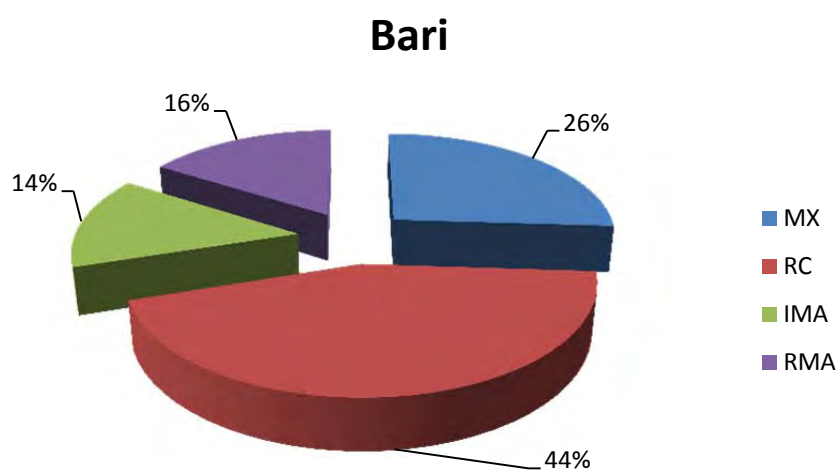


Fig. 104 – Distribuzione tipologie strutturali per Bari

Note le perdite annue attese e le distribuzioni delle tipologie strutturali è stato possibile usare il modello assicurativo usato per le perdite dirette per gli edifici industriali per calcolare il premio di assicurazione per gli edifici residenziali per città.

Franchigia [€/m ²]	Premio [€/m ²]	Tasso [‰]
0,00	17,40	0,17
50,00	12,53	0,13
100,00	9,49	0,09
150,00	6,49	0,06
200,00	3,53	0,04
250,00	1,96	0,02
300,00	0,87	0,01

Tab. 87 – Premio di assicurazione per Venezia

Franchigia [€/m ²]	Premio [€/m ²]	Tasso [‰]
0,00	18,32	0,18
50,00	13,21	0,13
100,00	9,37	0,09
150,00	6,63	0,07
200,00	4,09	0,04
250,00	1,80	0,02
300,00	1,05	0,01

Tab. 88 – Premio di assicurazione per Treviso

Franchigia [€/m ²]	Premio [€/m ²]	Tasso [‰]
0,00	13,55	0,14
50,00	9,47	0,09
100,00	6,97	0,07
150,00	4,43	0,04
200,00	2,21	0,02
250,00	1,29	0,01
300,00	0,46	0,00

Tab. 89 – Premio di assicurazione per Milano

Franchigia [€/m ²]	Premio [€/m ²]	Tasso [‰]
0,00	16,68	0,17
50,00	11,56	0,12
100,00	8,37	0,08
150,00	5,76	0,06
200,00	3,29	0,03
250,00	1,54	0,02
300,00	0,82	0,01

Tab. 90 – Premio di assicurazione per Roma

Franchigia [€/m ²]	Premio [€/m ²]	Tasso [‰]
0,00	17,81	0,18
50,00	12,92	0,13
100,00	9,83	0,10
150,00	6,77	0,07
200,00	3,76	0,04
250,00	2,19	0,02
300,00	1,03	0,01

Tab. 91 – Premio di assicurazione per Bari

Media per città

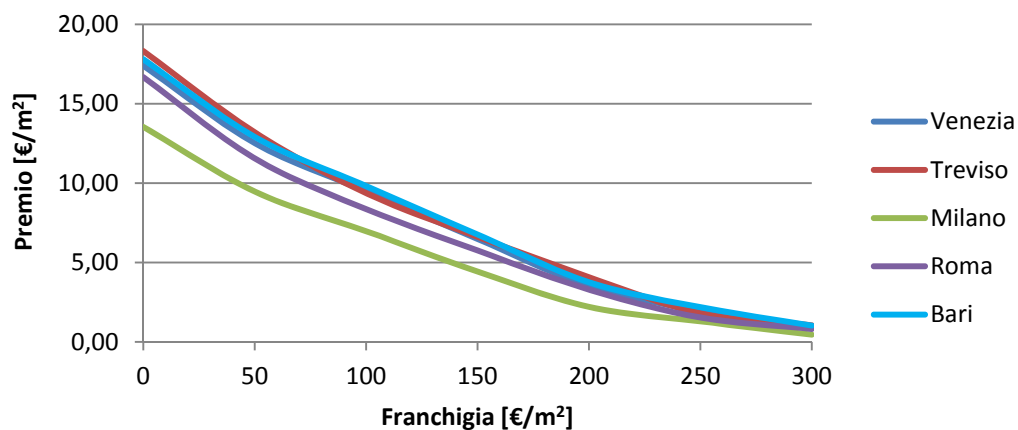


Fig. 105 – Variabilità dei premi di assicurazione

Nota il numero di strutture ad uso residenziale dai dati ISTAT è possibile determinare il valore medio del premio di assicurazione per danni diretti e del tasso di assicurazione applicabili a livello nazionale.

Franchigia [€/m ²]	Premio [€/m ²]	Tasso [%]
0,00	16,75	0,17
50,00	11,94	0,12
100,00	8,81	0,09
150,00	6,02	0,06
200,00	3,38	0,03
250,00	1,76	0,02
300,00	0,85	0,01

Tab. 92 – Premio di assicurazione medio

Tassi medi

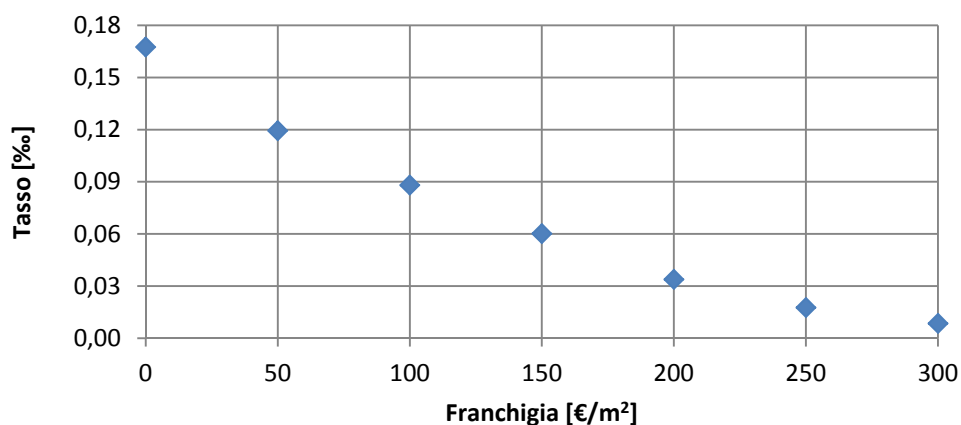


Fig. 106 – Tasso di assicurazione

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. Wikipedia
- AA.VV. Hazus - Technical report, Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2012.
- Andreas J. Kappos, Georgios Panagopoulos, Christos Panagiotopoulos, Gregorios Penelis. A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4:391–413, 2006.
- Andreas J. Kappos, Georgios Panagopoulos. Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6:1-2, 39-53, 2010.
- Angelo Masi, Marco Vona, Andrea Digrisolo. Costruzione di curve di fragilità di alcune tipologie strutturali rappresentative di edifici esistenti in c.a. mediante analisi dinamiche non lineari. *Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata all'ingegneria, Università degli studi della Basilicata, Potenza, Italia, 2009.*
- Bolognini D., Borzi B., Pinho R. Simplified pushover-based vulnerability analysis of traditional Italian RC precast structures. *Proc. of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008 Beijing, China.*
- Chen, C.K., Scholl, R.E. and Blume, J.A. Seismic study of industrial storage racks. *Report prepared for the NSF and for the Rack Manufacturers Institute and Automated Storage and Retrieval Systems, URS/ John A Blume, San Francisco, 1980.*
- Domenico Asprone, Fatemeh Jalayer, Saverio Simonelli, Antonio Acconcia, Andrea Prota, Gaetano Manfredi. Seismic insurance model for the Italian residential building stock. *Structural Safety* 44 (2013) 70–79.
- D. Slejko, A. Rebez. Probabilistic seismic hazard assessment and deterministic ground shaking scenarios for Vittorio Veneto (N.E. Italy). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol.43, N. 3-4, 263-280, 2002.*
- D. Slejko, A. Rebez, M. Santulin. Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 49, n. 3-4, 329-356, 2008.*

- F. Carturan. Seismic risk analysis of Revenue Losses, Gross Regional Product and transportation system. *PhD. Tesi, Università degli Studi di Padova, 2013.*
- INGV. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. <http://zonesismiche.mi.ingv.it>
- ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica), 2011. *Censimento dell'industria e dei servizi.* <http://dati-censimentoindustriaeservizi.istat.it>
- John Eidinger, S.E., G&E Engineering Systems Inc. Fragility of non-structural components for FEMA benefit cost analysis, 2009.
- J. M. Dahlhamer, K. J. Tierney. Rebounding from disruptive events: business recovery following the Northridge earthquake. *Sociological spectrum, 18: 121-141, 1998.*
- Keith Alan Porter, Anne S. Kiremidjian. Assembly-based vulnerability of buildings and its uses in seismic performance evaluation and risk management decision making. *Department of Civil and Environmental Engineering Stanford University, Report No.109, 2001.*
- Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici. *Gruppo di Lavoro Agibilità Sismica dei Capannoni Industriali, Reluis.*
- M. Rota, A. Penna, C.L. Strobbia. Processing Italian damage data to derive typological fragility curves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28(10):933-947, 2008.*
- Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008, relativa circolare esplicativa e successivi aggiornamenti.
- P. Mouroux and B. Le Brun. Presentation of RISK-UE project. *Bulletin of Earthquake Engineering, 4:323-339, 2006.*
- RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE del 6 maggio 2003 relativa alla definizione delle microimprese, piccole e medie imprese. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 2003.*
- Richard Roth Sr. Foreign Earthquake Insurance Programs. *ICLR, Toronto, 1999.*
- SYNER-G Reference Report 4. Guidelines for deriving seismic fragility functions of elements at risk: Buildings, lifelines, transportation networks and critical facilities. *JRC scientific and policy report, 2013.*