



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E ARCHITETTURA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

SISTEMI DI SUPPORTO ALLE DECISIONI
PER IL REAL ESTATE MANAGEMENT

La valutazione dell'ambito strutturale

DECISION SUPPORT SYSTEMS
FOR REAL ESTATE MANAGEMENT

The assessment of the structural framework

Relatore:

Prof. Alberto Giretti

Correlatore:

Prof. Fabrizio Gara

Tesi di Laurea di:

Laura Strozzi

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

INDICE

Introduzione	1
1. Problema del Real Estate Management.....	2
1.1 Facility Management.....	2
1.2 UNI EN 15221.....	3
1.3 Real Estate Management	4
1.4 Gestione immobiliare.....	6
1.4.1 Investimento immobiliare	6
1.4.2 GUMPAB: investimenti, problemi e gestione.....	14
2. Il Rischio Sismico	17
2.1 Analisi della pericolosità	18
2.2 Analisi della vulnerabilità.....	22
2.2.1 Metodi e procedure per la valutazione della vulnerabilità sismica	24
2.3 Analisi dell'esposizione.....	27
2.4 Valutazione economica	28
2.4.1 Classificazione del rischio sismico delle costruzioni	28
2.4.2 Attribuzione delle classi di rischio.....	30
2.4.3 Metodo convenzionale	32
2.4.4 Metodo semplificato.....	35
3. Software utilizzato	38
3.1 Costruzione del database.....	38
3.2 Tassonomia	39
3.3 Tassonomia strutturali/edilizie	42
3.4 Tassonomie di altri campi.....	50
3.4.1 Settore assicurativo.....	50
3.4.2 Industria di costruzioni.....	52
3.4.3 Architettura.....	56
3.5 Tassonomia degli edifici GEM v2.0: panoramica	58
3.5.1 Visione per la tassonomia degli edifici GEM.....	58
3.5.2 Attributi di costruzione	59
3.6 OpenQuake.....	62
3.6.1 Tipologie di analisi per la valutazione della pericolosità e del rischio sismico	64
3.6.2 I modelli di input per l'analisi della pericolosità.....	70
3.6.3 I modelli di input per l'analisi del rischio	73
3.7 Curve di fragilità.....	79

3.7.1 Metodo analitico e metodo empirico	80
4. Valutazione degli esperti	82
4.1 Edifici in muratura.....	83
4.2 Edifici in cemento armato.....	88
5. Sistemi di supporto alla decisione.....	93
5.1 Reti bayesiane	94
5.2 Introduzione alle reti bayesiane.....	95
6. Sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per la valutazione strutturale	99
6.1 Database e raccolta dati	99
6.2 Il modello bayesiano	106
7. Conclusioni	110
Appendice A.....	111
Appendice B.....	138
Bibliografia e sitografia	152

Introduzione

Da sempre i manager delle aziende sono chiamati a compiere delle scelte per determinare le modalità ed i contenuti delle attività che la società, o le aree, che dirigono dovranno svolgere con lo scopo di perseguire efficacemente i propri obiettivi. L'elevato interesse che essi nutrono verso il processo decisionale è dovuto al fatto che ogni scelta intrapresa determina i risultati della gestione.

Ogni decisione è presa al termine di un processo che, a grandi linee, consiste nella valutazione delle possibili alternative e si conclude con la scelta della soluzione che apporti il beneficio maggiore all'impresa.

La presente tesi documenta lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per gli investimenti immobiliari in ambito di edilizia residenziale che permette la valutazione del rischio sismico raggiungibile dall'immobile sulla base di un insieme di informazioni ricavate dall'analisi del sito dove è posto l'edificio.

I modelli di supporto sono nati come strumenti per gestire la realtà in maniera più semplice, nascondendone la complessità. Essi sono in grado di produrre informazioni utili per effettuare valutazioni, compiere decisioni o intraprendere azioni, a partire da un set di dati iniziali.

Nel modellare sistemi reali non è sempre possibile disporre di dati certi, perciò bisogna ricorrere a modelli che siano in grado di tener conto delle incertezze associate alle informazioni raccolte.

I risultati prodotti da questi strumenti consentono di rilevare, classificare, riassumere e rappresentare il contenuto del database generato da una serie di indagini effettuate su 37 edifici reali, 27 in calcestruzzo armato e 10 in muratura, che hanno fornito, individualmente, le curve di fragilità, le quali hanno permesso di fare una stima della vulnerabilità sismica e fungono come base di partenza per considerazioni più elaborate. Lo scopo è dimostrare le potenzialità delle reti bayesiane come modello grafico probabilistico per generare informazioni rilevanti da utilizzare come supporto nelle decisioni di business, e stimarne i consumi post-intervento.

1. Problema del Real Estate Management

1.1 Facility Management

Il Facility Management è la disciplina aziendale che coordina lo spazio fisico di lavoro con le risorse umane e l'attività propria dell'azienda; fa riferimento quindi al controllo di tutte le attività che non riguardano il core business di una società, ovvero produttività d'ufficio, utility sicurezza, telecomunicazioni, servizio mensa e manutenzioni.

Oggi per Facility Management si intende principalmente tutto ciò che fa riferimento alla gestione di edifici unitamente ai loro impianti e servizi connessi, quali, ad esempio, gli impianti elettrici e termoidraulici, gli impianti di illuminazione, di condizionamento, ma anche i servizi di pulizia, ristorazione aziendale, portineria e giardinaggio.

Il Facility Management è visto quindi come un processo di progettazione, implementazione e controllo attraverso il quale le facility sono individuate, specificate, reperite ed erogate allo scopo di fornire e mantenere quei livelli di servizio in grado di soddisfare le esigenze aziendali, creando un ambiente di lavoro di qualità con una spesa il più possibile contenuta.

Il Facility Management, dunque, integra i principi della gestione economica e finanziaria d'azienda, dell'architettura e delle scienze comportamentali e ingegneristiche. Si tratta di un approccio integrato che presuppone lo sviluppo e l'implementazione di politiche, standard e processi che supportano le attività primarie, rendendo l'organizzazione in grado di adattarsi ai cambiamenti e di migliorare l'efficacia.

I tre aspetti principali che caratterizzano la disciplina del Facility Management sono quello strategico, quello analitico e quello gestionale-operativo.

- L'aspetto strategico concerne ogni decisione relativa alla politica di gestione e reperimento dei servizi, di distribuzione delle risorse da impiegare per supportare gli obiettivi corporate (predisposizione e gestione del budget, ripartizione dei costi, ecc.), di scelta del fornitore, ecc.
- L'aspetto analitico è relativo alla comprensione delle necessità dei Clienti Interni relative ai servizi, al controllo dei risultati della gestione e dell'efficienza nell'erogazione del servizio, all'individuazione di nuove tecniche e tecnologie

che supportino il business aziendale. Si tratta quindi di un aspetto fondamentale per far sì che il Facility Management contribuisca fattivamente al conseguimento degli obiettivi dell'azienda.

- L'aspetto gestionale-operativo concerne la gestione e il coordinamento di tutti i servizi complessivamente intesi e include la definizione di sistemi e procedure e l'implementazione e reingegnerizzazione dei processi di erogazione.

1.2 UNI EN 15221

Possiamo definire il Facility Management tramite la fondamentale normativa europea: EN 15221.

Tale legge è una norma ISO ed è composta da sette parti sotto riportate.

- Parte 1: termini e definizioni.

La norma si pone come obiettivo prioritario il superamento di divergenze negli approcci e nei linguaggi tra i vari paesi europei definendo un modello comune di Facility Management, la descrizione delle relative funzioni, la precisazione del campo di applicazione e la specificazione della terminologia di settore.

Il modello di Facility Management proposto, dunque, è costruito intorno ad una specifica "organizzazione", ai suoi "processi primari" e alle interrelazioni gestite a livello "strategico", "tattico" e "operativo" tra domanda e offerta di servizi integrati. Lo scopo che il Facility Management si pone è, quindi, il bilanciamento tra le richieste in termini di servizi integrati da parte della domanda e la risposta in termini di fornitura degli stessi da parte dell'offerta, in un corretto rapporto tra "requisiti" e "prestazioni" e tra "qualità" e "costi".

- Parte 2: linee guida per preparare accordi di Facility Management.

La norma fornisce i criteri base per regolamentare i rapporti tra il committente e il fornitore di servizi di Facility Management. Vengono quindi indicati i "tipi di accordi" di Facility Management e le relative "caratteristiche" e forniti suggerimenti e indicazioni in merito alla stesura dei contratti. Il campo di applicazione della norma abbraccia una gamma assai articolata di servizi, in ambito pubblico e privato e per tutti i tipi di ambiente lavorativo.

- Parte 3: guida sulla qualità nel Facility Management.

La norma fornisce una linea guida su come misurare, raggiungere e migliorare la qualità nel Facility Management. Vengono definiti i "Key Performance

Indicator – KPP e gli “*service Level Agreement – SLA*”, elementi questi determinanti per la determinazione degli appalti su base prestazionale.

- Parte 4: tassonomia, classificazione e strutture nel Facility Management.

La norma si pone lo scopo di realizzare un sistema di classificazione dei servizi di Facility Management. La struttura di classificazione si fonda sui concetti di base già introdotti nella “Parte 1”, che vedono il campo di applicazione del Facility Management suddiviso in due macro-gruppi: spazio-infrastrutture, persone-organizzazione.

- Parte 5: guida ai processi nel Facility Management.

La norma riepiloga e chiarisce concetti già espressi nelle altre norme, attraverso schemi esemplificativi del processo di Facility Management a livello strategico, tattico e operativo, applicabili da parte di committenti e fornitori di servizi.

- Parte 6: misurazione di aree e spazi nella gestione delle strutture.

La norma, come già prima scritto, nasce allo scopo di uniformare a livello europeo i criteri e metodi per il calcolo delle superfici degli edifici, al fine di stabilire una base comune di riferimento per la pianificazione, la progettazione, la gestione delle aree e degli spazi, in particolare degli aspetti di costo e benchmarking.

- Parte 7: linee guida per l’analisi comparativa delle prestazioni.

La norma identifica un quadro di riferimento per i processi di benchmarking in particolare a livello di prestazioni di servizi di Facility Management, di relativi costi, di modalità di “misurazioni” sia quantitative che qualitative e di valutazione della *customer satisfaction*.

1.3 Real Estate Management

Il Real estate Facility Management comprende tutte quelle attività organizzative volte alla massimizzazione dell’efficienza di gestione dei servizi relativi agli immobili. È vista come l’evoluzione continua del settore immobiliare di antica concezione. Il concetto nasce e si sviluppa in America, ed indica nel campo immobiliare, le società immobiliari che non solo fanno intermediazione nella compra-vendita, ma a volte sono direttamente proprietari degli Immobili o semplicemente li gestiscono.

Questo concetto lavorativo si è affermato in paesi dove il business immobiliare sia a livello residenziale, sia commerciale ha iniziato ad essere gestito da operatori

professionali, ossia dai fondi immobiliari che raccoglievano denaro sul mercato e gestivano un patrimonio immobiliare. Questa tendenza negli ultimi anni si diffusa anche in Italia e ogni istituto bancario di certe dimensioni offre ai propri clienti la possibilità di investire con delle quote nei fondi.

Diciamo che *Real Estate* è il termine giusto per definire gli operatori “alti” del settore immobiliare. Alti per attività, competenze e volumi generati. Ad esempio, rientrano in questa categoria i grandi costruttori e gli sviluppatori, le società di Gestione del Risparmio (SGR), i Fondi, i General Contractor, le società di Project Management.

Mentre, potremmo definire immobiliare, il segmento inferiore, quello rappresentato dai piccoli costruttori, i progettisti e soprattutto le innumerevoli agenzie con i suoi infiniti agenti.

Oggi dunque, anche in Italia, molte banche per scelte legate ai propri bilanci o semplicemente per non utilizzare troppe risorse in un settore che necessita costantemente di cospicui capitali, scelgono di indirizzare le proprie proprietà in alcuni Fondi, che sono aperti agli investitori. In sostanza, essendo essi stessi proprietari e gestori, li affittano a se stessi.

Nel nostro paese quindi il settore immobiliare e dell'amministrazione di immobili è stato caratterizzato da un processo di industrializzazione e riorganizzazione delle dinamiche di mercato che ha visto recentemente la nascita di grandi operatori in grado di promuovere progetti di investimento di portata assai più elevata che in passato. Ciò ha determinato una marcata specializzazione dei ruoli dei diversi soggetti che operano nella filiera e una sempre più elevata complessità gestionale. In questo contesto diventano evidenti le potenzialità di incremento della competitività del settore connesse all'adozione di una cultura della comunicazione da parte degli attori del mercato immobiliare e del building management nella gestione del sistema di relazioni di cui sono parte.

Ogni professionista del settore, così come ogni giovane interessato a specializzarsi per operare nel campo, si scontra con problematiche che necessitano di precise e approfondite conoscenze sia in campo economico, che giuridico e tecnico.

1.4 Gestione immobiliare

1.4.1 Investimento immobiliare

Il ciclo di investimento immobiliare si configura come una procedura modulare ed integrata di più passaggi, tra loro autonomi, ma profondamente integrati. La struttura ciclica, ricorrente nel mercato immobiliare, trova la sua peculiarità nella massimizzazione del rendimento con un contenuto grado di rischio. Questo porta ad analizzare i passaggi che si compiono per giungere al rendimento e che sono tra loro correlati. La *Figura 1* descrive questa procedura poiché evidenzia la relazione tra i diversi step che si devono compiere.

L'investimento immobiliare trova il suo inizio nella fase di valutazione: la determinazione dell'opportunità di investimento porta a considerare la fattibilità del progetto, le sue caratteristiche e i suoi punti di forza e debolezza.

La valutazione tende ad essere un momento preliminare all'acquisizione, ma un momento che dà avvio alla procedura analitica, in termini economico-finanziari di quelli che saranno gli sforzi per giungere fino al rendimento finale.

Pertanto, la procedura di acquisizione attuata attraverso la "due diligence immobiliare", ovvero la verifica dei dati del bilancio di una società, porta a considerare quelli che sono gli aspetti finanziari, affinché vengano considerati gli ammortamenti e il payback period, cioè il rientro di quello che sarà il finanziamento in opera per arrivare all'investimento finale. Non solo, la due diligence andrà anche a comprendere gli obiettivi urbanistici ed ambientali a cui il progetto tenderà: tale analisi andrà perciò a chiarire quelli che sono i rendimenti sotto il profilo economico e ambientale e i costi in termini di "costo opportunità" dell'operazione, sull'appetibilità del progetto.

I rischi che possono essere incontrati nel progetto devono essere rilevati in tale sede, rischi che possono essere connessi al mercato immobiliare, piuttosto che collegati all'immobile stesso. In particolare, la due diligence immobiliare connette lo stato di fatto dell'immobile con quello documentale; con tale procedura nasce il principio di conformità, fondamentale per lo studio di due diligence, poiché accerta il grado di conformità dell'immobile rispetto alle normative vigenti.

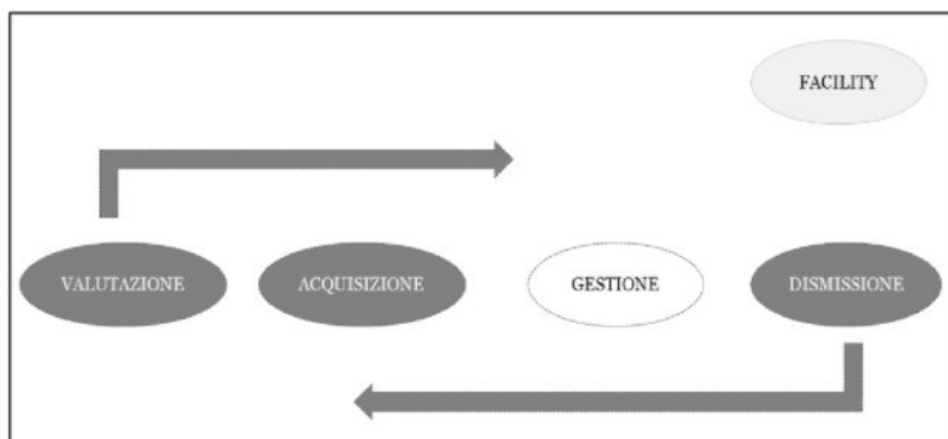


Figura 1 – Step dell'investimento immobiliare.

Successivamente alla fase di due diligence, nella fase di valutazione prende campo la valutazione economico-finanziaria del progetto, perché in sede di acquisizione dovrà essere apportato un valore all'immobile dettato dalle varie procedure in essere, quali capitalizzazione diretta e metodo comparativo.

La valutazione dà avvio al procedimento di investimento immobiliare che in maniera maggiormente analitica prende avvio con l'individuazione di opportunità e solo successivamente tocca la valutazione di queste ultime. La valutazione comprende perciò una due diligence immobiliare per la parte tecnica, una valutazione economico-finanziaria, che solitamente coincide con il piano economico-finanziario e con le assumption che esso porta con sé: il tutto riassunto nell'information memorandum o business plan, fondamentali per l'avvio di un progetto di qualsiasi dimensione.

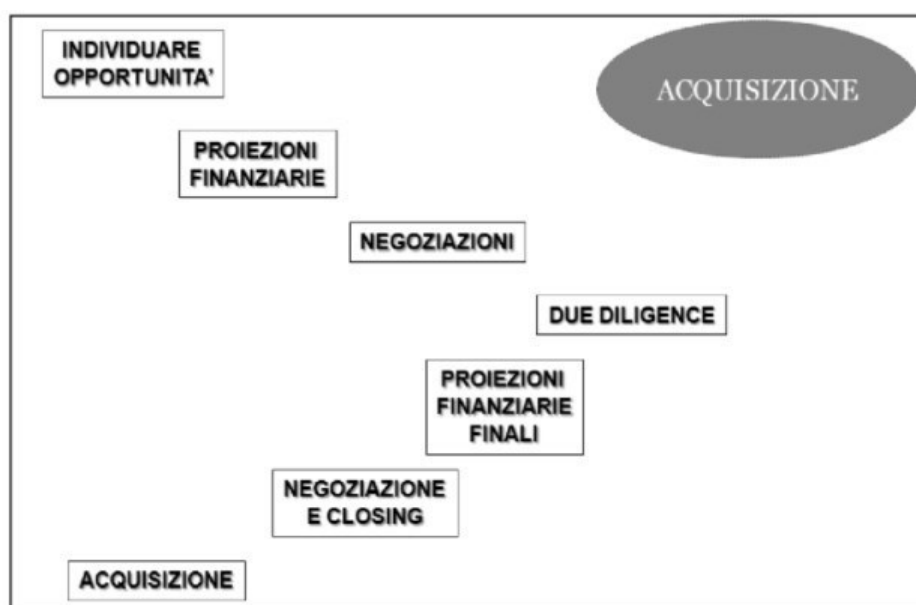


Figura 2 – Il processo di acquisizione immobiliare.

Andando oltre la fase iniziale di valutazione, troviamo quella destinata all'acquisizione, attività principale dell'asset manager, cioè colui che gestisce un bene con il fine di massimizzare il rendimento del suo valore e minimizzare il rischio per conto dell'investitori istituzionali o privati.

Le fasi principali dell'asset manager, cioè quelle di acquistare, gestire ed incrementare di valore ed infine dismettere per ottenere il massimo rendimento, devono essere svolte insieme al property manager che dà il supporto tecnico.

Tale supporto sarà anche programmato al fine di definire quelle che sono le azioni ed i miglioramenti che sull'immobile dovranno essere attuate. Se ad esempio un fondo di investimento investe in determinati immobili sul territorio italiano, l'asset manager sarà colui che gestisce il portafoglio di immobili, cercando attraverso una strategia prestabilita in accordo con l'investitore le migliori azioni per aumentare il grado di rendimento finanziario dell'immobile.

L'attività viene svolta attraverso un equilibrio tra proprietari/conduttori, budgeting, analisi delle spese operative e controllo delle stesse, tasse immobiliari, analisi dei mutui e dei leasing a favore degli investitori; per questo deve essere attuata e svolta una grande attenzione al mercato e alle sue variazioni.

Basandosi su vari fattori l'asset manager determina il modo di incrementare il profitto delle varie proprietà. Chiaramente le sue funzioni sono anche dipendenti dal valore, dalla grandezza delle stesse proprietà dell'investitore, esso cioè si pone come "amministratore delegato" delle proprietà immobiliari di proprietà dell'investitore. Ogni proprietà è però in realtà una unità di business a sé stante (in termini industriali) ed il conglomerato porta a costituire il portfolio in mano all'asset manager.

Inoltre, monitorando le performance della concorrenza e migliorando le proprie, l'asset manager porta a creare valore per gli immobili sotto la propria gestione, poiché il portfolio da lui detenuto può anche essere di proprietà di un fondo immobiliare quotato e gli immobili, in quel caso, si possono configurare come veri e propri assets finanziari. Solitamente, i titoli immobiliari operano uno strumento di beneficio nei confronti di un portafoglio più ampio, se essi sono connessi a titoli azionari, obbligazionari e liquidità: infatti, essi, in mano ad un investitore mediamente diminuiscono il rischio globale dell'intero portafoglio. L'asset manager, quindi, deve essere imprenditore del patrimonio che gli è stato dato, coordinando le attività con largo raggio d'azione mentre il property manager avrà competenze maggiormente tecniche ed ingegneristiche sull'immobile, ma minori dal punto di vista economico-finanziario. Per evitare

confusione che potrebbe nascere tra asset e property manager è bene chiarire le differenze che esistono tra le due figure.

Il property è colui che monitora la costruzione o la ristrutturazione dell'immobile per giunger agli obiettivi di valore concordati con l'asset manager. Il property è l'anello di collegamento tra i conduttori e l'asset per conto dell'investitore. Il property è responsabile per la parte delle fatture per gli approvvigionamenti e gli acquisti per la costruzione, del materiale per la ristrutturazione, per la riscossione degli affitti, per l'amministrazione dei lease, per la manutenzione e tenuta dei lavori programmati sull'immobile o sull'arca in oggetto. Il property manager è anche responsabile dell'acquisto di beni e servizi per il determinato immobile; un ulteriore dovere è quello di preparare la prima bozza di budget per la manutenzione dell'immobile per l'anno successivo.

Invece, gli asset manager possiedono un approccio maggiormente globale, riconoscendo che le opportunità del portafoglio di investimento rappresentano un investimento significativo e, per questo, rientra nella loro responsabilità creare un piano che miri a questo scopo. Il loro ruolo è stabilire attraverso una strategia a lungo periodo, il periodo della durata dell'investimento, gli obiettivi a breve e medio termine, selezionando e assumendo property manager, consulenti e brokers che lavoreranno al miglioramento delle performance del portfolio e degli immobili presenti al suo interno. L'asset dovrà monitorare le performance finanziarie del portfolio e possedere una "mentalità di controllo interno" verificando i leasing accesi con i finanziatori. A tal fine, dovranno essere verificati anche le spese ed i costi e che essi siano giustificati alla rilevanza e all'entità delle azioni sviluppati sui singoli immobili. Gli asset manager devono peraltro, attuare una strategia del proprio portfolio con quelle che sono i trend e gli andamenti del mercato immobiliare nazionale ed internazionale prevedendo le operazioni da delegare al property manager in sede operativa.

La fase di acquisizione termina con il closing dell'operazione che viene a determinarsi come un processo di negoziazione durata nel tempo. Infatti, il prezzo di vendita o le condizioni introdotte dal venditore non sono quelle richieste dall'acquirente. La negoziazione porta a sviluppare un campo comune dove poter mettere in atto e concludere l'affare.

Per arrivare a ciò l'asset manager segue solitamente tre fasi. La prima trova applicazione nella definizione del piano di business che si vuole attuare per l'acquisizione dell'asset da inserire nel portafoglio. Questa fase ha lo scopo di capire le

potenzialità del bene stesso per poi attuare una strategia per la massimizzazione del suo valore.

Una volta che il piano è stato stabilito esso deve identificare i seguenti obiettivi:

- la ricerca e gli obiettivi di massimo rendimento in termini finanziari;
 - gestione dei costi e della manutenzione;
 - politica commerciale;
 - obiettivo di vendita e dismissione strategica.

Il primo punto è sviluppato attraverso quella che è la rendita in termini economico-finanziari dell'immobile.

L'ultima fase di analisi è la continua misurazione degli obiettivi stabiliti: essa dovrà essere messa in atto almeno trimestralmente, per poter vedere e confrontare i dati in sede teorica, al fine di determinare se effettivamente essi corrispondono a quelli reali, altrimenti si dovrà ricalibrare gli obiettivi, per raggiungere finalità di net operating income stabiliti nel business plan.

I risultati sono i dati ipotizzati e sviluppati in sede di previsione, gli actual quelli realmente raggiunti, pertanto, la variazione indica la reale performance dell'immobile, in termini di attività finanziarie. Infatti, la prima parte viene a determinare e a descrivere il reddito che deriva dalla gestione strategica dell'immobile.

La differenza tra i flussi di cassa in entrata e quelli in uscita confrontata con i tassi finanziari ci determina il tasso interno di rendimento (TIR o IRR), necessario per valutare l'investimento in base al periodo e al rischio che esso necessita per la sua attuazione. L'IRR risulta un indice che permette di creare un'analisi di investimento non stand-alone, non off-grid, ma in correlazione con quello che è il rischio necessario da correre.

In tema di gestione, quale elemento del ciclo di investimento immobiliare, c'è da chiarire il ruolo che esso assume nell'intero ciclo. Infatti, facendo parte del ciclo di investimento immobiliare, ma essendo in mano al property manager, la gestione percorre una via parallela, sebbene profondamente collegata al ciclo di investimento, rispetto all'acquisizione e alla dismissione in mano all'asset manager. Questo perché il property manager, con specifiche competenze tecniche, porta avanti la gestione, che tra l'altro si sviluppa con il property management plan e che supporta l'asse nelle sue scelte strategiche di medio e lungo periodo. A differenza del facility, fuori dal ciclo di investimento immobiliare, la fase di gestione si configura all'interno del ciclo di investimento immobiliare, anche se non risulta una peculiare attività dell'asset

manager, per questo si presenta con differente caratteristica rispetto agli altri elementi del ciclo, sebbene rimanga un punto fondamentale dello stesso.

Il piano di gestione, messo in atto dal manager assume un ruolo basilare nell'ottica e nella politica di massimizzazione del rendimento di valore del bene immobile. Il Facility Management rappresenta la soluzione gestionale che provvede al controllo di tutte le attività e servizi non attinenti al core business di un cliente.

In ultima analisi, la fase che conclude e termina il ciclo di investimento Immobiliare, la dismissione, per poi successivamente conseguente la vendita, iniziare un successivo ciclo di investimento.

La dismissione assume un ruolo molto importante, essa va a definire il valore del rendimento finale del nostro investimento del determinato bene immobile, il quale ha avuto durata pari al periodo che va dall'acquisizione al fine ultimo, la dismissione. La vendita, nel corso degli ultimi anni, ha visto assumere vesti molteplici, non la semplice alienazione dell'immobile ad un'altra persona fisica. Il valore terminale, cioè il terminal value, utilizzato in sede di business plan, è il rendimento netto finale: esso può essere attuato nei diversi modi che compongono gli strumenti di finanza innovativa, che soprattutto nel comparto immobiliare, negli ultimi anni, hanno preso campo.

- Valutazione dell'immobile

A fronte del cambiamento dello scenario immobiliare italiano che modifica la visione di valutazione dell'immobile, modificandola da impostazione architettuale a impostazione finanziaria, abbiamo assistito ad una riconfigurazione di tutti i parametri per la valorizzazione dell'asset immobiliare.

Una valutazione che prescinde da un processo di pianificazione strategica e finanziaria e che porta l'immobile a essere valutato attraverso valori ed espressioni tipiche della finanza che fino a poco tempo fa trovavano campo ed azione solo nel settore mobiliare italiano.

La valutazione, perciò, diviene strumento operativo alla valorizzazione dell'immobile e l'apporto anche di nuove ha permesso di accrescere il settore immobiliare italiano ed allinearlo a quello internazionale, dove già la direzione volgeva verso tali possibilità. Tutto ciò ha portato non solo alla creazione di nuovi strumenti, ma anche di nuove figure come l'advisor immobiliare, il developer ed il promoter, le cui attività, fino a qualche anno fa, venivano svolte direttamente dal costruttore.

Ma quali sono gli steps da poter percorrere per dare avvio ad una valorizzazione del patrimonio posseduto da società private o pubbliche? In prima analisi sicuramente la

valorizzazione deve passare attraverso un mix tra analisi e determinazione delle risorse possedute. Senza uno screening degli immobili, definendo la loro classificazione per ubicazione, natura e destinazione d'uso non sarebbe possibile iniziare a svolgere tale processo. Perciò il frazionamento del portafoglio immobiliare posseduto, sebbene non utilizzato da una società è il primo punto di forza nell'intraprendere tale cammino. Il frazionamento del portafoglio, o meglio la sua segmentazione, svolge un ruolo di primaria importanza poiché detta i termini su cui confrontare i vari immobili, sulla base di una tassonomia solitamente classificata per:

- locazione immobile;
- tipologia;
- destinazione d'uso.

Potremmo aggiungere anche costi di gestione e stato dell'immobile, ma per semplificare l'esposizione è bene iniziare da tre indicatori che permettono, per qualsiasi immobile, di poter essere classificato e comparato con altri assets, sia in sede di mera valutazione, sia in sede di compravendita.

La locazione dell'immobile diviene uno dei dati più rilevanti in sede di valutazione: l'ubicazione dell'immobile al centro della città di Roma non ha lo stesso valore di un immobile situato alla sua periferia, così come la locazione deve indicare qualcosa di più sull'immobile stesso. Deve saper indicare se in quella determinata zona esistono piani di sviluppo e di riqualificazione della città: allora saremmo di fronte ad una rivalutazione non solo dell'immobile stesso ma anche della zona in cui tale bene si colloca. Perciò definire ed individuare lo sviluppo futuro e le potenzialità che su di esso è possibile prevedere.

La variabile tipologia riflette soprattutto il valore dell'assets in relazione alla sua superficie, alla sua struttura e alla sua architettura. Se il valore della locazione affrontava ed esprimeva eventuali redditi finanziari, derivanti dallo sviluppo dell'immobile, la tipologia evidenzia una maggiore peculiarità architettonica ed ingegneristica. Perciò tale variabile può definire ed esprimere anche gli interventi che l'immobile necessita e la pianificazione per una migliore gestione dei suoi servizi.

Infine, la destinazione d'uso tra le variabili è quella di maggiore discriminazione, poiché caratterizza un immobile per la sua finalità e di conseguenza discrimina maggiormente il valore dello stesso in sede di valutazione. Sebbene inserito per ultimo, tale fattore è forse il primo da prendere in considerazione nel momento in cui si vuole valorizzare un asset o un'intera area territoriale. La destinazione d'uso è molto

importante anche in sede di sviluppo di un'area, poiché partendo dal terreno, il valore potenziale di quella determinata arca ha il suo incipit nella destinazione d'uso per la quale si vuole destinare, a carattere commerciale, residenziale o industriale. Il valore degli affitti e quindi dei flussi di redditività saranno totalmente diversi e differenti, sebbene il valore che sta alla base di tali flussi, sarà quello dell'highest and best use, cioè in relazione alle potenzialità che l'asset costruito o da costruire possiede intrinsecamente.

Dettare e definire un valore di un immobile non è cosa facile, soprattutto se l'immobile ancora deve essere costruito e sviluppato: un processo di valutazione è una stima del suo valore. Ma il processo di valutazione ci aiuta a determinare una certezza in tale difficoltà. Il processo di valutazione può prendere avvio attraverso uno step fondamentale come quello dell'identificazione legale e fisica dell'asse; tale step espone una prima analisi, preliminare, sulla quale poi basare la successiva information memorandum.

Questo primo passo accerta l'identificazione a grandi linee del valore dell'immobile, definendo attraverso visure e stralci catastali, l'arca, la posizione e l'eventuale piano che, nell'arca riferita, le autorità vogliono attuare. In seconda analisi, identificare i diritti legali connessi all'immobile, per poter stabilire gli eventuali contratti di locazione già stabiliti per l'immobile e gli altri eventuali redditi derivanti dalla proprietà dello stesso. In terza fase, gli advisors specificano la proposta della valutazione: attraverso una stima del valore dell'immobile devono stabilire gli eventuali prestiti e mutui da richiedere agli istituti di credito per poter mettere in atto la decisione di investimento. Devono altresì stabilire eventuali pendenze che gravano sull'immobile, tasse di proprietà (che variano da paese a paese), stabilendo così tutti i costi e tutte le tasse che su tale bene immobile esistono.

Successivamente a questa "perizia fiscale" essi specificano l'effettiva data di stima del valore dell'immobile: così facendo essi bloccano il valore da eventuali cambiamenti che le condizioni del mercato potrebbero apportare sull'immobile. Infine, i valutatori devono raccogliere e analizzare dati di mercato e applicarla ad appropriate tecniche di stima del valore, cioè stabilire l'investimento rapportando al rischio ad esso conseguente.

Nel processo di valutazione e stima devono essere considerati e raccolti i dati del mercato per poter capire, per una data regione, quali sono i parametri esatti di confronto. Non possono essere stabiliti e quindi inseriti nel business plan, stime di

affitto o redditi finanziari a priori per l'immobile, non identificando e definendo il parametro in merito alle zone in cui esso è collocato.

Quindi, tutti gli investimenti devono essere valutati e stimati ad hoc, in relazione alla tipologia, ubicazione e destinazione d'uso che per l'immobile si vuole stabilire.

L'ammontare di dati raccolti è importante per la costruzione dell'information memorandum e del relativo business plan. Essi sono dati riferiti all'affitto, ai costi, alla percentuale di vacancy rate, cioè di affitti non occupati per esigenze strategiche, alla richiesta di affitti per quella determinata tipologia di immobile, in quella precisa area territoriale e qualsiasi altro dato, ritenuto considerevole e di importante rilevanza, ai fini di una più corretta valutazione.

Esso però deve essere valutato, interpretato e implementato alla nostra tipologia di asset. Di seguito si pongono le basi e le linee guida per mettere in atto la valorizzazione di un patrimonio immobiliare, cioè i passaggi necessari per creare un presupposto di valutazione e valorizzazione, un information memorandum per poi arrivare alle metodologie tecniche per la stima del valore dell'asset.

I passaggi per la valorizzazione sono i seguenti:

- l'immobile;
- la strategia;
- mercato;
- analisi tecnica e situazione urbanistica;
- ipotesi di progetto;
- assumptions economico-finanziarie;
- piano economico-finanziario.

1.4.2 GUMPAB: investimenti, problemi e gestione

In questo paragrafo entriamo nello specifico di quanto detto precedentemente e analizziamo il tipo di gestione immobiliare svolto dall'azienda con la quale abbiamo collaborato.

Gumpab è una startup che monitora costantemente la situazione degli immobili gestiti per cogliere le opportunità di creazione di valore che il mercato offre.

È un'azienda che si occupa della gestione degli immobili, partendo dall'acquisto di questi ultimi, passando al successivo ricondizionamento fino ad arrivare alla vendita

sul mercato. In merito alla parte finanziaria la sua politica si basa su un finanziamento collettivo, il crowdfunding (una pratica di microfinanziamento dal basso che mobilita persone e risorse).

L'azienda realizza analisi demografiche e di mercato, che gli consentono di essere costantemente aggiornati sui trend di compravendita, area per area e destinazione d'uso per destinazione d'uso.

Quindi deve vantare una conoscenza eccellente del mercato immobiliare e deve monitorarlo in modo costante. Le condizioni del mercato hanno ovviamente una grandissima importanza affinché il proprietario del patrimonio immobiliare possa massimizzare i propri profitti.

L'azienda, quindi, effettua analisi strategiche di portafoglio, attraverso le quali verifica il posizionamento competitivo degli immobili che gestisce e sceglie le azioni che gli consentono di generare il miglior vantaggio competitivo rispetto alla concorrenza. Nel caso di più immobili, cioè in presenza di un portafoglio immobiliare, queste analisi mirano a classificare ogni immobile nell'ambito di segmenti strategici che rendano perseguibile nell'insieme la strategia di portafoglio, sincronizzando i flussi finanziari. La metodologia di intervento nella fase precedente alla scelta, alla valutazione e all'acquisto dell'immobile però deve essere perfezionata sulla base dell'ottimizzazione del tempo e dell'implementazione della conoscenza aziendale. Il problema della gestione del tempo viene risolto attraverso la creazione di un sistema di supporto alle decisioni che permette di capire e stimare, quando e quanto si può guadagnare su una transazione immobiliare.

Si vuole favorire un metodo comparativo, il quale utilizza il confronto con altri immobili, in un mercato libero e che abbiano caratteristiche simili all'immobile in analisi. Questo permette una valutazione piuttosto facile e di veloce attuazione, poiché i dati di strutture analoghe sono già stati effettuati e registrati.

È vero però che allo stesso tempo, la valutazione di un determinato immobile corre su un percorso, di volta in volta, piuttosto unico ed originale, poiché la sua struttura e la collocazione portano l'immobile a divenire "unico" nel suo genere.

In merito alla crescita della conoscenza aziendale, quindi viene introdotta la costruzione di un database. Questo archivio supporterà quindi l'azienda, anche grazie ad una modellazione statistica, permettendole di trovare la soluzione più prossima e confrontarla a quella necessaria. L'obiettivo è quello di creare uno scenario di analisi che sia in grado di darci informazioni e proiezioni significative dal punto di vista

economico in modo tale da capire se l'investimento ne vale la pena. Quindi si raccolgono le informazioni fornite dal cliente (input) e si integrano con dati originali ricavati dalle indagini in merito agli immobili e al contesto di riferimento.

Dopodiché si passa al tracciamento degli scenari e della strategia: vengono, infatti, definiti i possibili scenari sulla domanda potenziale e sui fabbisogni del territorio e la conseguente strategia di valorizzazione, efficientamento e rigenerazione del patrimonio immobiliare.

Infine, si passa alla valutazione della sostenibilità economica: viene, infatti, verificata la sostenibilità delle azioni di ottimizzazione ipotizzate e viene proposto un piano strategico che permette di misurare il valore generato, facendo riferimento agli aspetti fiscali e finanziari del progetto. In particolare, la sostenibilità degli interventi viene valutata attraverso l'efficientamento a 360°, che riguarda tanto i termini strutturali e tecnologici, quanto quelli di utilizzo degli spazi, della destinazione d'uso e della messa a reddito degli immobili, e la logica di portafoglio, ossia la generazione del valore necessario all'equilibrio economico-finanziario.

2. Il Rischio Sismico

Il rischio sismico rappresenta la probabilità che nel corso di un assegnato periodo temporale, un dato sistema funzionale subisca un certo livello di danno e da questo derivi una perdita per la collettività che riguarda determinate risorse.

La determinazione del rischio è legata a tre fattori principali:

$$R = f(P, V, E)$$

Dove P rappresenta la pericolosità sismica di un'area, definita come la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, essa sia interessata da terremoti di una data intensità che possono produrre danni.

V è la vulnerabilità, valuta la possibilità che persone, edifici o attività subiscano danni o modifiche al verificarsi di un evento sismico. Fornisce informazioni riguardanti la perdita o la riduzione di efficienza ma anche la capacità residua a svolgere le normali condizioni di funzionamento di un sistema territoriale.

E è l'esposizione, fornisce un'indicazione dell'importanza dell'oggetto esposto al rischio. Permette di individuare da un punto di vista numerico ed economico gli elementi del territorio che potrebbero variare il loro comportamento e sviluppo a seguito dell'evento sismico.

Per poter ridurre il rischio sismico l'unico fattore su cui è possibile intervenire è la vulnerabilità, essa dipende, nel caso di edifici, dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione. Pertanto, tramite miglioramento o adeguamento sismico è possibile ridurre la vulnerabilità di un edificio. Pericolosità ed esposizione sono fattori su cui non è possibile intervenire, la pericolosità dipende dal tipo di terremoto, dalle condizioni geomorfologiche e dalla distanza tra l'epicentro e l'area interessata mentre l'esposizione è funzione della quantità e della qualità dei beni esposti, del patrimonio artistico/culturale, della produttività delle zone industriali e della densità abitativa. L'analisi della vulnerabilità, della pericolosità e dell'esposizione possono essere effettuate a scala regionale e/o nazionale, riguardare un aggregato urbano o un singolo edificio. A seconda del livello di conoscenza che si vuole ottenere mutano le metodologie e le tecniche da poter utilizzare per effettuare le analisi.

La valutazione del rischio sismico di un'area urbana comporta l'acquisizione e l'utilizzo di una mole di dati, ne consegue la necessità di utilizzare strumenti di

ispezione e registrazione meno onerosi e più pratici. La valutazione del rischio nelle aree urbane può essere implementata con l'ausilio di software georeferenziati, come la metodologia GIS, che fornisce una prospettiva globale del problema. Informazioni dettagliate ed approfondite conducono a risultati più attendibili e precisi, grazie all'ausilio di metodi meccanici e numerici. D'altro canto, per effettuare una stima sul rischio sismico a cui è soggetto un'area, un'analisi a scala territoriale fornisce una metodologia più vantaggiosa in termini di costi e di tempo. È importante ricordare come la quantificazione del rischio sia un processo altamente probabilistico, caratteristica legata all'incertezza connessa al fenomeno sismico, il che significa che i risultati devono essere analizzati da un punto di vista probabilistico (Ferreira 2018). Conoscere il rischio sismico di un territorio permette di incrementare la resilienza del patrimonio edilizio. I centri storici risultano particolarmente vulnerabili agli eventi naturali, specialmente per quanto riguarda un evento sismico. La loro salvaguardia è uno degli obiettivi principali della società moderna, dato il loro valore da un punto di vista culturale, paesaggistico, sociale ed economico. I recenti casi di eventi sismici, hanno evidenziato l'importanza dello studio del rischio, in quanto la sua analisi comporta la valutazione di strategie di "protezione" e gestione delle emergenze. Per poter studiare il rischio è necessario analizzare le componenti che la definiscono, ossia la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione.

2.1 Analisi della pericolosità

La pericolosità sismica, dipendendo dalle caratteristiche del territorio, risulta tanto maggiore quanto maggiore è la frequenza e l'intensità degli eventi che si sono verificati in una determinata area geografica. La conoscenza della pericolosità è uno strumento di previsione del grado di severità del sisma atteso. La pericolosità sismica viene definita per la prima volta in Italia, tra il 1981 ed il 1984, con i decreti ministeriali emanati dal ministero dei Lavori Pubblici, i quali classificavano il territorio in tre categorie sismiche. Nel 2003, con gli studi relativi alla pericolosità sismica e con la pubblicazione dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 sulla Gazzetta Ufficiale n.105 viene introdotta la zona quattro, con conseguente riclassificazione del territorio nazionale. Aggiornata, nel 2006, a seguito degli eventi catastrofici che hanno colpito l'Italia, l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 riporta sulla Gazzetta Ufficiale n.108 i "Criteri generali per

l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". A ciascuna zona viene attribuito un valore dell'azione sismica espresso in termini di accelerazione massima su terreno rigido, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, i valori attribuiti a ciascuna zona sono visibili nella Tabella 1 (Presidente del Consiglio dei Ministri 2006). La classificazione sismica risulta utile per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti quali la Regione, il Genio civile, ecc.

Zona Sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni(a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

*Tabella 1 - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido.
(Presidente del Consiglio dei Ministri 2006)*

A seguito del provvedimento l'istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV) ha realizzato delle mappe di pericolosità sismica nazionale che descrivono la pericolosità sismica tramite il parametro di accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in un periodo di ritorno di 50 anni, su suolo rigido e pianeggiante (*Figura 3*).

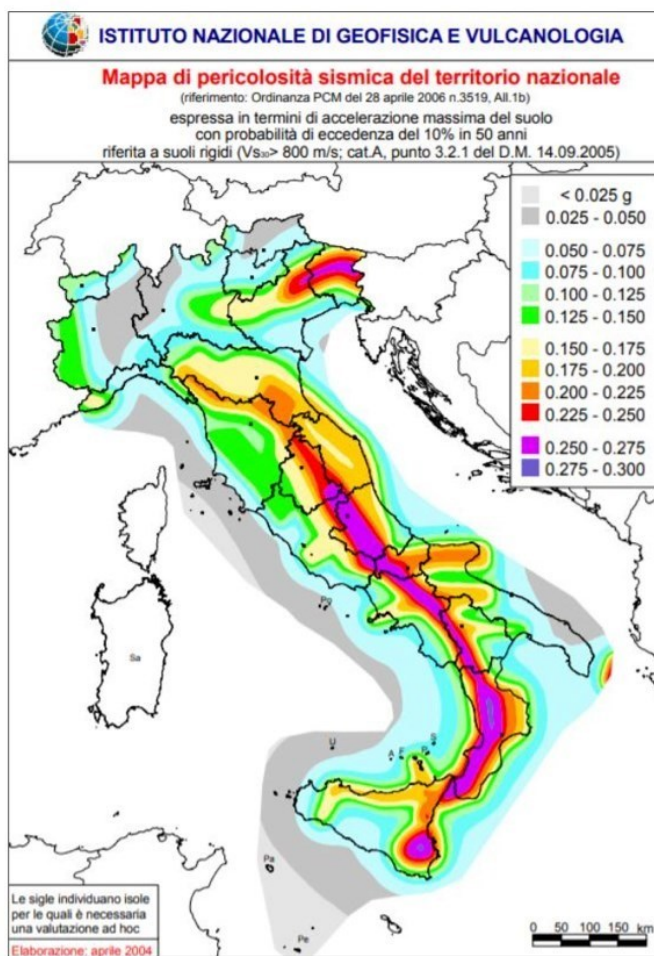


Figura 3 - Mapa di pericolosità Sismica Nazionale 2005[INGV].

I colori associati ad accelerazioni più basse indicano zone meno pericolose, dove la frequenza di terremoti più forti è minore. In base a tali dati è possibile costruire una mappa delle zone sismiche che permette di individuare sul territorio nazionale la suddivisione delle zone sismiche (*Figura 4*).

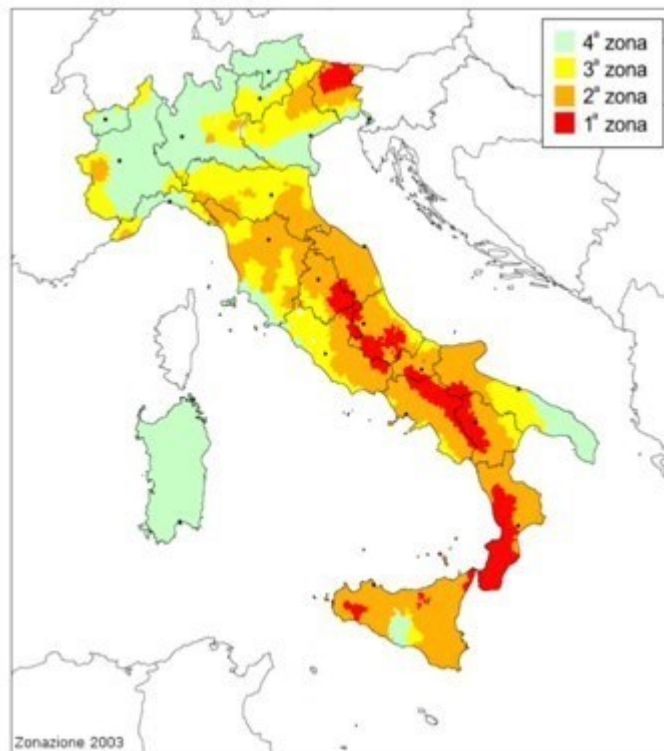


Figura 4 - Mappa delle zone sismiche del territorio italiano [INGV].

La mappa di pericolosità sismica può essere definita tramite due parametri differenti, l'intensità macrosismica, che definisce una misura oggettiva della forza del sisma, misurata tramite scale strumentali o tramite grandezze meccaniche come i parametri relativi al moto del suolo (PGA, Peak Ground Acceleration). Lo studio della pericolosità può avvenire tramite due metodologie:

- metodo deterministico (DSHA, *Deterministic Seismic Hazard Analysis*);
- metodo probabilistico (PSHA, *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*).

Il metodo DSHA è stato sconsigliato dal Comitato per il Rischio sismico dell'EERI nel 1984 in quanto esso considera un piccolo numero di scenari e fornisce lo scenario più grave al sito ma non la probabilità che si verifichi il sisma. Inoltre, non fornisce il livello d'intensità in un prefissato periodo di riferimento e non considera gli effetti delle incertezze legati ad un sisma. Il metodo probabilistico considera tutti gli scenari possibili e valuta la probabilità che si verifichi un livello di scuotimento sismico maggiore di un assegnato valore, entro un dato periodo di tempo. La normativa italiana si basa su mappe di pericolosità sismiche che utilizzano il metodo di analisi probabilistico. Sono molti i centri di ricerca che si occupano della determinazione della pericolosità sismica, individuiamo ad esempio l'istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV) sopra citato che con il progetto INGV-DPC S2 (2007-2009) ha realizzato un modello dinamico sperimentale di valutazione della pericolosità sismica

a scala nazionale o ancora il progetto SHARE EU Project-Seismic Hazard Harmonization in Europe. Stime di pericolosità sismiche a livello mondiale sono invece definite dalla GEM (*Global Earthquake Model*) o dal GSHAP-*Global Seismic Hazard Assessment Program*.

2.2 Analisi della vulnerabilità

I terremoti recenti e passati hanno mostrato un alto livello di vulnerabilità sismica sul territorio nazionale ed hanno evidenziato delle criticità soprattutto nelle aree dei centri storici. Tali informazioni hanno portato alla necessità di effettuare un'analisi di vulnerabilità dal punto di vista economico, culturale e di salvaguardia delle vite umane tramite degli studi a larga scala. Gli obiettivi principali della valutazione della vulnerabilità a larga scala sono:

- conoscere l'impatto di un terremoto su gruppi di edifici;
- pianificare gli interventi di prevenzione e mitigazione del rischio sismico;
- aiutare la gestione dell'emergenza dopo un evento sismico.

Per poter analizzare la vulnerabilità è necessario acquisire ed esaminare i dati disponibili nell'area di interesse, identificare la classe degli edifici presenti nell'area e costruire i modelli di vulnerabilità. Successivamente, per ogni classe di edifici bisogna definire i parametri su cui si baseranno i modelli di vulnerabilità, i parametri possono far riferimento al singolo edificio o a micro aree. Il territorio viene suddiviso in zone caratterizzate da pericolosità uniforme e per ogni classe di edificio e micro area vengono determinate le curve di fragilità, il performance point e la probabilità di danno, considerando le incertezze coinvolte. I modelli di vulnerabilità stabiliscono una correlazione tra la pericolosità e i danni strutturali. È possibile definire il modello di vulnerabilità utilizzando due procedimenti differenti, in relazione al fatto che la mappa di pericolosità sismica può essere definita tramite due parametri, come riportato nel *paragrafo 2.1*:

- intensità macrosismica, la quale rappresenta una misura ibrida dell'input sismico in quanto dipende indirettamente dalla vulnerabilità dell'edificio. I dati storici degli eventi sismici sono perlopiù indicati in termini di Intensità;
- PGA (Peak Ground Acceleration) e valori spettrali, sono parametri utilizzati in una rappresentazione di tipo meccanico dell'input sismico. Sono legati alla risposta strutturale di un sistema SDOF (single degree of freedom).

Distinguiamo un metodo macrosismico in cui la vulnerabilità viene misurata tramite un indice di vulnerabilità V , il quale fornisce una misura della “debolezza” della costruzione soggetta all’azione sismica e un indice di duttilità Q , il quale controlla l’incremento del tasso di danno con l’intensità. Entrambi gli indici sono valutati a seconda della tipologia di edificio e delle caratteristiche costruttive. Questa metodologia consente la valutazione della vulnerabilità di numerosi e diversi set di edifici. La vulnerabilità viene rappresentata tramite curve che stabiliscono una correlazione tra pericolosità, descritta in termini di intensità, e danni strutturali di classi di edifici con uno stesso comportamento. Le curve di vulnerabilità sono ottenute tramite l’analisi di dati, collezionati dopo eventi sismici di diversa intensità, e dei danni, che si sono verificati sulle strutture. Il danno è descritto tramite la matrice di probabilità del danno (DPM). È possibile avere matrici incomplete nel caso di assenza di informazioni relative al grado di danno degli edifici sottoposti ad un dato livello di intensità e posti in un’area geografica specifica. L’intensità è considerata come un parametro continuo valutata rispetto a delle condizioni di terreno rigido; i possibili effetti delle amplificazioni dovute a differenti condizioni del terreno sono comprese all’interno del parametro di vulnerabilità V . Per quanto concerne il danno fisico degli edifici si può considerare la classificazione riportata dalla scala macrosismica europea EMS-98, distinguendo cinque livelli di danno D_k (con $k = 1, \dots, 5$), nel dettaglio:

- D_0 , *nessun danno*;
- D_1 , *danno da trascurabile a leggero*, nessun danno strutturale e un leggero danno non strutturale. Caratterizzato dalla presenza di crepe capillari su pochissimi muri, caduta di piccoli pezzi di intonaco;
- D_2 , *danno moderato*, leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale. Caratterizzato da lesioni in molti muri, caduta di pezzi di intonaco piuttosto grandi;
- D_3 , *danno da sostanziale a grave*, moderato danno strutturale e grave danno non strutturale. Caratterizzato da larghe lesioni sulla maggior parte dei muri e cedimento di singoli elementi non strutturali.
- D_4 , *danno molto grave*, grave danno strutturale e danno non strutturale molto grave. Caratterizzato da un importante cedimento dei muri e parziale cedimento di tetti e solai;

- D5, *distruzione*, danno strutturale molto grave. Caratterizzato dal collasso totale o quasi totale.

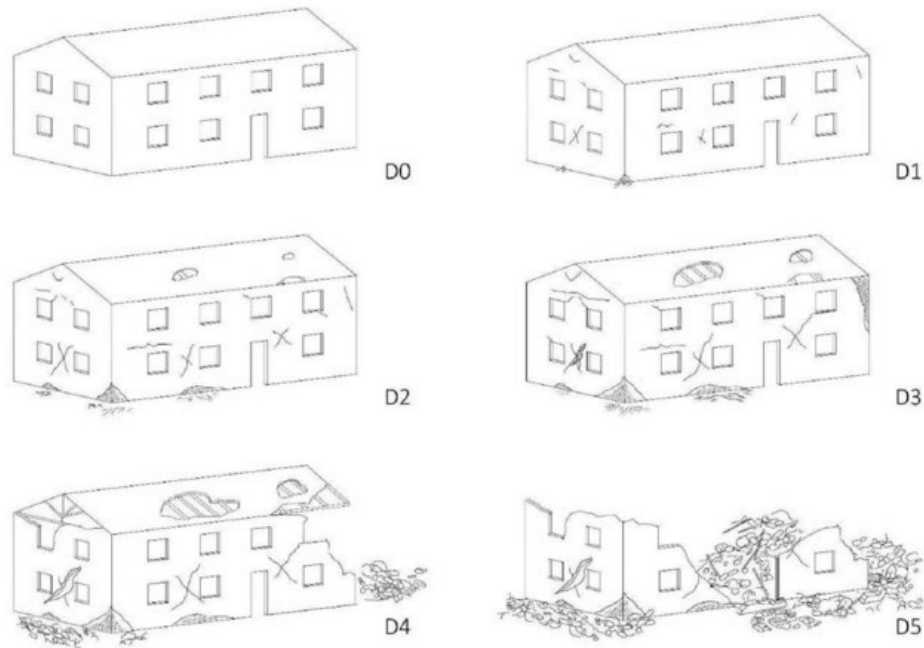


Figura 5 - Descrizione schematica dei livelli di danno.

2.2.1 Metodi e procedure per la valutazione della vulnerabilità sismica

Tuttavia, la vulnerabilità rappresenta ancora un componente rilevante e cruciale della catena di analisi del rischio sismico e possiamo dunque effettuare lo studio di quest'ultima attraverso una prima classificazione di metodi così distinti:

- metodi diretti;
- metodi indiretti.

I metodi diretti procedono secondo una definizione del costruito sulla base di tipologie costruttive individuate e ricadenti in predefinite classi. L'analisi statistica dei danni rilevati sugli edifici appartenenti a quelle classi a seguito di eventi sismici pregressi consente una valutazione predittiva del comportamento. I metodi indiretti, invece, permettono di stimare la vulnerabilità sulla base di indici o punteggi (che valutano l'idoneità delle strutture a sopportare eventi sismici), ciascuno dei quali è associabile ad una curva di vulnerabilità o matrice di probabilità di danno.

Una seconda classificazione prevede invece la definizione del metodo in funzione dell'organismo cui è assimilata la struttura, distinguendo tra:

- metodi meccanici,

- empirici;
- basati sul giudizio di esperti.

I metodi meccanici ambiscono a valutare il livello di prestazioni atteso attraverso Stati Limite di Danno (SLD) adottando versioni semplificate del *Capacity Spectrum Method* (CSM). L'input sismico viene definito attraverso uno spettro tracciato nel piano accelerazione-spostamento, e incrociato con la curva di capacità relativa alla struttura analizzata al fine di individuare il cosiddetto "performance point". Il raggiungimento o superamento di prefissati SLD viene poi rappresentato graficamente attraverso curve di fragilità a distribuzione log-normale, che definiscono la propensione di un certo edificio o gruppi di edifici a subire danni di una certa entità in seguito al verificarsi di eventi sismici di data intensità.

Il metodo meccanico può essere applicato seguendo un approccio empirico o analitico. Nel primo caso, a ciascuna struttura viene associata una categoria tipologica, a cui fa riferimento una già prestabilita curva di capacità definita in funzione di pochi parametri; tale curva viene poi incrociata con lo spettro di domanda. Una delle procedure più utilizzate, e anche tra le più consolidate, è la HAZARD in the United States (FEMA 1999) (Shibin L. 2010). L'approccio analitico prevede invece che le curve di fragilità vengano definite attraverso analisi sismiche delle strutture indagate, ottenute tramite analisi dinamiche non lineari, elastiche spettrali o statiche non lineari. Il Metodo CSM e sue variazioni è molto utilizzato nella pratica per la stima della vulnerabilità ad ampia scala.

I metodi empirici, al contrario, si basano sull'analisi in forma statistica dei danni provocati dai terremoti, a partire dalla definizione di classi caratterizzate da indicatori tipologici a cui è associabile una matrice di probabilità di danno, definita come probabilità condizionata di ottenere un dato livello di danno dovuto ad una data intensità macrosismica, o una curva di vulnerabilità. Le classi di vulnerabilità sono state definite a partire dalle scale macrosismiche, in primis MSK (*Medvedev- Sponheuer-Karnik - 1977*) e negli ultimi decenni EMS-98 (*European Macroseismic Scale - 1998*). Tale approccio è stato applicato per la prima volta a seguito del terremoto dell'Irpinia (1980), ripreso nel progetto RISK-UE e successivamente integrato.

Esistono poi i metodi euristici (basati sul giudizio di esperti) che si fondano sull'attribuzione di indici di vulnerabilità alle strutture, ottenuti attraverso la combinazione di diversi fattori che definiscono l'idoneità a sopportare terremoti e raccolti tramite strumenti schedografici.

Ulteriori metodi, sviluppati in questi ultimi anni e indirizzati a superare il problema della difficoltà nel reperimento di informazioni o della non conoscibilità di quest'ultime, prevedono l'adozione di procedure a base statistico-probabilistica. L'approccio è ad oggi maggiormente consolidato per lo studio di infrastrutture viarie, in particolare ponti, o acquedotti; meno frequenti (ma in crescita) sono gli studi su edifici e su interi ambiti territoriali.

Per alcuni ambiti territoriali, lo studio della vulnerabilità del costruito attraverso l'applicazione di diversi metodi ha riguardato estesi lassi temporali; l'analisi di tali studi consente sia di osservare l'evoluzione negli anni degli approcci e della loro affidabilità, sia di valutare la migliore adattabilità di alcuni metodi rispetto ad altri, sulla base della predefinita area oggetto di studio e in funzione dai dati di input disponibili. Indipendentemente dall'approccio utilizzato per condurre lo studio, la finalità di valutazioni di questo tipo sul costruito è la definizione di scenari di danno o mappe di vulnerabilità che stabiliscano la propensione di gruppi di edifici a subire danni di una certa entità in occasione del verificarsi di eventi sismici di una certa intensità. La mappatura di intere aree territoriali favorisce la protezione del patrimonio architettonico e dei suoi abitanti sia in tempo di pace che in occasione di eventi sismici. Nel primo caso infatti essa adempie alla funzione di definire una classificazione di vulnerabilità per gli edifici indirizzata a definire liste di priorità per l'esecuzione di interventi sul costruito: tali liste possono dare informazioni utili alle pubbliche amministrazioni per individuare preliminarmente le aree maggiormente vulnerabili (singole strutture o interi ambiti territoriali) su cui approfondire studi di vulnerabilità, oltre a contribuire alle scelte in merito alla possibile allocazione di finanziamenti pubblici finalizzati ad opere di prevenzione e tutela del patrimonio. Le mappe create contribuiscono inoltre alla definizione di piani di emergenza, strumenti indispensabili per il Dipartimento della Protezione Civile per fronteggiare situazioni di emergenza post-sismica. In essi, infatti, sono individuati gli obiettivi da conseguire per organizzare una adeguata risposta di Protezione Civile in occasione di eventi sismici e definire di conseguenza un modello di intervento a partire dalla funzionalità delle reti infrastrutturali e di comunicazione, dall'estensione dell'area colpita e dalle possibili perdite attese in vite umane.

Negli ultimi anni è sempre più diffusa la volontà di implementare dati e risultati ottenuti da valutazioni di vulnerabilità in database o sistemi informativi territoriali (GIS): l'utilizzo di tali strumenti facilita il reperimento e l'integrazione delle informazioni

sugli edifici, la lettura dei risultati e l'integrazione degli studi di vulnerabilità in valutazioni di rischio.

2.3 Analisi dell'esposizione

L'analisi dell'esposizione risulta un elemento non trascurabile per la valutazione del rischio sismico. La realizzazione dell'analisi necessita dell'identificazione degli elementi antropici, quali sistemi infrastrutturali, edifici e popolazione insediata che ricadono in un ambito territoriale delineato da un'elevata pericolosità e le cui condizioni e/o il funzionamento possono essere alterati, danneggiati o distrutti da un evento sismico. L'esposizione è legata al livello di concentrazione degli elementi esposti al rischio. Il territorio italiano è caratterizzato da un alto tasso di urbanizzazione e un notevole patrimonio edilizio. Generalmente popolazione, manufatti, e beni sono distribuiti in maniera non uniforme sul territorio. Il livello di esposizione risulta tanto maggiore quanto maggiore è il livello di concentrazione degli elementi a rischio. Inoltre, l'analisi oltre ad effettuare una valutazione numerica degli elementi esposti deve valutare le funzioni esplicitate dai veri elementi del sistema urbano. Di fondamentale importanza è lo studio delle strutture strategiche distribuite sul territorio, come complessi ospedalieri, sanitari, strutture della popolazione civile, caserme della forza pubblica, le quali devono gestire situazioni di emergenza per garantire soccorso e assistenza durante un evento sismico e il sistema dei trasporti che permette di valutare l'accesso alle aree colpite. È possibile effettuare diverse tipologie di analisi le quali forniscono informazioni più o meno dettagliate a seconda del livello di conoscenza che si vuole ottenere. Per una valutazione speditiva, che si basa su una vasta area è possibile individuare diverse fasi che permettono di realizzare un modello di esposizione. Prima di tutto è necessario definire un criterio di classificazione degli edifici e dei servizi, successivamente bisogna definire un inventario per stabilire il numero di strutture e sistemi appartenenti ad ogni elemento della classificazione ed infine è prevista una trattazione e memorizzazione dei dati. La classificazione rappresenta un punto di fondamentale importanza in quanto assicura un'interpretazione uniforme dei dati e dei risultati. Generalmente gli edifici vengono classificati in base alla destinazione d'uso ma correlati con i modelli di vulnerabilità la classificazione dei sistemi deve permettere di raggruppare edifici con uno stesso comportamento durante l'evento sismico. Inoltre, la classificazione deve tener conto dell'occupazione dell'edificio e della sua funzione

sociale. Uno dei primi esempi di classificazione presente in letteratura è stato fornito da Steinbrugge (1984), utilizzato perlopiù negli Stati Uniti, il quale ha studiato una classificazione basata sul tipo di sistema strutturale, i materiali da costruzione e le prestazioni fornite a seguito di un evento sismico. Ulteriori classificazioni vengono fornite dal HAZUS e dall' EMS98. Per quanto concerne la classificazione occupazionale del sistema è possibile effettuare una distinzione in base alla destinazione d'uso differenziando il livello occupazionale per edifici residenziali, commerciali, culturali, monumentali ecc. La realizzazione di un inventario richiede elevate risorse in termini di costi e tempo. Tramite lo strumento di informazione georeferenziato (GIS) è possibile analizzare e gestire le informazioni richieste nel modello di esposizione.

2.4 Valutazione economica

2.4.1 Classificazione del rischio sismico delle costruzioni

Il 28 febbraio 2017 è stato adottato il decreto n.58 del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti che stabilisce le Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni, necessarie per attivare il cosiddetto "Sismabonus", cioè gli incentivi fiscali per la valutazione e prevenzione del rischio sismico degli edifici. Le linee guida individuano otto classi di rischio sismico, con rischio sismico crescente dalla lettera A+ alla lettera G, (*Figura 6*) attribuendo ad un edificio una specifica classe mediante un unico parametro che tiene conto sia della sicurezza sia degli aspetti economici.



Figura 6 - Classi di rischio sismico.

La determinazione della classe di appartenenza di un edificio può essere condotta secondo due metodi tra loro alternativi, l'uno convenzionale e l'altro semplificato, quest'ultimo con un ambito applicativo limitato.

Il metodo convenzionale è concettualmente applicabile a qualsiasi tipologia di costruzione, è basato sull'applicazione dei normali metodi di analisi previsti dalle attuali Norme Tecniche e consente la valutazione della Classe di Rischio della costruzione sia nello stato di fatto sia nello stato conseguente all'eventuale intervento. Il metodo semplificato si basa su una classificazione macrosismica dell'edificio, è indicato per una valutazione speditiva della Classe di Rischio dei soli edifici in muratura e può essere utilizzato sia per una valutazione preliminare indicativa, sia per valutare, limitatamente agli edifici in muratura, la classe di rischio in relazione all'adozione di interventi di tipo locale.

Per la determinazione della Classe di Rischio si fa nel seguito riferimento a due parametri:

- la Perdita Annuale Media attesa (PAM), che tiene in considerazione le perdite economiche associate ai danni agli elementi, strutturali e non strutturali, e riferite al costo di ricostruzione (CR) dell'edificio privo del suo contenuto;
- l'indice di sicurezza (IS-V) della struttura definito come il rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo (PGA, *Peak Ground Acceleration*) che determina il raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), capacità in $PGA - PGA_C$, e la PGA che la norma indica, nello specifico sito in cui si trova la costruzione e per lo stesso stato limite, come riferimento

per la progettazione di un nuovo edificio, domanda in $PGA - PGA_D$. L'indice di sicurezza (IS-V) della struttura è meglio noto ai tecnici con la denominazione di "Indice di Rischio".

Nel caso degli edifici la Classe di Rischio associata alla singola unità immobiliare coincide con quella dell'edificio e, comunque, il fattore inerente alla sicurezza strutturale deve essere quello relativo alla struttura dell'edificio nella sua interezza. Caso più articolato, ovviamente, è quello relativo agli aggregati edilizi in cui l'individuazione dell'unità strutturale è più complessa e per la quale, per semplicità, può farsi riferimento al metodo semplificato nel seguito riportato.

In ogni caso, l'attribuzione della Classe di Rischio mediante il metodo semplificato è da ritenersi una stima attendibile ma non sempre coerente con la valutazione ottenuta con il metodo convenzionale, che rappresenta, allo stato attuale, il necessario riferimento omogeneo e convenzionale.

Laddove si preveda l'esecuzione di interventi volti alla riduzione del rischio, l'attribuzione della Classe di Rischio pre e post intervento deve essere effettuata utilizzando il medesimo metodo e con le stesse modalità di analisi e di verifica, tra quelle consentite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Nel caso di valutazioni finalizzate all'esecuzione di interventi sugli edifici volti alla riduzione del rischio, è consentito l'impiego del metodo semplificato, nei soli casi in cui si adottino interventi di rafforzamento locale, in tal caso è ammesso il passaggio di una sola Classe di Rischio.

2.4.2 Attribuzione delle classi di rischio

L'attribuzione della Classe di Rischio può avvenire, come detto, attraverso uno dei due metodi, convenzionale e semplificato, seguendo le procedure nel seguito descritte.

In entrambi i metodi è fatto utile riferimento al parametro PAM, che può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione.

Esso può essere valutato, così come previsto per l'applicazione del metodo convenzionale, come l'area sottesa alla curva rappresentante le perdite economiche dirette, in funzione della frequenza media annua di superamento (pari all'inverso del periodo medio di ritorno) degli eventi che provocano il raggiungimento di uno stato

limite per la struttura. Tale curva, in assenza di dati più precisi, può essere discretizzata mediante una spezzata. Minore sarà l'area sottesa da tale curva, minore sarà la perdita media annua attesa (PAM).

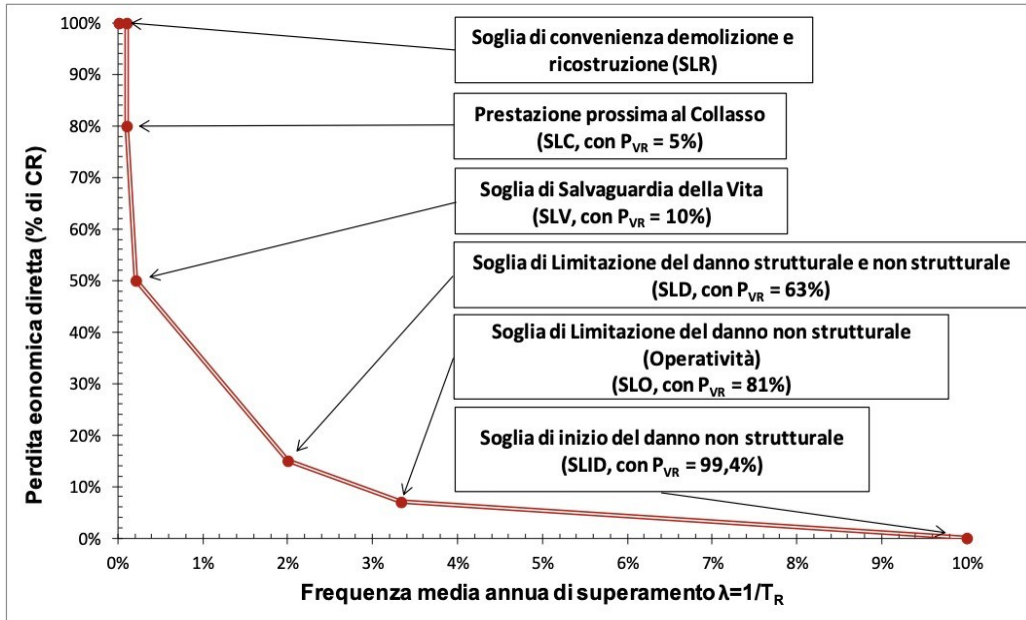


Figura 7 - Andamento della curva che individua il PAM, riferito a una costruzione con vita nominale 50 anni e appartenente alla classe d'uso II.

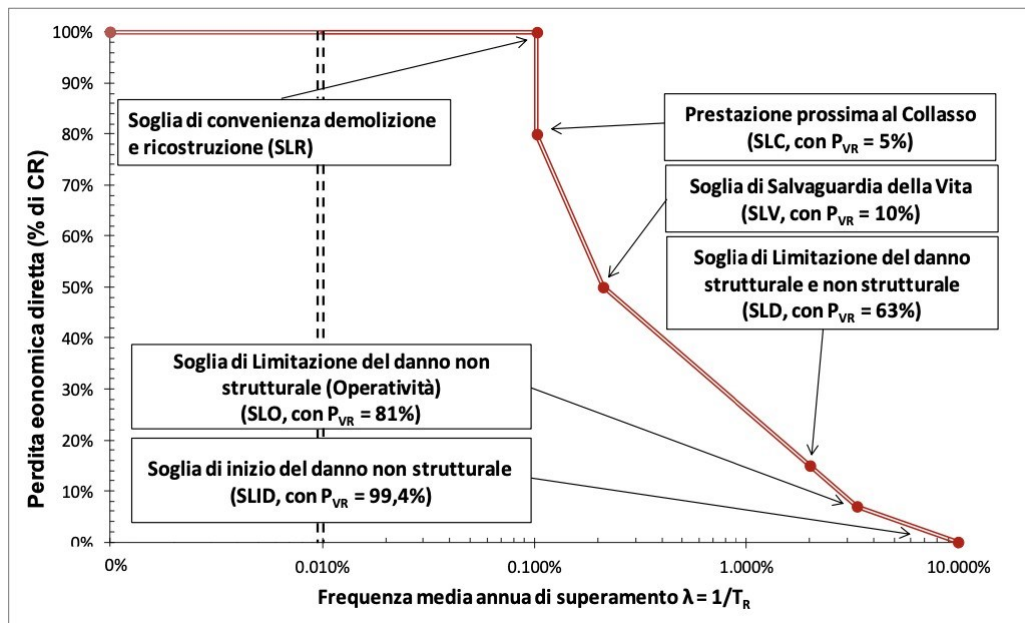


Figura 8 - Andamento della curva che individua il PAM, riferito a una costruzione con vita nominale 50 anni e appartenente alla classe d'uso II. Per individuare meglio i punti prossimi all'asse delle ordinate, le ascisse sono in scala logaritmica.

2.4.3 Metodo convenzionale

Il metodo convenzionale assegna alla costruzione in esame una Classe di Rischio in funzione del parametro economico PAM e dell'indice di sicurezza della struttura IS-V. Per il calcolo di tali parametri (entrambi sono grandezze adimensionali, nel seguito espresse in %) è necessario calcolare, facendo riferimento al sito in cui sorge la costruzione in esame, le accelerazioni di picco al suolo per le quali si raggiungono gli stati limite SLO, SLD, SLV ed SLC, utilizzando le usuali verifiche di sicurezza agli stati limite previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. Esso è, dunque, applicabile a tutti i tipi di costruzione previsti dalle suddette Norme Tecniche.

Al fine della assegnazione della Classe di Rischio, è necessario valutare preliminarmente la Classe PAM e la Classe IS-V in cui ricade la costruzione in esame. I valori di riferimento per la definizione delle Classi PAM sono riportati in *tabella 2*.

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A_{PAM}^+
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Tabella 2 - Attribuzione della Classe di Rischio PAM in funzione dell'entità delle Perdite medie annue attese.

Analogamente, i valori di riferimento dell'indice di sicurezza da cui derivare la Classe IS-V, legata alla salvaguardia della vita umana, sono riportati in *tabella 3*.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A ⁺ _{IS-V}
80% ≤ IS-V < 100%	A _{IS-V}
60% ≤ IS-V < 80%	B _{IS-V}
45% ≤ IS-V < 60%	C _{IS-V}
30% ≤ IS-V < 45%	D _{IS-V}
15% ≤ IS-V < 30%	E _{IS-V}
IS-V ≤ 15%	F _{IS-V}

Tabella 3 - Attribuzione della Classe di Rischio IS-V in funzione dell'entità dell'Indice di Sicurezza.

Per la valutazione della Classe PAM e della Classe IS-V della costruzione in esame, necessarie per l'individuazione della Classe di Rischio, è sufficiente fare uso dei metodi indicati dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, procedendo con i seguenti passi:

- 1) Si effettua l'analisi della struttura e si determinano i valori delle accelerazioni al suolo di capacità, $PGA_C(SL_i)$, che inducono il raggiungimento degli stati limite indicati dalla norma (SLC, SLV, SLD, SLO). È possibile, in via semplificata, effettuare le verifiche limitatamente allo SLV (stato limite per la salvaguardia della vita) ed allo SLD (stato limite di danno).
- 2) Note le accelerazioni al suolo, PGA_C , che producono il raggiungimento degli stati limite sopra detti, si determinano i corrispondenti periodi di ritorno, Tr_C , associati ai terremoti che generano tali accelerazioni. In assenza di più specifiche valutazioni, il passaggio dalle PGA_C ai valori del periodo di ritorno può essere eseguito utilizzando la seguente relazione:

$$Tr_C = Tr_D (PGA_C/PGA_D)^\eta \quad \text{con } \eta = 1/0,41.$$

La relazione fornita è media sull'intero territorio nazionale; per riferirsi più puntualmente all'intensità sismica di appartenenza si possono utilizzare le formule appresso riportate, con riferimento all'accelerazione massima su roccia a_g .

I valori sono: $\eta = 1/0,49$ per $a_g \geq 0,25g$; $\eta = 1/0,43$ per $0,25g \geq a_g \geq 0,15g$;
 $\eta = 1/0,356$ per $0,15g \geq a_g \geq 0,05g$; $\eta = 1/0,34$ per $0,05g \geq a_g$.

- 3) Per ciascuno dei periodi sopra individuati, si determina il valore della frequenza media annua di superamento $\lambda = 1/ T_{RC}$. È utile sottolineare che, per il calcolo del tempo di ritorno T_{RC} associato al raggiungimento degli stati limite di esercizio (SLD ed SLO) è necessario assumere il valore minore tra quello ottenuto per tali stati limite e quello valutato per lo stato limite di salvaguardia della vita. Si assume, di fatto, che non si possa raggiungere lo stato limite di salvaguardia della vita senza aver raggiunto gli stati limite di operatività e danno.
- 4) Si definisce Stato Limite di Inizio Danno (SLID), quello a cui è, comunque, associabile una perdita economica nulla in corrispondenza di un evento sismico e il cui periodo di ritorno è assunto, convenzionalmente, pari a 10 anni, ossia $\lambda = 0,1$.
- 5) Si definisce Stato Limite di Ricostruzione (SLR) quello a cui, stante la criticità generale che presenta la costruzione al punto da rendere pressoché impossibile l'esecuzione di un intervento diverso dalla demolizione e ricostruzione, è comunque associabile una perdita economica pari al 100%. Convenzionalmente si assume che tale stato limite si manifesti in corrispondenza di un evento sismico il cui periodo di ritorno è pari a quello dello Stato Limite dei Collasso (SLC).
- 6) Per ciascuno degli stati limite considerati si associa al corrispondente valore di λ il valore della percentuale di costo di ricostruzione secondo la seguente *tabella 4*:

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

Tabella 4 - Percentuale del costo di ricostruzione (CR), associata al raggiungimento di ciascuno stato limite.

- 7) Si valuta il PAM (in valore percentuale), ovvero l'area sottesa alla spezzata individuata dalle coppie di punti (λ , CR) per ciascuno dei sopra indicati stati limite, a cui si aggiunge il punto ($\lambda=0$, CR=100%), mediante la seguente espressione:

$$PAM = \sum_{i=2}^5 \frac{[\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})]}{2} + \lambda(SLC) * CR(SLR)$$

dove l'indice "i" rappresenta il generico stato limite (i=5 per lo SLC e i=1 per lo SLID).

- 8) Si individua la Classe PAM, mediante la tabella 1 che associa la classe all'intervallo di valori assunto dal PAM.
- 9) Si determina l'indice di sicurezza per la vita IS-V, ovvero il rapporto tra la PGA_C (di capacità) che ha fatto raggiungere al fabbricato lo stato limite di salvaguardia della vita umana e la PGA_D (di domanda) del sito in cui è posizionato la costruzione, con riferimento al medesimo stato limite.
- 10) Si individua la Classe IS-V, mediante la tabella 2 che associa la classe all'intervallo di valori assunto dall'Indice di sicurezza per la vita IS-V, valutato come rapporto tra la PGA_C (SLV) e PGA_D (SLV).
- 11) Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.

Il valore della Classe di Rischio attribuita a ciascuna costruzione, come detto, può essere migliorato a seguito di interventi che riducono il rischio della costruzione e, quindi, che incidono sul valore PAM e/o sulla capacità che la struttura possiede rispetto allo stato limite della salvaguardia della vita, valutato come rapporto tra la PGA_C (SLV) e PGA_D (SLV).

2.4.4 Metodo semplificato

Alternativamente al metodo convenzionale, limitatamente alle tipologie in muratura, l'attribuzione della Classe di Rischio ad un edificio può essere condotta facendo riferimento alla procedura descritta in questo paragrafo. Nello specifico si determina, sulla base delle caratteristiche della costruzione, la Classe di Rischio di appartenenza a partire dalla classe di vulnerabilità definita dalla Scala Macrosismica Europea (EMS) di seguito riportata (Tabella 5).

Tipologia di struttura		Classe di vulnerabilità					
		V ₆ (=A _{EMS})	V ₅ (=B _{EMS})	V ₄ (=C _{EMS})	V ₃ (=D _{EMS})	V ₂ (=E _{EMS})	V ₁ (=F _{EMS})
MURATURA	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○	—				
	Muratura di pietra sbozzata		—	○			
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali		—	○	—		
	Muratura di mattoni e pietra lavorata	—	○	—			
	Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata		—	○	—		
	Muratura rinforzata e/o confinata			—	○	—	

Tabella 5 - Approccio semplificato per l'attribuzione della Classe di Vulnerabilità agli edifici in muratura.

L'EMS-98 individua 7 tipologie di edifici in muratura (identificate principalmente in base alla struttura verticale) e fissa la vulnerabilità media di ciascuna individuando 6 classi di vulnerabilità, qui indicate con V₁ ... V₆, (da non confondersi con le Classi di Rischio A ÷ G), con vulnerabilità crescente dal pedice 1 al pedice 6. L'EMS-98 individua, per ogni tipologia e ogni classe di vulnerabilità, il valore più credibile (cerchio) e la dispersione intorno a tale valore, espressa con i valori più probabili (linee continue) e meno probabili o addirittura eccezionali (linee tratteggiate).

La valutazione della classe di vulnerabilità, necessaria per la determinazione della Classe di Rischio della costruzione in esame mediante il metodo semplificato, deve essere condotta in due passi successivi:

- 1) determinazione della tipologia strutturale che meglio descrive la costruzione in esame e della classe di vulnerabilità media (valore più credibile) associata;
- 2) valutazione dell'eventuale scostamento dalla classe media a causa di un elevato degrado, di una scarsa qualità costruttiva o della presenza di peculiarità che possono innescare meccanismi di collasso locale per valori particolarmente bassi dell'azione sismica e aumentare la vulnerabilità globale.

La classe di vulnerabilità, in relazione alla pericolosità del sito in cui è localizzato l'edificio, corrisponde a una Classe di Rischio. Per semplicità, la pericolosità del sito è individuata attraverso la zona sismica di appartenenza così come definita dall'O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche e integrazioni. È così possibile definire le

corrispondenze tra classi di vulnerabilità V_1, V_2, \dots, V_6 e classi di rischio A+, A, ..., G, come indicato in *tabella 6*. Per distinguere l'attribuzione di classe mediante il metodo semplificato da quella ottenuta mediante il metodo convenzionale, le classi ottenute con il metodo semplificato sono contrassegnate da un asterisco (A+*, A*, B*, ...).

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	V_1	$V_1 \div V_2$	V_3	V_5
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	V_2	V_3	V_4	V_6
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	V_3	V_4	$V_5 \div V_6$	
E*	$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	V_4	V_5		
F*	$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	V_5	V_6		
G*	$7,5\% \leq PAM$	V_6			

Tabella 6 - Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato.

3. Software utilizzato

3.1 Costruzione del database

L'analisi del rischio sismico a scala territoriale richiede la conoscenza di una mole di dati, generalmente, difficilmente reperibili. Molti ricercatori ed esperti hanno realizzato database che fossero in grado di fornire informazioni sul costruito e che potessero essere utilizzati in vari ambiti disciplinari, si rende pertanto necessaria la conoscenza di parametri importanti per determinare il comportamento delle strutture dopo un terremoto. Tra quelli principali distinguiamo il sistema strutturale resistente, il materiale da costruzione e l'altezza totale degli edifici. Ovviamente, maggiore sarà il numero di parametri utilizzati, maggiore risulterà il livello di conoscenza. Da una determinazione di un elevato numero di parametri ne consegue un'analisi più accurata ed una maggiore attendibilità dei risultati. Tra le iniziative che hanno realizzato un censimento di dati nei paesi Europei individuiamo il progetto NERA (Network of European Research Infrastructures for Earthquake Risk Assessment and Mitigation) (2010-2014) e la GEM (Global Earthquake Model). Il progetto GEM ha sviluppato la GED4GEM (Global Exposure Database for the Global Earthquake Model), che incorpora informazioni fisiche, socioeconomiche, demografiche, geologiche e geografiche dalle diverse sorgenti esistenti.

A livello nazionale, banche dati sono fornite dall'INGV. I database forniti dai diversi progetti si basano su dati statistici e dati di progetti precedenti che vengono elaborati da esperti, le informazioni dovendo riguardare vaste aree comprendono un numero limitato di paesi europei. Inoltre, confrontando i database forniti dai diversi progetti di ricerca si evince un carattere di disomogeneità tra i dati. Ogni paese presenta una propria metodologia di catalogazione e spesso le diverse tecniche portano ad avere informazioni incongruenti tra loro. Al livello Europeo viene realizzato un censimento della popolazione e delle abitazioni ogni dieci anni. I dati forniti riguardano perlopiù aree ad alta sismicità, quali i paesi del Mediterraneo e dei Balcani, aree del centro e del centro-est Europa.

La determinazione dei database risulta una fase decisiva ma allo stesso tempo caratterizzata da molteplici difficoltà. Infatti, a livello nazionale, molte informazioni sono facilmente reperibili per le aree ad alta sismicità dove sono avvenuti terremoti,

mentre si riscontrano scarse informazioni nelle piccole province e nelle aree caratterizzate da una bassa sismicità. Lo sviluppo nel campo della ricerca sta valutando metodologie di correlazione tra i vari database al fine di renderli dinamici e garantire un'interoperabilità delle informazioni in modo che siano accessibili e utilizzabili dalla comunità. Un primo passo in questo campo è stato realizzato dal progetto “*100 resilient cities*” il cui scopo principale è quello di creare città resilienti e definire un database che contenga un'elaborazione di tutti i dati disponibili in modo da creare uno strumento di conoscenza unico per la popolazione. Database a livello nazionale, nel caso dell'Italia, vengono definiti, tramite un censimento ad intervalli di tempo regolari, dall'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) o dai Geoportali. I dati forniti sono dati statici e spesso incongruenti con quelli al livello europeo e le informazioni spesso risultano incomplete o di scarsa qualità. Ciò è principalmente dovuto ad una disorganizzata gestione dei dati da parte degli enti preposti. L'organizzazione dei dati si differenzia anche a livello nazionale, da regione a regione, data la diversità degli strumenti e delle tecniche utilizzate dalla pubblica amministrazione per la catalogazione dei dati. La catalogazione dei dati è una delle fasi principali per garantire attendibilità, omogeneità e la dinamicità delle informazioni caratteristiche, generalmente, assenti per i database su larga scala.

3.2 Tassonomia

Lo scopo della tassonomia degli edifici GEM è descrivere e classificare gli edifici in modo uniforme come passaggio chiave per la valutazione del rischio sismico. I criteri per lo sviluppo della tassonomia degli edifici GEM erano che la tassonomia fosse rilevante per le prestazioni sismiche di diversi tipi di costruzione; essere completo ma semplice; essere pieghevole; aderire a principi che sono familiari alla fascia di utenti; e infine essere estensibile a non edifici e altri pericoli. La tassonomia è stata sviluppata in collaborazione con altri ricercatori GEM e si basa sulla base di conoscenze di altre tassonomie, tra cui EERI e IAEE World Housing Encyclopedia, PAGER-STR e HAZUS.

La tassonomia è organizzata come una serie di tabelle espandibili, che contengono informazioni relative a vari attributi dell'edificio. Ciascun attributo descrive una caratteristica specifica di un singolo edificio o di una classe di edifici che potrebbe

potenzialmente influire sulla loro prestazione sismica. I seguenti 13 attributi sono stati inclusi nella tassonomia degli edifici GEM versione 2.0 (v2.0):

1. direzione;
2. materiale del sistema di resistenza al carico laterale;
3. sistema di resistenza al carico laterale;
4. altezza;
5. data di costruzione o ammodernamento;
6. occupazione;
7. posizione dell'edificio all'interno di un blocco;
8. forma della pianta dell'edificio;
9. irregolarità strutturale;
10. pareti esterne;
11. tetto;
12. pavimentazione;
13. sistema di fondazione.

La piattaforma GEM, dunque, ci permette di identificare gli edifici tramite una stringa tassonomica. Quest'ultima è propria di ogni edificio e gli attributi vengono separati tra loro tramite delle barre "/". Riportiamo di seguito un esempio (*Figura 9*).



Figura 9 - Esempio di edificio descritto tramite tassonomia.

La stringa della tassonomia sarà:

**DX¹/MUR+CLBRS+MOCL²/LWAL³/DY/MUR+CLBRS+MOCL/LWAL/
YPRE:1939⁴/HEX:2⁵/RES^{6/7/8}/IRRE⁹/10/RSH3+RWO+RWO2¹¹/FW^{12/13}/**

Che può essere letto come:

- 1) Direzione = [DX o DY] (l'edificio ha lo stesso sistema di carico resistente laterale in entrambe le direzioni);
- 2) Materiale = [Muratura non armata + mattoni pieni di argilla cotta + cemento: malta di calce];
- 3) Sistema di resistenza al carico laterale = [Muro];
- 4) Data di costruzione = [pre-1939];
- 5) Altezza = [2 piani];
- 6) Occupazione = [residenziale; tipo sconosciuto];
- 7) Posizione edificio = [sconosciuto = nessuna voce];
- 8) Forma della pianta dell'edificio = [sconosciuto = nessuna voce];
- 9) Irregolarità strutturale = [regolare];

- 10) Muri esterni = [sconosciuto = nessuna voce];
- 11) Tetto = [forma: inclinata e a padiglione; copertura del tetto: tegole di argilla; materiale del sistema di copertura: legno; tipo di sistema di tetto: capriate in legno];
- 12) Pavimento = [sistema di pavimento: legno, sconosciuto];
- 13) Fondazione = [sconosciuto = nessuna voce].

La tassonomia degli edifici GEM è stata valutata e testata in modo indipendente dal Earthquake Engineering Research Institute (EERI), che ha ricevuto 217 report TaxT da 49 paesi, che rappresentano un'ampia gamma di tipologie edilizie, inclusi edifici a uno e più piani, murature armate e non armate, confinate edifici in muratura, cemento, acciaio, legno e terra utilizzati per uso residenziale, commerciale, industriale e scolastico. Sulla base di questi contributi e di altri feedback, il team EERI ha convalidato che la tassonomia degli edifici GEM è altamente funzionale, robusta e in grado di descrivere diversi edifici in tutto il mondo.

La tassonomia degli edifici GEM è accompagnata da risorse supplementari. Tutti i termini sono stati spiegati in un glossario online complementare, che fornisce descrizioni sia testuali che grafiche. La tassonomia è accompagnata da TaxT, un'applicazione per computer che consente all'utente di registrare informazioni su un edificio o una tipologia di edificio utilizzando gli attributi della tassonomia degli edifici GEM v2.0. TaxT può generare una stringa di tassonomia e consentire all'utente di generare un report in formato PDF che riepiloga i valori degli attributi che ha scelto come rappresentativo della tipologia edilizia in esame.

3.3 Tassonomia strutturali/edilizie

Questa sezione esamina diverse tassonomie strutturali esistenti come parte del processo di sviluppo di una tassonomia degli edifici per il progetto GEM. Pertanto, la tassonomia strutturale è solo una delle numerose tassonomie che insieme conterranno tutti i dati rilevanti su un particolare edificio. Ad esempio, oltre alla tassonomia strutturale fondamentale, altre tassonomie devono coprire questioni relative a: informazioni generali sull'edificio, tra cui età di costruzione, elementi non strutturali, tipo di occupazione, aspetti costruttivi che influiscono sulle prestazioni sismiche, lavori di retrofit, ecc. Data la possibilità di estendere GEM oltre gli edifici per includere altre

forme costruite, la tassonomia degli edifici GEM deve poter essere ampliata per includere ponti, tunnel, dighe, moli, serbatoi, torri e altre costruzioni non edilizie.

Vi sono, dunque, molte tipologie di tassonomie nel mondo e Porter [2005], nella sua recensione, ha valutato ogni tassonomia rispetto a una serie di criteri al fine di identificare la tassonomia più appropriata su cui basarsi. I criteri con cui vengono valutate le tassonomie esistenti sono elencati di seguito:

1. *Distingue le differenze nelle prestazioni sismiche.*

La tassonomia distingue le versioni antisismiche dei sistemi strutturali dalle versioni non antisismiche, compresi gli stati "prima" e "dopo" dei comuni retrofit sismici e tra sistemi "duttili e non duttili".

2. *Osservabile.*

Due individui che esaminano lo stesso sistema strutturale sul campo o utilizzano dati ottenuti dal campo dovrebbero assegnarlo indipendentemente allo stesso gruppo tassonomico basandosi esclusivamente sulla definizione testuale del gruppo tassonomico.

3. *Completa.*

La tassonomia deve includere tutte le caratteristiche ingegneristiche rilevanti per le prestazioni sismiche globali di una struttura edilizia. Come accennato in precedenza, si riconosce la necessità di tassonomie aggiuntive per catturare tutti gli aspetti delle prestazioni sismiche e delle perdite per un intero edificio, comprese le dimensioni dell'edificio e i componenti non strutturali. La tassonomia strutturale deve contenere attributi sufficienti per soddisfare le esigenze degli utenti finali di GEM.

4. *Semplice e pieghevole.*

La tassonomia dovrebbe avere il minor numero possibile di gruppi, pur continuando a soddisfare gli altri requisiti. È inoltre auspicabile definire combinazioni comuni e relative quantità di sistemi strutturali in modo che le funzioni di fragilità o vulnerabilità possano essere create aggregando le fragilità o vulnerabilità di componenti dettagliati, pur distinguendo, ad esempio, differenze di duttilità, alternative di progettazione o retrofit. Una tassonomia è giudicata pieghevole se i gruppi tassonomici possono essere combinati e le combinazioni risultanti distinguono ancora le differenze nelle prestazioni sismiche.

5. *Quasi esaustivo.*

Entro limiti pratici, quasi ogni sistema strutturale può essere sensatamente assegnato a un gruppo tassonomico.

6. *Familiarità con professionisti dell'ingegneria e architetti.*

È auspicabile che ingegneri e architetti abbiano familiarità con il sistema tassonomico, in particolare per identificare prontamente e accuratamente gli attributi strutturali. Se il nuovo sistema tassonomico corrisponde facilmente a un sistema tassonomico esistente, può fornire agli utenti l'accesso ai dati esistenti. Ingegneri e architetti dovrebbero avere familiarità con la nomenclatura da definire per evitare ambiguità.

7. *Tratta i non-edifici.*

Le forme costruite diverse dagli edifici dovranno essere incluse nella tassonomia in futuro. Questi includono strutture come dighe, ponti e gallerie.

8. *Estendibile ad altri pericoli.*

È improbabile che il modello GEM includa altri pericoli naturali come inondazioni, uragani ed eruzioni vulcaniche, tuttavia modelli simili potrebbero essere sviluppati da altre comunità riguardo a questi pericoli.

9. *Facile da usare.*

La tassonomia dovrebbe essere semplice, intuitiva e il più facile da usare possibile da parte di coloro che raccolgono i dati, di coloro che ne organizzano l'analisi e degli utenti finali.

10. *Ambito internazionale.*

Per quanto possibile, la tassonomia dovrebbe essere appropriata per qualsiasi regione del mondo. Non dovrebbe favorire nessuna regione, ma essere tecnicamente e culturalmente accettabile per tutte le regioni.

La tabella sotto riportata (*Tabella 7*) mostra la misura in cui ciascuna delle tassonomie esaminate soddisfa i criteri di cui sopra. Il valore di questo confronto è identificare la tassonomia con il maggior potenziale di sviluppo per soddisfare i requisiti GEM. Se si utilizza un semplice sistema di punteggio la tassonomia SYNER-G emerge come quella con il maggior potenziale commentato.

	1. Differentiates seismic performance	2. Observable	3. Complete	4. Simple and collapsible	5. Nearly exhaustive	6. Familiar	7. Treats non-buildings	8. Extensible to other hazards	9. User-friendly	10. International in scope	Score	Comments
ATC-13	s	s	s	s	u	t	t	u	t	u	10	California-focused
FEMA 154 (ATC-21)	s	s	u	s	u	t	u	u	t	u	7	For US construction
EMS-98	s	s	u	s	u	t	u	u	t	t	9	Too broad
WHE	s	s	t	s	t	t	u	u	t	t	13	More than structural
Coburn & Spence	s	s	s	t	t	t	u	u	t	t	13	Both engineered and non-engineered buildings
HAZUS	t	s	s	s	u	t	u	t	t	u	11	For US construction
Gunel and Ilgin	s	s	s	s	u	s	u	u	t	u	7	Tall buildings only
CEQID	t	s	s	s	s	t	u	u	s	t	11	EQ damage database
PAGER -STR	t	s	t	t	t	t	u	u	t	t	15	Most comprehensive to date
SYNER-G	t	s	t	t	t	s	t	s	t	t	17	Best potential

Notes: t = true (2 points), s = somewhat true (1 point) and u = untrue (0 points)

Tabella 7 - Confronti di varie tassonomie strutturali con criteri dichiarati.

ATC-13 [ATC, 1985]

- Uno sforzo pionieristico per sviluppare uno schema di classificazione delle strutture per la California, compresa la classificazione ingegneristica e la classificazione delle funzioni sociali.
- Le caratteristiche ingegneristiche chiave considerate nello sviluppo della classificazione includono materiale da costruzione, condizioni del suolo, fondamenta, altezza, sistema di intelaiatura strutturale, configurazione, continuità strutturale, qualità del progetto e della costruzione, età e vicinanza ad altre strutture.
- La classificazione ingegneristica contiene 78 classi di strutture, di cui 40 edifici e 38 altri tipi di strutture (ponti, serbatoi di stoccaggio, torri, ecc.); 11 categorie di strutture contengono due o tre intervalli di altezza. Sarebbe vantaggioso sganciare l'altezza dalla tassonomia strutturale.
- Non pieghevole.

- Utilizza uno schema di etichettatura composto da lettere e simboli (barra "/" e trattino "-") per identificare la struttura
- classi
- Assunzioni incentrate sulla California e integrate che spesso non sono valide né rilevanti a livello internazionale (simile a HAZUS).

FEMA 154 [FEMA, 1988]

- Uno dei vantaggi di FEMA 154 è la sua semplicità, costituita da soli 15 tipi di struttura. Tuttavia, lo svantaggio è che la maggior parte delle definizioni dei tipi di struttura è troppo ampia. Ad esempio, esistono solo 2 classi per edifici in legno, 5 classi per edifici in acciaio, 3 classi per cemento armato, 2 classi per prefabbricati in calcestruzzo e 3 classi per edifici in muratura.
- La maggior parte delle classi riguarda solo il sistema strutturale verticale - il tipo di diaframma (rigido/flessibile) è stato considerato solo per gli edifici in muratura armata.
- La descrizione delle classi strutturali è molto dettagliata e include illustrazioni dei sistemi strutturali e dei loro componenti, il che è molto utile per i rilievi dei marciapiedi degli edifici.
- Incentrato sugli Stati Uniti.

EMS-98 [Grünthal, 1998]

- Uno dei vantaggi di EMS-98 è la sua semplicità, costituita da soli 15 tipi di struttura. Tuttavia, lo svantaggio è che la maggior parte delle definizioni dei tipi di struttura è troppo ampia.
- Si possono distinguere solo variazioni nelle prestazioni sismiche di telai e pareti in ca. Sono definiti come "senza progettazione antisismica", "con livello moderato di progettazione antisismica" e "con elevato livello di progettazione antisismica".
- Tutte le strutture in acciaio e legno rientrano in un unico tipo che non offre l'opportunità di distinguere, ad esempio, tra strutture in acciaio duttile e non duttile.

World Housing Encyclopedia

- Il database della World Housing Encyclopedia (WHE) raccoglie informazioni strutturali su un edificio e anche aspetti architettonici, socio-economici, di vulnerabilità, costruzione, assicurazione e rafforzamento.
- È possibile selezionare informazioni strutturali dettagliate tra 14 tipi di costruzione di case e 45 sottotipi. I sistemi resistenti alla gravità e ai carichi laterali possono essere assegnati indipendentemente a un edificio.
- Sono disponibili 20 opzioni per solai e tetti e 18 per le fondazioni.
- Alcuni tipi strutturali senza caratteristiche di resistenza sismica, come i telai in ca, sono dettagliati ma altri come le pareti di taglio e i telai controventati non lo sono, quindi c'è una certa mancanza di rigore. Inoltre, come progettato, non è pieghevole.
- Molte informazioni vengono immesse in modo descrittivo anziché tramite elenchi di selezione.
- Una caratteristica molto interessante è che contiene fotografie di ogni tipo di edificio.
- Contiene molte informazioni non strutturali relative alle prestazioni sismiche.

Coburn e Spence [2002]

- Diviso in edifici non ingegnerizzati e ingegnerizzati. Quindi non è chiaro dove cadono gli edifici pre-ingegnerizzati (vedere la Sezione 2.5 per una descrizione degli edifici pre-ingegnerizzati).
- I tipi di edifici sono elencati a partire dal più vulnerabile fino al meno vulnerabile.
- Molti parametri di vulnerabilità, oltre alla classificazione strutturale principale e al tipo di edificio, sono elencati, ma non sono inclusi nella classificazione.

HAZUS [FEMA, 2003]

- I tipi di edificio si basano sul sistema di classificazione di FEMA 178 (FEMA 1992) e le classi sono suddivise in intervalli di altezza.
- Contiene 36 categorie strutturali in totale, di cui 9 con tre gamme di altezza tra cui scegliere (low-rise, mid-rise e high-rise). Sarebbe vantaggioso sganciare l'altezza dalla tassonomia strutturale e catturarla in una tassonomia generale degli edifici.

- Relativamente semplice ma non progettato per essere pieghevole.
- I presupposti focalizzati sugli USA e incorporati spesso non sono validi a livello internazionale. Per esempio, i presupposti fatti di forze concrete e capacità di duttilità si basano sulle condizioni degli Stati Uniti.
- Mancano alcuni materiali e tecnologie di costruzione, ad es. costruzione di terra o pietra.
- L'estensione della tassonomia per includere, ad esempio, aspetti di configurazione e ipotesi rivelatrici come il grado di duttilità ecc. richiederebbe molti più tipi strutturali, rendendo la tassonomia molto ingombrante.

Gunel e Ilgin [2007]

- Solo per grattacieli moderni
- Sei sistemi strutturali formano il sistema di classificazione di cui cinque non sono inclusi in nessun'altra tassonomia.
- Solo tre materiali, compresa la costruzione composita (RC + acciaio)

PAGER-STR [Jaiswal e Wald, 2008]

- La tassonomia più completa sviluppata fino ad oggi.
- Cattura la maggior parte degli aspetti strutturali chiave che influiscono sulle prestazioni sismiche, ma ne mancano alcuni. Ad esempio, fattori come la resistenza del calcestruzzo, la fornitura di dettagli duttili e le irregolarità della configurazione sono molto importanti nella previsione del comportamento sismico. In una certa misura, il modo in cui distingue tra telai duttili e non duttili tiene conto in modo generico dei fattori di cui sopra.
- Semplice e pieghevole.
- Copertura internazionale. Contiene una vasta gamma di tipi strutturali che si trovano al di fuori dei paesi più sviluppati.
- Difficoltà nell'estensione della tassonomia. Se è desiderabile essere più specifici sui problemi di duttilità e configurazione, il numero di possibili tipi strutturali aumenta rapidamente e la tassonomia diventa rapidamente ingombrante.
- I sistemi strutturali più moderni, come le strutture in calcestruzzo armato, sono suddivisi in tre altezze di costruzione; 1-3 piani, 4-7 piani e 8+ piani. Potrebbe essere possibile semplificare la tassonomia se l'altezza dell'edificio o il numero di piani fosse disaccoppiato dalla tassonomia strutturale.

SYNER-G (2011)

- Questa tassonomia è stata sviluppata per gli edifici europei.
- L'unica tassonomia esaminata non gerarchica. Consiste di quindici sfaccettature o elenchi di categorie. Il numero di sfaccettature dovrà essere aumentato per catturare tutte le vulnerabilità e altri dati richiesti da GEM, ma questo può essere facilmente ottenuto.
- La struttura esistente della banca dati trarrebbe vantaggio da una certa riorganizzazione.
- Ha il potenziale per trattare i non edifici a causa del modo in cui è strutturato.
- La tassonomia con il potenziale per il maggior grado di completezza e la massima flessibilità.

CEQID [Lee, Pomonis, So e Spence, 2011]

- Il Cambridge Earthquake Impact Database (CEQID) che contiene dati sui danni provenienti da più di 70 studi che coprono più di 600 località in 53 terremoti avvenuti nel XX secolo, ha accumulato quasi 300 classi di edifici nel suo sistema.
- Le descrizioni delle classi di edifici nel CEQID includono i seguenti parametri:
 - i) materiale da costruzione principale (ad es. adobe, mattoni, cemento armato);
 - ii) sistema strutturale (es. telaio momento resistente in acciaio, parete di taglio);dettagli di attributi secondari (es. muri, pavimenti, tetti); età o riferimento all'età (ad es. 1941-56, pre-1941, post-1976, pre-codice, codice moderno); altezza (es. da 2 a 3 piani, da 4 a 10 piani) e tipo di occupazione (es. rurale, residenziale).
- In tutte le regioni, l'attuale classificazione degli edifici in CEQID presenta tre tipi di incongruenze: nel formato dell'etichetta della classe dell'edificio o nel modo in cui i componenti del descrittore sono abbreviati; tra le descrizioni delle classi di edifici e le etichette delle classi di edifici; e nel modo in cui sono delimitati i componenti del descrittore.

Diversi sistemi di classificazione strutturale rilevanti sono stati valutati per la loro idoneità per il progetto GEM. La tassonomia SYNER-G è considerata la più appropriata data la sua inclusione di tutte le caratteristiche che GEM richiede.

3.4 Tassonomie di altri campi

Questa sezione esamina le tassonomie esistenti da altri campi (non correlati ai terremoti) che sono considerati rilevanti per la tassonomia degli edifici GEM. Questa recensione non è esaustiva ed è limitata a tassonomie selezionate del settore assicurativo, dell'edilizia e dell'architettura.

3.4.1 Settore assicurativo

Le industrie assicurative di alcuni paesi hanno anche sviluppato le proprie tassonomie ai fini della valutazione dei premi assicurativi. Il California Earthquake Zoning and Probable Maximum Loss Evaluation Program è un esempio più recente della California [Garamendi, 2003; CEZ, 2003]. La tassonomia è stata sviluppata per il settore assicurativo californiano con un'enfasi sulle prestazioni antincendio ed è focalizzata sui tipi di costruzione statunitensi e non fornisce alcuna differenziazione tra gravità e sistemi di resistenza al carico laterale. Un sistema più avanzato è lo standard di dati ACORD V1, che viene discusso in dettaglio.

ACORD (Association for Cooperative Operations Research and Development) è lo sviluppatore di standard senza scopo di lucro del settore assicurativo e una risorsa per la tecnologia dell'informazione e il commercio elettronico negli Stati Uniti e all'estero, esemplificato soprattutto dalla pubblicazione e dal mantenimento di una vasta libreria di moduli standardizzati per lo scambio di dati del settore assicurativo. La maggior parte dei reclami negli Stati Uniti e in altri paesi sono registrati o trasmessi su moduli ACORD. Questa recensione è incentrata sullo standard di dati V1 di ACORD. Le caratteristiche principali dello standard di dati ACORD V1 sono riassunte nella *Tabella 8*.

Caratteristiche principali

- È un nuovo standard (non ha una cronologia utente precedente).
- Lo standard risponde alle esigenze del settore assicurativo e contiene classi di attività.
- Lo standard cerca di rispondere alle esigenze degli utenti non tecnici e alla bassa granularità dei dati che il settore assicurativo è in grado di acquisire; le informazioni raccolte dal settore assicurativo non sono dettagliate e sono incoerenti.

- L'approccio adottato nello sviluppo dello standard è pragmatico e l'obiettivo è che lo standard sia implementabile. È difficile per il settore assicurativo acquisire dati come le informazioni sul tetto (possibile per una frazione molto piccola di voci, dell'ordine dello 0,5%).
- L'obiettivo è sostituire i molti singoli fogli EXCEL in uso con un modulo comune o un approccio XML, ma NON sostituire i formati di dati standardizzati dettagliati e usati frequentemente.
- I codici della tassonomia sono intuitivi: ad esempio, RESGEN999 indica la costruzione RESidential GENeral e "999" indica "Non specificato".
- È inclusa una categoria "non specificata" per descrivere le voci a bassa granularità (elevata incertezza).

Nello standard sono incluse le definizioni (glossario) per diversi parametri come disastri (pericoli), occupazione e tipo di struttura.

Parameter	Total number of classes	Minimum/collapsed number	Comments
Construction codes (structure types)	19 <ul style="list-style-type: none"> • Wood (1) • Masonry (5) • Concrete (5) • Steel (3) • Mobile home (3) • Glass (1) 	6 <ul style="list-style-type: none"> • Masonry unspecified • Concrete unspecified • Steel unspecified • Mobile home unspecified • 6. Glass (greenhouse) 	<ul style="list-style-type: none"> • The classification is somewhat rough - for example, unreinforced masonry includes stone, brick and block masonry; • Each class is accompanied by a text description; some descriptions may not be sufficient for non-technical users (for example, difference between precast and cast-in-situ concrete construction)
Occupancy	346 <ul style="list-style-type: none"> • Residential (11) • Commercial (43) • Industrial (257) • Agriculture (12) • Marine, aviation and transport (5) • Motor (2) • Infrastructure (16) 	7 <ul style="list-style-type: none"> • Residential (RES) • Commercial (COM) • Industrial (IND) • Agriculture (AGR) • Marine, aviation and transport (MAT) • Motor (MO) • Infrastructure (INF) 	<ul style="list-style-type: none"> • A very detailed list of asset classes • Text description is very brief because the categories are expected to be self-explanatory
Hazard Zone Scheme Codes	6	-	Includes two US-based codes (FEMA and State of California), one UK-based code (Pool Re), Czech Republic, Austria and Germany
Peril codes	59	11 <ul style="list-style-type: none"> • Earthquakes (EQ) • Tropical Cyclone (TC) • Flood (FL) • Storm (ST) • Volcanic Eruption (VO) • Extreme Weather (EW) • Earth Movement (EM) • Terror (TE); Fire (FI); Social Risk (SR) 	Includes a comprehensive list of natural and man-made perils (disasters)

Tabella 8 - Riepilogo tassonomia ACORD.

3.4.2 Industria di costruzioni

Diversi sistemi di classificazione sono stati sviluppati per l'industria delle costruzioni in Nord America, tra cui MasterFormat, UniFormat e OmniClass. MasterFormat™ è stato inizialmente pubblicato nel 1963 e fornisce un elenco principale di numeri e titoli classificati in base ai risultati del lavoro come parte di una specifica di costruzione. UNIFORMAT™ (pubblicato per la prima volta nel 1998) fornisce un metodo standard per organizzare le informazioni di costruzione, organizzate attorno alle parti fisiche di una struttura chiamate sistemi e assiemi. OmniClass, il più recente e completo sistema di classificazione delle costruzioni nordamericano, attinge da MasterFormat™ per i risultati del lavoro, UNIFORMAT™ per gli elementi e Electronic Product Information Cooperation (EPIC) per i prodotti. La classificazione unificata per l'industria delle costruzioni (UNICLASS), un sistema di classificazione sfaccettato progettato utilizzando gli standard ISO come eredità, è l'equivalente britannico di OmniClass. Questa sezione fornisce una panoramica dei sistemi di classificazione UniFormat e OmniClass.

UNIFORMAT

Durante gli anni '90 l'Istituto nazionale degli standard e della tecnologia degli Stati Uniti ha sviluppato UNIFORMAT II [Charette e Marshall, 1999], uno standard per la classificazione degli elementi degli edifici per le specifiche, la stima e l'analisi dei costi negli Stati Uniti e in Canada. Gli elementi sono componenti principali comuni alla maggior parte degli edifici, che sono riassunti (e confrontati con i sistemi di molti altri paesi) nella Tabella X.

OmniClass [2006]

Il sistema di classificazione delle costruzioni OmniClass (OmniClass) fornisce una base standardizzata per la classificazione delle informazioni create e utilizzate dall'industria architettonica, ingegneristica e delle costruzioni nordamericana. Il suo sviluppo è iniziato nel 2000 e la prima versione è stata rilasciata nel 2006, seguita da diversi aggiornamenti successivi. Lo sviluppo è stato sponsorizzato congiuntamente da Construction Specifications Canada e dal Construction Specifications Institute con sede negli Stati Uniti.

OmniClass è composto da 15 tabelle gerarchiche, ognuna delle quali rappresenta un diverso aspetto delle informazioni di costruzione. Ogni tabella può essere utilizzata

indipendentemente per classificare un particolare tipo di informazione; in alternativa, voci di tabelle diverse possono essere combinate per classificare argomenti più complessi. OmniClass può essere utilizzato per una varietà di applicazioni, dall'organizzazione di materiali di biblioteca, documentazione sui prodotti e informazioni sui progetti, alla fornitura di una struttura di classificazione per i database elettronici. È stato utilizzato nell'area del Building Information Modeling (BIM) ed è stato incorporato nel software REVIT di Autodesk. Gli aspetti chiave che compongono il sistema OmniClass di pertinenza per la tassonomia degli edifici GEM sono riassunti nella *Tabella 9*.

Caratteristiche principali

- Uno standard relativamente nuovo (versione iniziale rilasciata nel 2006).
- Una classificazione molto dettagliata (granulare) per ogni sfaccettatura (ogni tabella rappresenta una sfaccettatura), tuttavia mancano le sfaccettature critiche per la vulnerabilità sismica delle strutture edilizie e le relative perdite (es. sistema strutturale, tipo di solaio/tetto).
- Incentrato sulla terminologia e sulla pratica nordamericana, tuttavia nel suo sviluppo sono stati utilizzati gli standard britannici e internazionali; compatibile con le classificazioni e gli standard internazionali appropriati (es. standard ISO).
- Uno standard aperto ed estensibile; sviluppato e aggiornato con la partecipazione dell'industria - l'industria nel suo insieme governa lo sviluppo e la diffusione dello standard.

Concetto OmniClass e modello dati ritenuto rilevante per la tassonomia degli edifici GEM.

UNIFORMAT General Services Administration (GSA)	CANADIAN INSTITUTE OF QUANTITY SURVEYORS (CIQS)	THE ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS (RICS-UK)	CONSTRUCTION ECONOMICS EUROPEAN COMMITTEE (CEEC)
01 FOUNDATIONS 011 Standard foundations 012 Special foundations	A1 SUBSTRUCTURE A11 Foundations A12 Basement excavation	1.0 SUBSTRUCTURE 2.0 SUPERSTRUCTURE	(1) SUBSTRUCTURE SUPERSTRUCTURE
02 SUBSTRUCTURE 021 Slab on grade 022 Basement excavation 023 Basement walls	A2 STRUCTURE A21 Lowest floor construction A22 Upper floor construction A23 Roof construction	2.1 Frame 2.2 Upper floors 2.3 Roof 2.4 Stairs 2.5 External walls	(2) Frame (3) External walls (4) Internal walls (5) Floors (6) Roofs
03 SUPERSTRUCTURE 031 Floor construction 032 Roof construction 033 Stair construction	A3 EXTERIOR ENCLOSURE A31 Walls below grade A32 Walls above grade A33 Windows & entrances A34 Roof covering A35 Projections	2.6 Windows and exterior doors 2.7 Interior walls & interior partitions 2.8 Interior doors	(7) Stairs (8) Windows & external doors (9) Internal doors
04 EXTERIOR CLOSURE 041 Exterior walls 042 Exterior doors & windows	B1 PARTITIONS & DOORS B11 Partitions B12 Doors	3.0 INTERNAL FINISHES 3.1 Wall finishes 3.2 Floor finishes 3.3 Ceiling finishes	FINISHES (10) Internal wall finishes (11) External wall finishes (12) Floor finishes (13) Ceiling finishes
05 ROOFING 06 INTERIOR CONSTRUCTION 061 Partitions 062 Interior finishes 063 Specialties	B2 FINISHES B21 Floor finishes B22 Ceiling finishes B23 Wall finishes	4.0 FITTINGS AND FURNITURE 4.1 Fittings and furnishings	(14) EQUIPMENT AND FURNISHINGS SERVICES
07 CONVEYING SYSTEMS 08 MECHANICAL 081 Plumbing 082 HVAC 083 Fire Protection 084 Special mechanical systems	B3 FITTINGS & EQUIPMENT B31 Fittings & equipment B32 Equipment B33 Conveying systems	5.0 SERVICES 5.1 Sanitary appliances 5.2 Services equipment 5.3 Disposal installations 5.4 Water installations 5.5 Heat source 5.6 Space heating & air treatment 5.7 Ventilation systems 5.8 Electrical installation 5.9 Gas installation 5.10 Life & conveyor installation 5.11 Protective installations 5.12 Communication installations 5.13 Special installations 5.14 Builders work in connection with services 5.15 Builders profit & attendance on services	(15) Plumbing (16) Heating (17) Ventilating & air-conditioning (18) Internal drainage (19) Electrics (20) Communication (21) Lifts, escalators, etc. (22) Protective installations (23) Miscellaneous services inst
09 ELECTRICAL 091 Distribution 092 Lighting & power 093 Special electrical systems	C1 MECHANICAL C11 Plumbing & drainage C12 Fire protection C13 HVAC C14 Controls	6.0 EXTERNAL WORKS 6.1 Site works 6.2 Drainage 6.3 External services 6.4 Minor building work	EXTERNAL SITE WORKS (24) Site preparation (25) Site enclosure (26) Site fittings (27) Site services (28) Site Buildings (29) Hard and soft landscaping
10 GENERAL CONDITIONS & PROFIT 11 EQUIPMENT 111 Fixed & moveable equipment 112 Furnishings 113 Special construction	C2 ELECTRICAL C21 Services & distribution C22 Lighting, devices & heating C23 Systems & ancillaries		(30) PRELIMINARIES
12 SITE WORK 121 Site preparation 122 Sit improvements 123 Site utilities 124 Off-Site work	D1 SITE WORK D11 Site development D12 Mechanical site services D13 Electrical site services D2 ANCILLARY WORK D21 Demolition D22 Alterations		

Source: Bowen, B. and Charette, R.P., "Elemental Cost Classification Standard for Building Design," 1991 American Association of Cost Engineers (AACE) Transactions, Seattle, Washington, 1991, p. H2-1 to H2-5.

Tabella 9 - Classificazione degli elementi UNIFORMAT II.

OmniClass Data Model

- Ogni numero di tabella designato da una coppia di cifre (es. 11, 12).
- C'è una profondità crescente relativa al livello di classificazione da sinistra a destra.
- È possibile aggiungere ulteriori coppie di cifre per rappresentare ogni ulteriore livello di classificazione.
- Il segno più "+" indica l'intersezione concettuale di due o più soggetti costruttivi. Ad esempio, un "edificio residenziale a molti piani" può essere rappresentato come l'intersezione delle voci di costruzione "Edificio indipendente a più piani" e "Residenza multifamiliare di grandi complessi", ovvero 11-16 21 21 + 12- 11 17 11.
- Il segno barra "/" viene utilizzato per indicare un'ampia gamma di classi consecutive all'interno di un'unica tabella applicabili alla classificazione di un oggetto. Ad esempio, i risultati del lavoro relativi alla costruzione meccanica ed elettrica sono mostrati come 22-21 00 00/22-28 46 29.
- I simboli di minore e maggiore di "<" e ">" vengono utilizzati per indicare che un oggetto di costruzione è parte di un altro. Ad esempio, 13-15 11 34 11 < 11-13 24 11
(uffici < ospedale).
- La notazione OmniClass è gerarchica; ciò significa che se non è richiesto il dettaglio completo delle voci presentate nelle tabelle OmniClass, le cifre di livello inferiore possono essere omesse e la classificazione può essere eseguita a un livello superiore (più ampio) nella gerarchia. Ad esempio, un oggetto potrebbe essere classificato a un livello più ampio utilizzando 11-13 invece di 11-13 27 11.

Un'illustrazione del modello di dati OmniClass è fornita nella *Figura 10*.

21-41 31 00 Superstructure and Enclosure		
21-41 31 11 Floor Construction		
21-41 31 11 11	Supported Basement Floors	
21-41 31 11 21	Structural Floors	
21-41 31 11 31	Vertical Shaft Structure	
21-41 31 11 41	Balconies	
21-41 31 11 51	Mezzanines	
21-41 31 11 61	Ramps	
21-41 31 13 Stairs and Ladders		
21-41 31 13 11	Stairs	
21-41 31 13 21	Landings	
21-41 31 13 31	Fire Escapes	
21-41 31 13 41	Ladders	
21-41 31 15 Conveying Systems		
21-41 31 15 11	Vertical Transportation	(Includes: Elevators and Wheel-Chair Lifts)
21-41 31 15 21	Horizontal Transportation	(Includes: Moving Walkways)
21-41 31 15 31	Sloped Transportation	(Includes: Escalators and Wheel-Chair Lifts)
21-41 31 15 41	Materials Handling Containers	
21-41 31 15 51	Turntables	
21-41 31 15 61	Operable Scaffolding	
21-41 31 17 Roof Construction		
21-41 31 17 11	Roof Framing	
21-41 31 17 21	Sloped Roof Framing	
21-41 31 17 31	Vaulted Roof Framing	
21-41 31 17 41	Canopy Framing	
21-41 31 17 51	Fabric Roof Framing	
21-41 31 17 61	Dome Framing	
21-41 31 17 71	Air Supported Framing	

Figura 10 - Un esempio di OmniClass -Elementi relativi al telaio strutturale [OmniClass, 2006]

3.4.3 Architettura

Esistono numerosi sistemi di classificazione in architettura, tuttavia questa sezione è limitata alla revisione della tassonomia dei GreatBuildings, che è rilevante per la tassonomia degli edifici GEM a causa della sua portata globale.

GreatBuildings

GreatBuildings è un database basato sul web di oltre 1.000 classici dell'architettura mondiale. Il database copre l'architettura di tutto il mondo e attraverso la storia e documenta mille edifici e centinaia di importanti architetti, con immagini fotografiche e disegni architettonici, mappe e linee temporali integrate, modelli di edifici 3D, commenti, bibliografie, collegamenti web, ecc. Il database è stato sviluppato nel 1997 dalla rivista Architecture Week con sede nel Regno Unito. Le caratteristiche principali del database GreatBuildings sono riassunte nella *Tabella 10*.

Parameter	Total number of classes	Comments
Building types (function)	34 Small houses, large houses, multi-family housing, etc.	The list includes non-buildings, e.g. bridges
Construction types	10 Bearing masonry, brick, concrete, curtain wall, fabric & tensile, geodesic, glass, light wood frame, steel, timber	<ul style="list-style-type: none"> • The classification includes materials and some structural systems • The classification is not very exhaustive
Architectural styles	32 Hindu, Islamic, vernacular, etc.	
World architecture time periods	14 1800s, 1900-1949, 1950-1975, etc.	The classification narrows down in the 20th century to 25 year period
American architecture time periods	1700s 1800s 1900-1909 etc.	The classification narrows down to 10 year period in 20th century
Climates	9 Desert, temperate, mild, cold, warm, hot	
Contexts	10 Urban, suburban, rural, hill or cliffside	

Tabella 10 - Riepilogo tassonomia GreatBuildings.

Una revisione delle tassonomie esistenti per le applicazioni legate ai terremoti e di altro tipo è stato un passo importante nello sviluppo della tassonomia degli edifici GEM. Una panoramica della storia delle classificazioni edilizie ha mostrato come e perché il concetto di tassonomia è emerso nel XVII secolo. Una revisione delle tassonomie strutturali/edilizie ha confermato l'esistenza di diverse tassonomie che sono state sviluppate in diversi paesi e per diverse parti interessate, tuttavia nessuna di esse soddisfa pienamente le esigenze degli utenti GEM. La tassonomia PAGER-STR è stata identificata come la più completa di tutte le tassonomie esaminate. Anche le tassonomie di altri campi (ad es. industria delle costruzioni, settore assicurativo) sono state considerate rilevanti per lo sviluppo della tassonomia degli edifici GEM. In particolare, la tassonomia OmniClass è risultata essere la più rilevante in termini di organizzazione e modello di dati.

3.5 Tassonomia degli edifici GEM v2.0: panoramica

3.5.1 Visione per la tassonomia degli edifici GEM

La visione del team GEM Building Taxonomy è creare una descrizione univoca (codice) per un edificio o una tipologia di edificio, qualcosa come un codice genetico (genoma), come mostrato nella *Figura 11*. Questo genoma dell'edificio è definito da diversi attributi. Ogni attributo corrisponde a una specifica caratteristica dell'edificio che ne influenza le prestazioni sismiche. Gli attributi tipici includono materiale, sistema di resistenza al carico laterale, altezza dell'edificio, ecc. Lo schema tassonomico proposto è flessibile e offre l'opportunità di aggiungere e/o modificare attributi a seconda del livello di dettaglio richiesto e delle nuove conoscenze acquisite attraverso il processo di raccolta dati; questo è un vantaggio rispetto ai modelli tassonomici alternativi considerando la portata globale dell'iniziativa GEM. Questa tassonomia è diversa dalla maggior parte delle tassonomie strutturali esistenti utilizzate per le valutazioni del rischio sismico ed è vista come la tassonomia di prossima generazione. Il modello di dati della tassonomia è in linea con i moderni approcci BIM (Building Information Modeling) e le tassonomie utilizzate nel settore delle costruzioni, ad es. OmniClass.

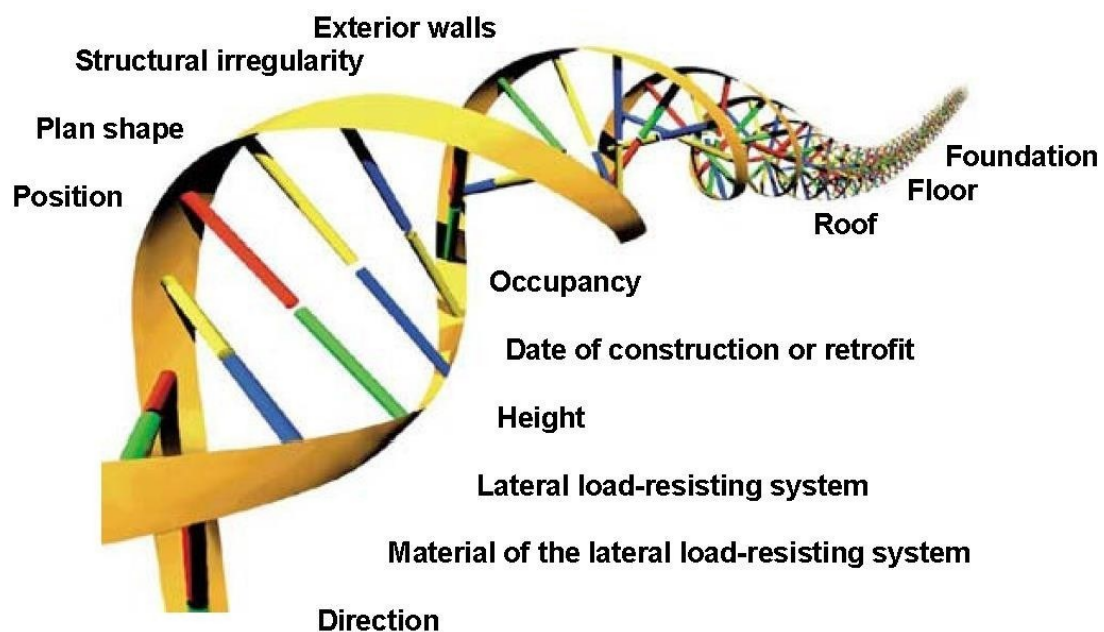


Figura 11 - Building genome

3.5.2 Attributi di costruzione

Una delle sfide associate allo sviluppo della tassonomia è la selezione degli attributi chiave necessari per descrivere le caratteristiche dell'edificio. Il numero richiesto di attributi o la profondità delle informazioni da acquisire per un edificio dipende dall'uso/applicazione specifico della tassonomia, dalle fonti di dati disponibili e dal tipo di raccolta dei dati. L'iniziale (versione Beta 0.1) della tassonomia aveva circa 60 attributi.

Una descrizione piuttosto completa di un edificio unico può essere generata quando tutti gli attributi sono popolati con dati. Tuttavia, tale tassonomia è stata percepita come troppo dettagliata per gli scopi previsti. La versione successiva (V1.0) aveva 8 attributi di base richiesti da tutti i componenti di GEM Risk:

1. materiale del sistema di resistenza al carico laterale;
2. sistema di resistenza al carico laterale;
3. tetto;
4. pavimento;
5. altezza;
6. data di costruzione;
7. irregolarità strutturale;
8. occupazione.

Cinque attributi aggiuntivi sono stati proposti come risultato dell'applicazione della tassonomia V1.0 dai ricercatori GEM: direzione, posizione dell'edificio all'interno di un blocco, forma del piano dell'edificio, pareti esterne e fondamenta.

La GEM Building Taxonomy v2.0 descrive quindi un edificio o una tipologia edilizia attraverso i seguenti 13 attributi che sono associati a specifiche caratteristiche edilizie che possono potenzialmente influenzare le prestazioni sismiche:

1. **Direzione**: questo attributo viene utilizzato per descrivere l'orientamento di edifici con diversi sistemi di resistenza ai carichi laterali in due direzioni orizzontali principali della pianta dell'edificio che sono perpendicolari l'una all'altra.
2. **Materiale del sistema di carico laterale**: ad es. "muratura" o "legno".
3. **Sistema di resistenza al carico laterale**: il sistema strutturale che fornisce resistenza alle forze sismiche orizzontali attraverso componenti strutturali verticali e orizzontali, ad es. "muro", "cornice del momento", etc.

4. **Altezza:** altezza dell'edificio dal suolo in termini di numero di piani (es. un edificio è alto 3 piani); questo attributo include anche informazioni sul numero di piani interrati (se presenti) e sulla pendenza del terreno.
5. **Data di costruzione o retrofit:** identifica l'anno in cui la costruzione dell'edificio è stata completata.
6. **Occupazione:** il tipo di attività (funzione) all'interno dell'edificio; è possibile descrivere una vasta gamma di occupazioni; ad esempio, le occupazioni residenziali includono abitazioni informali (baraccopoli) e condomini a molti piani.
7. **Posizione dell'edificio all'interno di un blocco:** la posizione di un edificio all'interno di un blocco di edifici (ad es. "edificio indipendente" non è collegato a nessun altro edificio).
8. **Forma del piano dell'edificio:** ad es. Forma a L, forma rettangolare, ecc.
9. **Irregolarità strutturale:** una caratteristica della disposizione strutturale di un edificio, come un piano significativamente più alto degli altri piani, una forma irregolare dell'edificio o un cambiamento del sistema strutturale o del materiale che produce una vulnerabilità nota durante un terremoto. Esempi: angolo rientrante, piano morbido, ecc. Prendendo atto del fatto che un edificio può presentare più irregolarità, l'utente è in grado di identificare irregolarità primarie e secondarie.
10. **Pareti esterne:** materiale delle pareti esterne (recinto dell'edificio), ad es. "muratura", "vetro", ecc.
11. **Tetto:** questo attributo descrive la forma del tetto, il materiale della copertura del tetto, il sistema strutturale che supporta la copertura del tetto e la connessione tetto-parete. Ad esempio, la forma del tetto può essere "inclinata con estremità a due falde", la copertura del tetto potrebbe essere "tegola" e il sistema del tetto può essere "struttura del tetto in legno con tamponamento o copertura leggera".
12. **Pavimento:** descrive il materiale del pavimento, il tipo di sistema di pavimento e il collegamento pavimento-parete. Ad esempio, il materiale del pavimento può essere "calcestruzzo" e il sistema del pavimento può essere "lastra di cemento armato senza travi gettata in opera".
13. **Sistema di fondazione:** quella parte della costruzione in cui la base dell'edificio incontra il terreno. La fondazione trasmette i carichi dall'edificio al terreno

sottostante. Ad esempio, una fondazione poco profonda supporta muri e colonne in un edificio per condizioni di terreno duro e deve essere fornita una fondazione profonda per edifici situati in aree di terreno soffice.

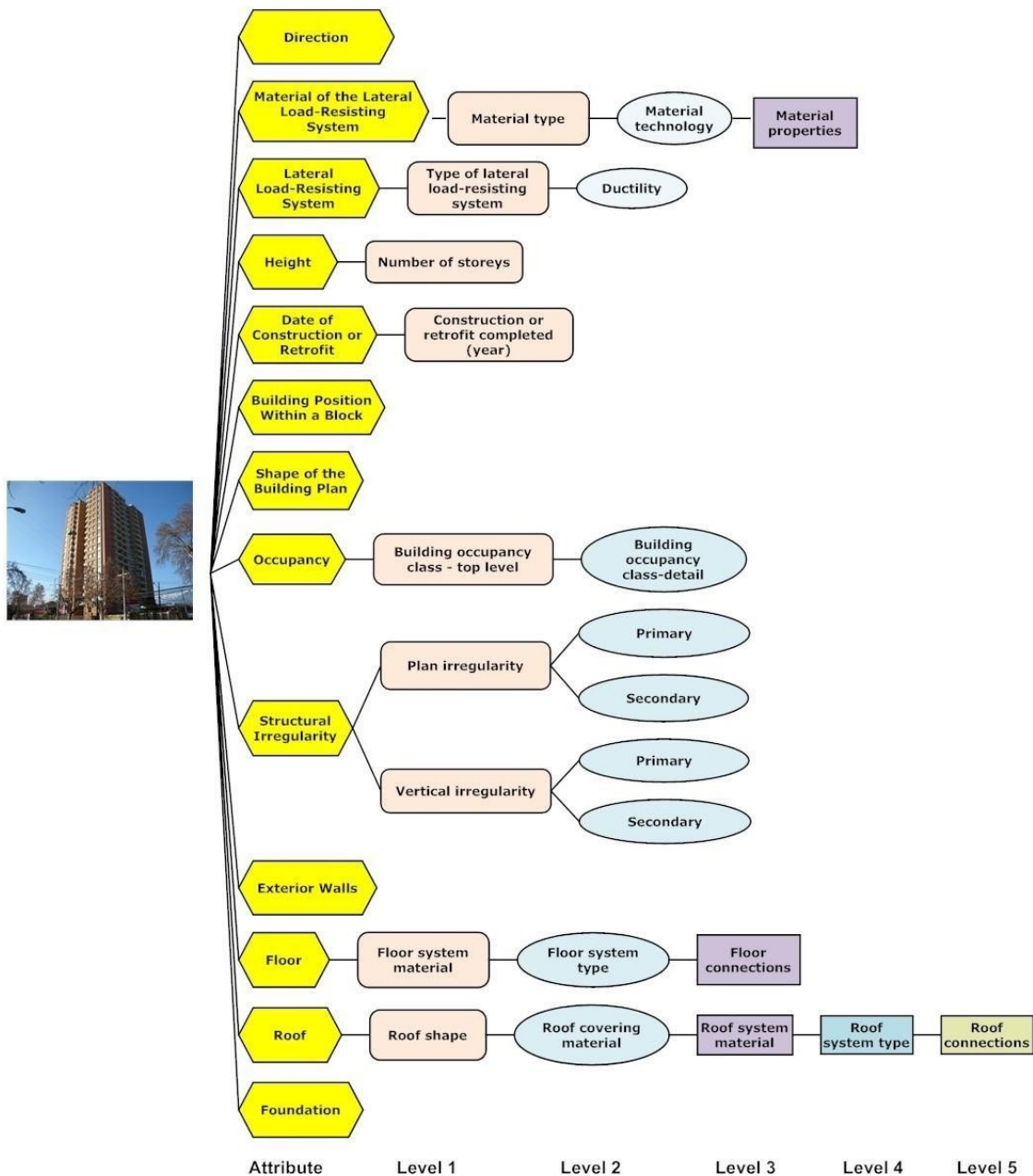


Figura 12 - GEM Building Taxonomy v2.0: attributi e livelli di dettaglio associati.

Dalla figura 12 sopra riportata notiamo che ogni singolo attributo può essere seguito da livelli che specificano le caratteristiche dell'edificio considerato.

La stringa rappresenta, quindi, una combinazione di ID, di seguito sono riassunte le regole chiave per la creazione di stringhe di tassonomia:

- Gli attributi devono essere inseriti nella stessa sequenza presentata nella Tabella G1 dell'Appendice A.
- Ciascun valore di attributo è definito da un identificatore (ID) e dalla descrizione testuale corrispondente (cfr. tabelle nell'appendice A).
- I valori degli attributi che richiedono un input numerico (altezza e data di costruzione) sono specificati da un ID di testo, dal segno di due punti “:” e da un numero (intero).
- Le voci con proprietà sconosciute sono etichettate con "99".
- Il segno barra "/" viene utilizzato per separare gli attributi.

Il segno più "+" viene utilizzato per includere i dettagli dell'attributo Livello 2, Livello 3, ecc. con l'attributo Livello 1.

3.6 OpenQuake

OpenQuake è un software open-source, creato dalla GEM (Global Earthquake Model), utilizzato per la valutazione della pericolosità e del rischio sismico.

La GEM nasce con l’obiettivo di unire scienziati ed organizzazioni regionali, nazionali e internazionali al fine di definire standard uniformi che permettano di calcolare e condividere i risultati e le analisi legati ad eventi sismici in tutto il mondo. La creazione di OpenQuake Engine permette un pieno accesso in modo tale che i risultati abbiano una validità e un’accuratezza sempre migliore e che possa essere ritenuta affidabile da chi utilizza la piattaforma. L’idea del progetto nasce nel 2009, ha come scopo la diffusione e il miglioramento della conoscenza sui terremoti, sul rischio e sulla sua gestione e mitigazione.

La prima versione viene rilasciata nel 2013, è basata sul linguaggio di programmazione Python che avendo una licenza open-source presenta un vasto insieme di librerie scientifiche e numeriche.

Il linguaggio Python è composto da tre componenti principali: OQ-Engine (OpenQuake Engine), la console in cui vengono eseguiti i calcoli; OQ-Platform (OpenQuake Platform), una piattaforma web in cui vengono condivisi e recuperati i dati relativi alla pericolosità e al rischio sismico e OQ- Tools (OpenQuake Tools), un insieme di codici e strumenti utili a preparare i modelli di input necessari per il calcolo (Risk Input Preparation Toolkit) e la visualizzazione dei risultati.

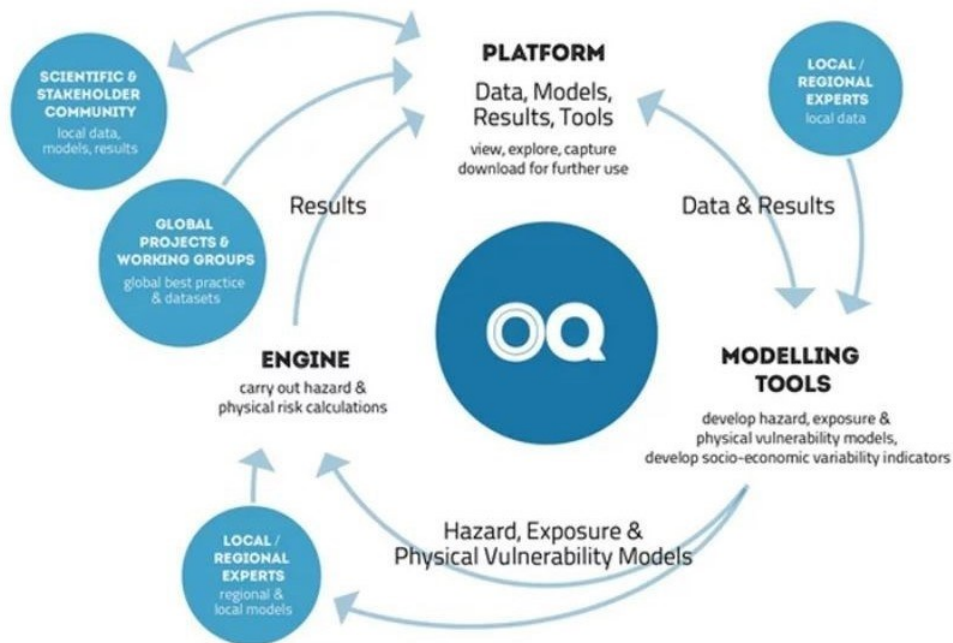


Figura 13 - Principali componenti di OpenQuake: OQ-Engine, OQ-Platform e OQ-Tools.

La piattaforma OpenQuake permette di scindere i dati dagli algoritmi, dividendo le informazioni in entrata e in uscita tramite uno schema XML personalizzato definito Natural Hazard Risk Markup Language (NRML). Il software, infatti, consente agli utenti di utilizzare i propri dati di input come, ad esempio, i modelli di fragilità, di vulnerabilità e di esposizione, il proprio rischio sismico ecc. Inoltre, esso è in grado di modellare l'incertezza epistemica e le variabili aleatorie tramite un albero logico (Logic tree), ciò permette al software di eseguire analisi di pericolosità e di rischio sismico basandosi su scenari ed eventi probabilistici. Il software permette di effettuare sei calcolatori di rischio: due che permettono di stimare le perdite e la distribuzione dei danni a causa di un singolo evento, altre tre che si concentrano sulle perdite a seguito di un'analisi sismica probabilistica e l'ultimo che valuta le perdite probabilistiche per valutare se gli interventi di ristrutturazione sarebbero economicamente redditizi. OpenQuake fornisce una banca dati molto ampia accessibile tramite la piattaforma online, al suo interno infatti sono condivisi i dati relativi alla pericolosità e al rischio sismico, set di eventi stocastici, campi di movimento del terreno, curve e mappe di pericolosità, grafici di disaggregazione e altri dati utili per poter sviluppare l'analisi richiesta dall'utente. Per la creazione del database sono stati analizzati molteplici testi presenti in letteratura riguardanti curve di capacità, funzioni di fragilità, di vulnerabilità e di danno.

Tali funzioni/curve hanno lo scopo comune di definire le prestazioni di un particolare bene come, ad esempio, un edificio o le prestazioni di una tipologia di bene come un insieme di edifici con stesse caratteristiche, soggetti all'azione sismica. È possibile effettuare le analisi utilizzando le funzioni presenti nel database o caricarne proprie.

3.6.1 Tipologie di analisi per la valutazione della pericolosità e del rischio sismico

La piattaforma OpenQuake permette di valutare la pericolosità sismica tramite diverse analisi che si basano su dati di input differenti. Per quanto concerne la valutazione della pericolosità, il software utilizza tre tipologie di analisi:

- Classical Probabilistic Seismic Hazard Analysis, questo tipo di analisi “*permette di calcolare le mappe e le curve di pericolosità tramite la classica procedura di integrazione formulata da Field, Jordan e C.A. nel 2003*”. I dati di input schematizzati in *Figura 15*, consistono in un modello di input PSHA il quale definisce un sistema di sorgenti sismiche e l'incertezza epistemica ad essi associata e un sistema GMPEs (*Ground Motion Prediction Equations*) che rappresenta l'insieme delle equazioni di previsione del movimento del suolo richieste per la modellazione di scuotimento del terreno. Tali dati vengono processati con l'utilizzo del *logic tree* che permette di estrarre un modello di sorgenti sismiche e una serie GMPEs, uno per ogni tipo di regione tettonica definito nel modello sorgente, da utilizzare per il calcolo. Il modello della sorgente sismica è un dato di input per il calcolo della previsione di rottura del terremoto, il quale permette di raccogliere le rotture per un'associata probabilità di occorrenza in un intervallo di tempo definito. L'insieme dei modelli di rottura e il modello GMPEs forniscono dati di input per valutare le curve di pericolosità.

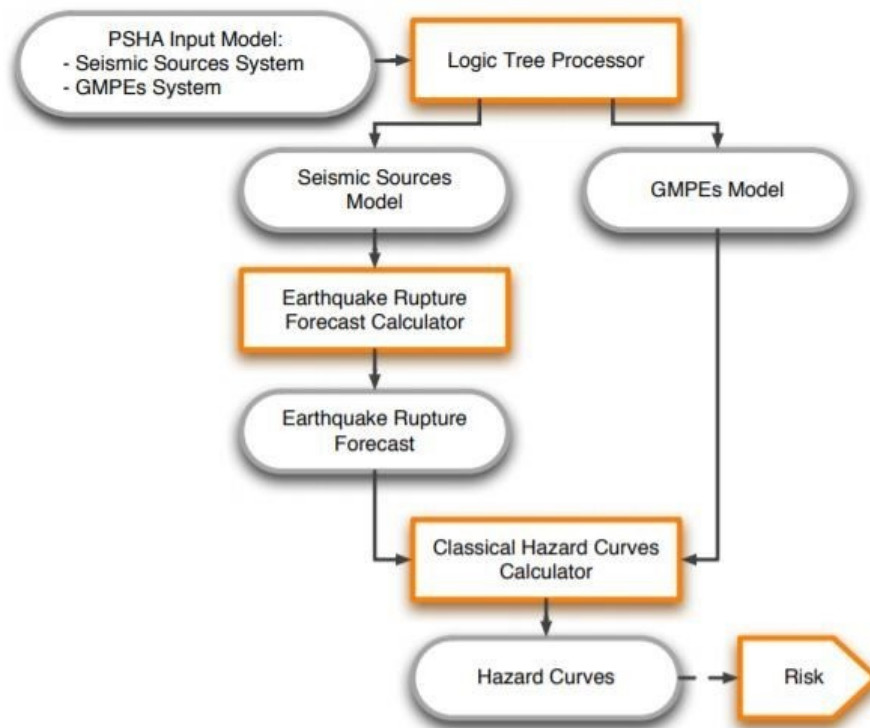


Figura 15 - Schema di lavoro della “Classical Probabilistic Seismic Hazard Analysis”.

- Event-Based Probabilistic Seismic Hazard Analysis, “consente di calcolare i movimenti del suolo considerando una serie di eventi stocastici” (GEM 2019), i dati di input per questo tipo di analisi è mostrato in Figura 16. I dati iniziali e i primi passi sono gli stessi effettuati nella Classical Probabilistic Seismic Hazard Analysis, dopo aver effettuato la previsione dei modelli di rottura esso risulta un dato di input per valutare la serie di eventi stocastici che campionano ogni rottura in base alla probabilità di occorrenza. Ogni evento viene poi utilizzato per calcolare un campo di movimento del terreno sui siti di interesse. Ognuno di essi è riportato nella distribuzione di movimento del terreno previsti dalla GMPEs.

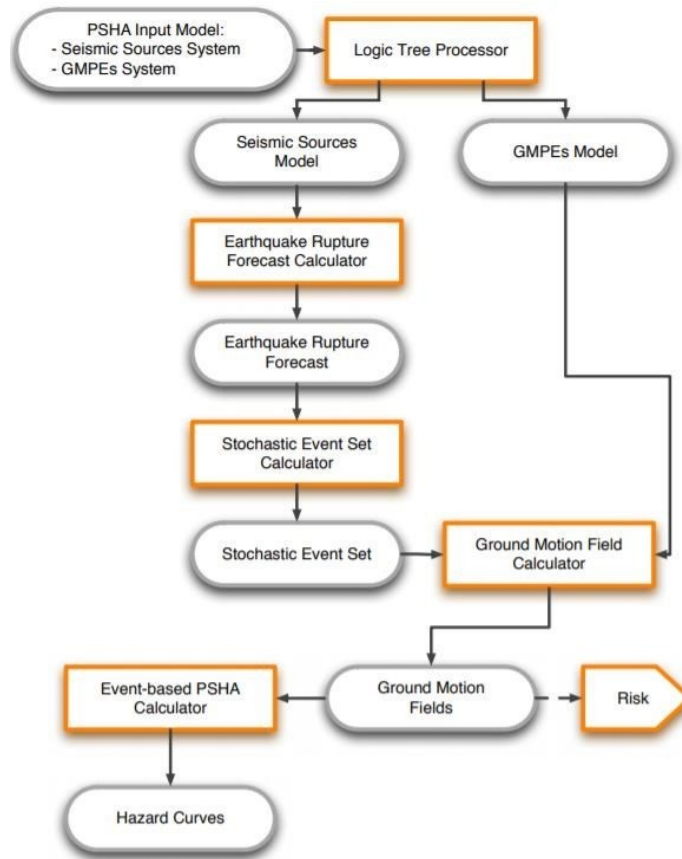


Figura 16 - Schema di lavoro del “Event-Based Probabilistic Seismic Hazard Analysis”.

- Scenario based Seismic Hazard Analysis, “permette il calcolo del movimento del suolo per un singolo scenario di rottura, tenendo in considerazione le variabili aleatorie riferite al movimento del terreno” (GEM 2019). Tale modello accetta come input un modello di scenario di rottura, costituito da un solo modello di rottura definito tramite la geometria e la magnitudo, e un solo GMPE (Figura 17).

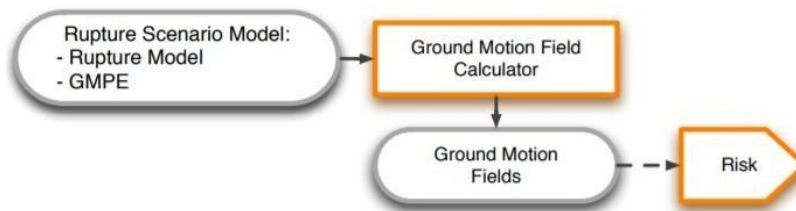


Figura 17 - Schema di lavoro dello “Scenario based Seismic Hazard Analysis”.

Per la valutazione del rischio, come si evince dagli schemi presenti i file di input da definire si basano sui modelli relativi al movimento del terreno calcolati con l’analisi di pericolosità. Le analisi che permettono di valutare il rischio sono riportate di seguito:

- Scenario Damage Assessment, “*permette di calcolare la distribuzione statistica del danno per tutti gli elementi presenti all’interno del modello di esposizione per un singolo scenario di rottura considerando le variabili epistemiche ed aleatorie del movimento del terreno*” (GEM 2019). Lo scenario di distribuzione del danno viene calcolato per ogni edificio e per ogni stato di danno tramite l’ausilio del modello di fragilità. La percentuale di danno di un edificio per ogni stato di danno viene calcolata basandosi sulla differenza della probabilità di eccedenza tra le curve consecutive di stato limite per un dato livello di intensità. Questo processo viene ripetuto per ogni campo di movimento del terreno in modo da ottenere una frazione per ogni stato di danno e per ogni edificio. Per ogni frazione e per ogni edificio l’output associa la media e la deviazione standard, moltiplicando il numero o l’area dell’edificio tramite la rispettiva frazione di ottiene la distribuzione di danno di ogni edificio (*Figura 18*).

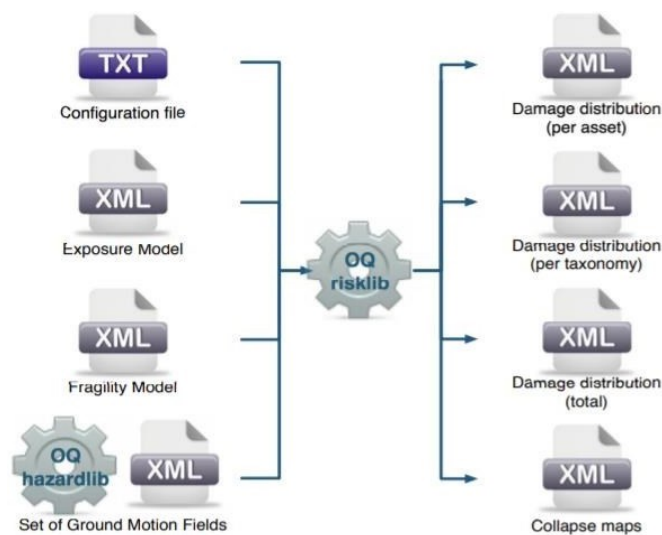


Figura 18 - Dati Input/Output Scenario Damage Assessment.

- Scenario Risk Assessment, “*permette di calcolare statisticamente le perdite economiche da un singolo scenario di rottura, tenendo conto della variabilità epistémica di movimento del suolo*” (GEM 2019). Le perdite statistiche includono la media e la deviazione standard per ogni tipo di perdita considerata nell’analisi. Le perdite possono essere valutate per i componenti strutturali, non strutturali, in termini di tempo, contenuti e considerando l’occupazione. Questa tipologia di analisi prevede in input la definizione del modello di vulnerabilità, di esposizione e un modello di rottura. Gli output generati forniscono le mappe delle perdite e le perdite statistiche (*Figura 19*).

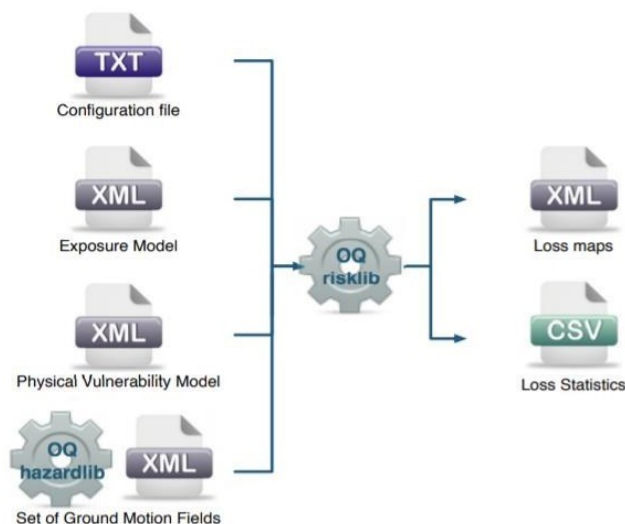


Figura 19 - Dati Input/Output Scenario Risk Assessment.

- Classical Probabilistic Seismic Damage Analysis, “calcola la probabilità che si verifichi un certo stato di danno per un dato periodo di tempo e le mappe di probabilità di collasso partendo dalle curve di pericolosità valutate seguendo la procedura classica di integrazione formulata da (Field, Jordan e C.A. 2003)” (GEM 2019). La distribuzione dei danni si ottiene integrando le funzioni di fragilità con la curva di pericolosità di un determinato bene. Prevede la definizione di un modello di esposizione, uno di fragilità con una funzione di fragilità per ogni tassonomia presente nel modello di esposizione e delle curve di pericolosità valutate per l’area di interesse (Figura 20).

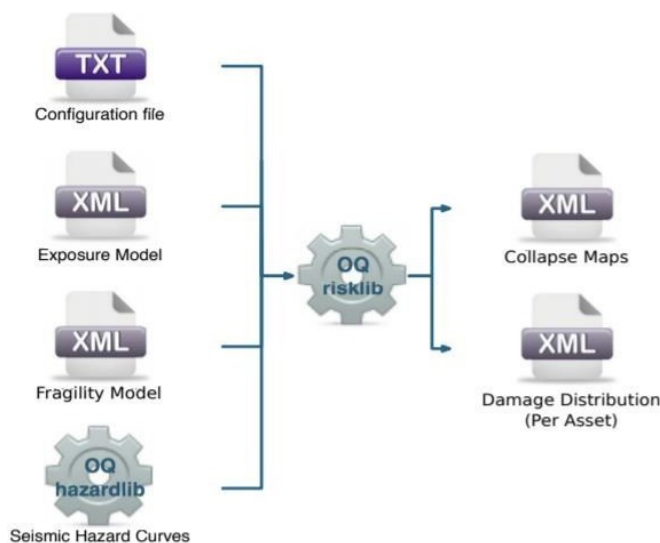


Figura 20 - Classical Probabilistic Seismic Damage Analysis.

- Classical Probabilistic Seismic Risk Analysis, “valuta le mappe e le curve di perdita partendo dalle curve di pericolosità valutate seguendo la procedura

classica di integrazione formulata da Field, Jordan e C.A. - 2003” (GEM 2019). La procedura di integrazione numerica fornisce la distribuzione delle perdite attraverso la convoluzione delle funzioni di vulnerabilità probabilistiche per un dato bene con le curve di rischio sismico nell’area dove si trova il bene in esame. Pertanto, è necessario definire un modello di esposizione, un modello di vulnerabilità e le curve del rischio sismico per l’area di interesse. I dati di input possono essere generati in riferimento alle perdite di tipo strutturale, non strutturale, dovute all’inattività, di contenuto e agli occupanti.

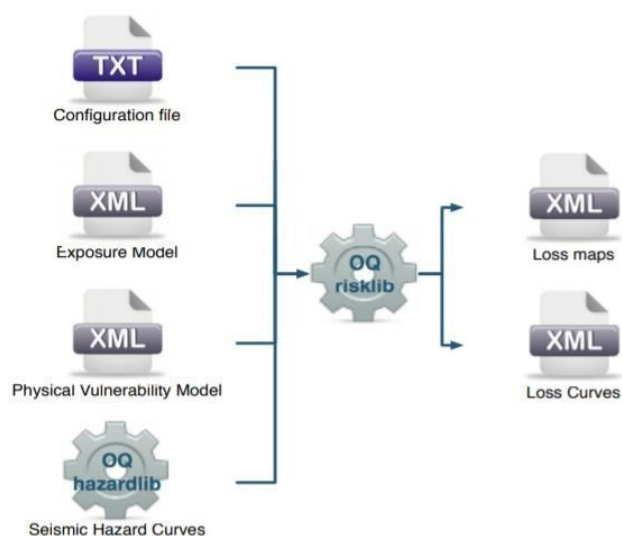


Figura 21 - Dati Input/Output Classical Probabilistic Seismic Risk Analysis.

- Retrofit Benefit-Cost Ratio Analysis, *“utile come strumento decisionale per stimare il valore di eventuali misure di rafforzamento o ristrutturazione su edifici esistenti e valutarne la fattibilità”*. (GEM 2019) (Figura 22).

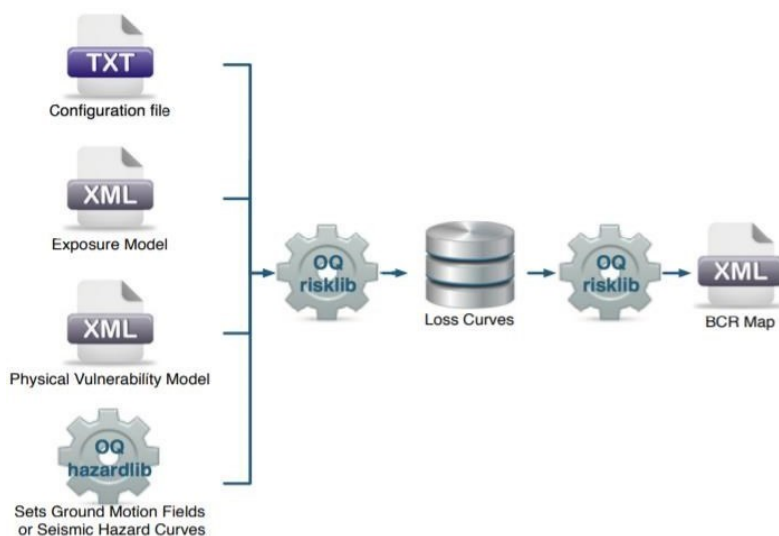


Figura 22 - Retrofit Benefit-Cost Ratio Analysis.

3.6.2 I modelli di input per l'analisi della pericolosità

Come definito nel *paragrafo 3.1*, la determinazione dei file di output prevede a monte la valutazione di elementi di input che possono essere generati tramite l'ausilio della piattaforma online di OpenQuake. Si descrivono di seguito i file necessari per l'analisi.

Seismic Source Model

Il Seismic Source Model rappresenta insieme al Seismic Source Logic Tree il Seismic Source System, fornisce informazioni in merito alla geometria, il luogo e l'attività degli eventi sismici descritti tramite distribuzione di frequenza e magnitudo. La definizione del modello della sorgente sismica è diversa a seconda del contesto tettonico. OpenQuake engine (OQ-engine) supporta cinque tipologie di sorgenti sismogenetiche:

- punto;
- area;
- faglia semplice;
- faglia complessa;
- faglia caratteristica.

L'evento sismico rappresentato come punto o come un'area viene utilizzato in una modellazione di distribuzione di sismicità che non comprende strutture di faglia attive ma nel primo caso considera una singola superficie e nel secondo una regione geografica più ampia. La faglia semplice e quella complessa permettono di modellare la sismicità che comprende strutture di faglie attive considerando diversi livelli di complessità nella geometria della faglia. In entrambi i casi la sismicità viene distribuita in modo uniforme lungo la superficie di faglia, con la restrizione che non può estendersi al di fuori della superficie definita. Infine, la faglia caratteristica è un tipo di faglia creata con l'assunzione per cui la sua rottura ricopra l'intera superficie di rottura (Pagani, Monelli, et al. 2014).

Logic Tree Model

Ogni modello di pericolosità comprende intrinsecamente una caratterizzazione delle incertezze epistemiche, attuabile con l'ausilio di un *logic tree*. OpenQuake engine presenta un frame work dove è possibile inserire i dati necessari alla realizzazione della struttura ad albero. Per la definizione della pericolosità sismica è necessario definire

due tipologie di *Logic Tree Model*, uno per la sorgente sismica e uno per il movimento del terreno.

Nel primo caso esso deve contenere almeno un livello di ramificazione che è quello utilizzato per definire il modello di input della sorgente sismica iniziale. È possibile inserire livelli di ramificazione opzionali che modificano i parametri della sorgente, infatti, il modello ad albero prende in considerazione le incertezze epistemiche relative alla geometria, la posizione e le proprietà degli eventi sismici in grado di generare un movimento del terreno nel sito oggetto d'esame.

Nel secondo caso il modello valuta le incertezze epistemiche relative al movimento del terreno, in particolare considera una lista di equazioni per ogni regione tettonica e che caratterizzano le fonti nel modello di input della pericolosità (GEM 2019).

Il *Logic Tree Model* (Figura 23), presenta tre componenti principali:

- *individual branch* (ramo individuale): il singolo elemento all'interno dell'albero fornisce un'interpretazione dei valori assegnati per uno specifico tipo di incertezza e viene descritto tramite un parametro o un peso;
- *branch set* (set di rami), identifica un insieme di "individual branch", la somma del peso dell'insieme dei singoli rami deve essere pari ad uno. Il suo obiettivo è quello di fornire le alternative interpretative di un modello. Ogni set viene caratterizzato tramite un ID ed un'incertezza. Il set di incertezze può essere utilizzato per l'intero modello o solo per un sottoinsieme;
- *branching level* (livello di ramificazione), identifica la posizione delle successive ramificazioni all'interno dell'"albero", ha lo scopo di mantenere una logica e un ordine all'interno della struttura e non modella le incertezze.

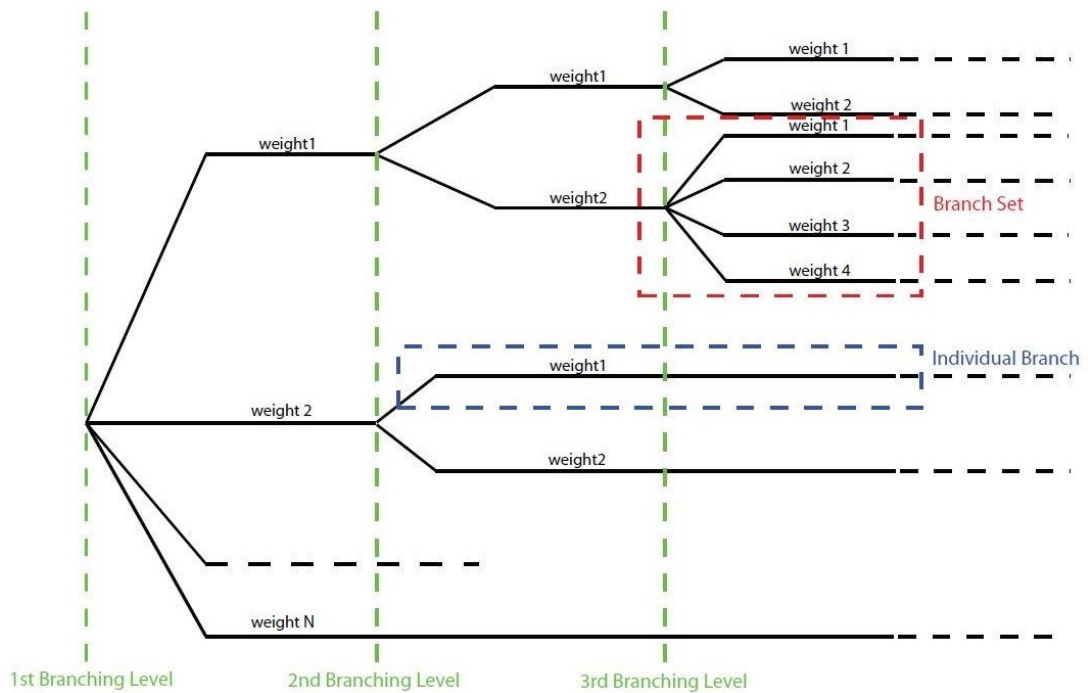


Figura 23 - Struttura del "Logic Tree Model" (Pagani, Silva, et al. 2018)

Nello schema NRML, la struttura ad albero viene definita tramite una sequenza dei suoi componenti. La posizione nella sequenza specifica il livello dell'albero dove è localizzato il livello di ramificazione (Figura 24).

```

<logicTree logicTreeID="ID">
  ...
  <logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="ID"> ...
    <logicTreeBranchSet branchSetID="ID" uncertaintyType="UNCERTAINTY_TYPE">
      <logicTreeBranch branchID="ID">
        <uncertaintyModel>UNCERTAINTY_MODEL </uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>UNCERTAINTY_WEIGHT </uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      ...
      <logicTreeBranch branchID="ID">
        <uncertaintyModel>UNCERTAINTY_MODEL </uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>UNCERTAINTY_WEIGHT </uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
    </logicTreeBranchSet>
  </logicTreeBranchingLevel>
  ...
</logicTree>

```

Figura 24 - Schema NRML per la definizione del Logic Tree.

Il modello di movimento del terreno

Il modello di movimento del terreno viene definito tramite delle equazioni empiriche chiamate GMPEs, Ground Motion Predict Equations. Tali equazioni vengono utilizzate

sia per l'analisi probabilistica che per quella deterministica. Il progetto GMPEs è stato implementato dalla GEM, che ha selezionato un set di equazioni che possono essere utilizzate nel calcolo del rischio sia al livello globale che regionale e associargli studi di valutazione delle perdite. (Di Alessandro, et al. 2012). In particolare, il software OpenQuake, tramite il modello seismic source individua i parametri che caratterizzano il sito, la distanza e il tipo di rottura e che appartengono alle diverse regioni tettoniche e seleziona automaticamente dal modello ground motion l'equazione associata a quella particolare regione tettonica.

3.6.3 I modelli di input per l'analisi del rischio

Un'analisi del rischio sismico comporta la generazione di diversi modelli. Distinguiamo il modello di esposizione, il modello di fragilità e il modello di vulnerabilità. È possibile generare i modelli tramite la piattaforma online di OpenQuake e in particolare con l'utilizzo del Risk Input Preparation Toolkit è possibile generare il file nel linguaggio NRML.

Il modello di esposizione

Il modello di esposizione contiene informazioni di diverso livello di dettaglio inerenti alle caratteristiche degli edifici presenti nell'area oggetto di analisi. La prima parte del file contiene una sezione di metadati comune a tutti gli edifici presenti nel modello. Ci sono diversi parametri che compongono la sezione dei metadati che forniscono informazioni generali, alcuni di questi parametri sono vincolanti e devono essere obbligatoriamente specificati nel modello. Nel dettaglio i metadati vengono descritti tramite:

- *id*, dato obbligatorio che viene usato per identificare il bene all'interno del modello;
- *category*, parametro opzionale usato per definire la tipologia di bene;
- *taxonomySource*, parametro opzionale usato per definire il tipo di taxonomy che classifica il bene;
- *description*, parametro obbligatorio che contiene informazioni riguardanti il modello di esposizione.

Successivamente vengono descritti per ogni singolo edificio, che rientra nell'area da analizzare, i diversi attributi che lo caratterizzano:

- *id*, attributo obbligatorio che identifica il bene, viene utilizzato da OpenQuake per associare ogni bene al proprio risultato;
- *taxonomy*, attributo obbligatorio che specifica la tipologia di edificio, essa può essere definita dall'utente o tramite uno schema fornito dalla GEM o da altri enti di ricerca;
- *number*, definisce il numero di unità strutturali presenti in un edificio. È un parametro obbligatorio per il calcolo del danno mentre per l'analisi del rischio deve essere definito se l'area o i costi vengono definiti per singola unità abitativa;
- *area*, rappresenta l'area del bene ed è un dato obbligatorio solo se uno dei costi è definito per unità di area;
- *location*, attributo obbligatorio che fornisce la latitudine e la longitudine di un edificio, entrambi definiti in gradi decimali;
- *costs*, definisce il costo di riparazione per il singolo edificio dopo un evento sismico. È necessario specificare il tipo di costo e il valore distinguendo nel primo caso tra i costi strutturali, non strutturali di riparazione o di business interruption, mentre nel secondo caso viene indicato se il tipo di costo è riferito ad un aggregato (aggregated), ad un singolo bene (per_asset) o ad un'area (per_area);
- *occupancies*, dato obbligatorio solamente per il calcolo dello scenario del rischio o per la valutazione probabilistica del rischio. Permette di definire il numero di persone che potrebbero essere all'interno dell'edificio durante i periodi della giornata.

Il modello di fragilità

La fragilità viene definita come la probabilità di eccedenza di un set di stati limite per prefissati livelli di intensità. Un modello di fragilità può essere definito tramite un approccio discreto, nel quale per prefissati livelli di intensità viene fornita una lista di probabilità di eccedenza per ogni stato limite, oppure modellando ogni curva di stato limite come una funzione di distribuzione log-normale tramite la media e la deviazione standard. (Silva, Crowley, et al. 24 Febbraio 2013). Le funzioni di fragilità devono essere definite per ogni tipo di edificio presente nel modello di esposizione.

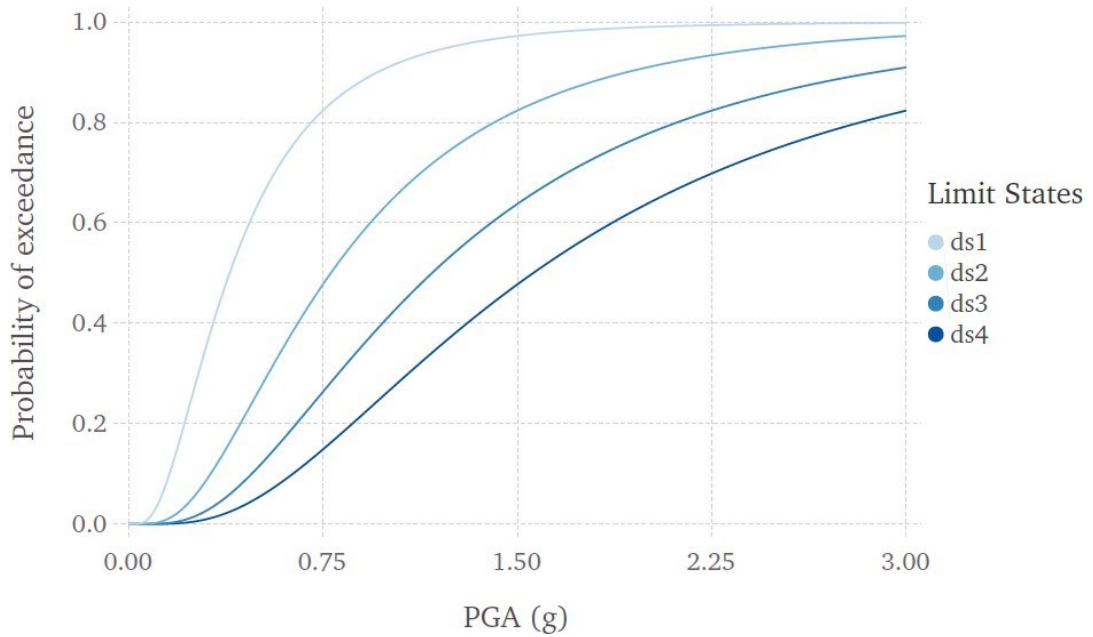


Figura 25 - Rappresentazione del modello di fragilità di tipo continuo. (GEM 2019)

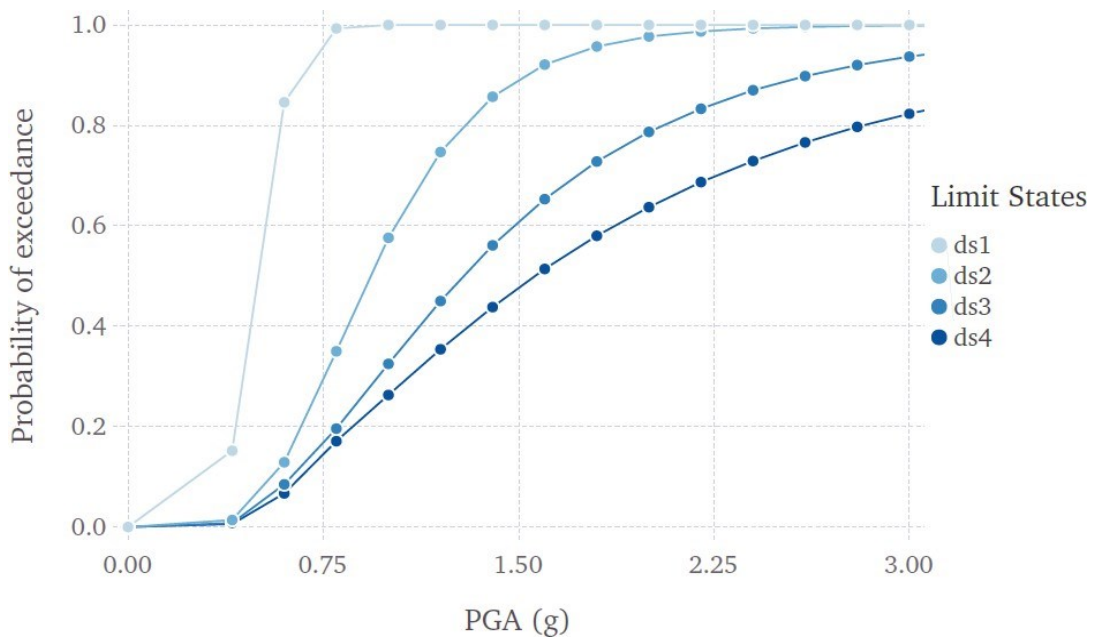


Figura 26 - Rappresentazione del modello di fragilità di tipo discreto. (GEM 2019)

Per poter definire il modello è necessario fornire delle informazioni che sono comuni a tutte le funzioni, nel dettaglio:

- *id*, campo obbligatorio che consente di individuare il modello di fragilità;
- *assetCategory*, campo opzionale che specifica la tipologia di bene per ogni funzione di fragilità definita nel file;

- *lossCategory*, campo obbligatorio che definisce la categoria a cui deve far riferimento la perdita e si differenzia in strutturale, non strutturale, riparazione o business interruption;
- *description*, campo obbligatorio che riporta informazioni sul modello;
- *limitStates*, campo obbligatorio utilizzato per definire il limite e la nomenclatura di ogni stato limite.

Per poter generare il modello di fragilità, definiti i metadati è necessario inserire gli attributi per ogni tipologia di edificio. Tali dati variano a seconda del tipo di approccio che si usa per definire il modello. Nel caso dell'utilizzo di funzioni discrete i campi da definire risultano:

- *id*, campo necessario per identificare la tassonomia alla quale è riferita la funzione;
- *format*, nel caso di funzioni discrete deve essere riportata la dicitura “*discrete*”;
- *imls*, definisce la lista dei livelli di intensità per i quali le probabilità di eccedenza degli stati limite devono essere definiti;
- *imt*, definisce il tipo di misura dell'intensità;
- *poes*, definisce la probabilità di eccedenza per ogni stato limite per ogni funzione di fragilità.

Nel caso si utilizzino funzioni di distribuzione log-normale i campi da definire risultano:

- *format*, nel caso di funzioni continue deve essere riportata la dicitura “*continuous*”;
- *shape*, nel caso di funzioni continue deve essere riportata la dicitura “*logncdf*”;
- *imls*, definisce la misura dell'intensità usata nelle funzioni di fragilità;
- *params*, tale campo viene usato per definire i parametri della curva continua per ogni stato limite per la funzione di fragilità. I parametri richiesti per definire la curva sono la media e la deviazione standard riferiti al livello di intensità.

Il modello di vulnerabilità

Definire una funzione di vulnerabilità richiede la determinazione della perdita economica per un dato livello di intensità. La distribuzione del rapporto di perdita può

essere definita tramite una funzione di vulnerabilità continua o discreta e il modello di vulnerabilità può contenere entrambe le tipologie di funzione. Le funzioni di vulnerabilità discrete vengono usate per modellare direttamente le perdite dopo un evento sismico. Le perdite vengono definite come il rapporto tra i costi di riparazione e i costi di sostituzione per una data categoria di edificio. Le incertezze per ogni rapporto vengono considerate tramite un coefficiente di variazione e modellate tramite una distribuzione log-normale o di tipo beta.

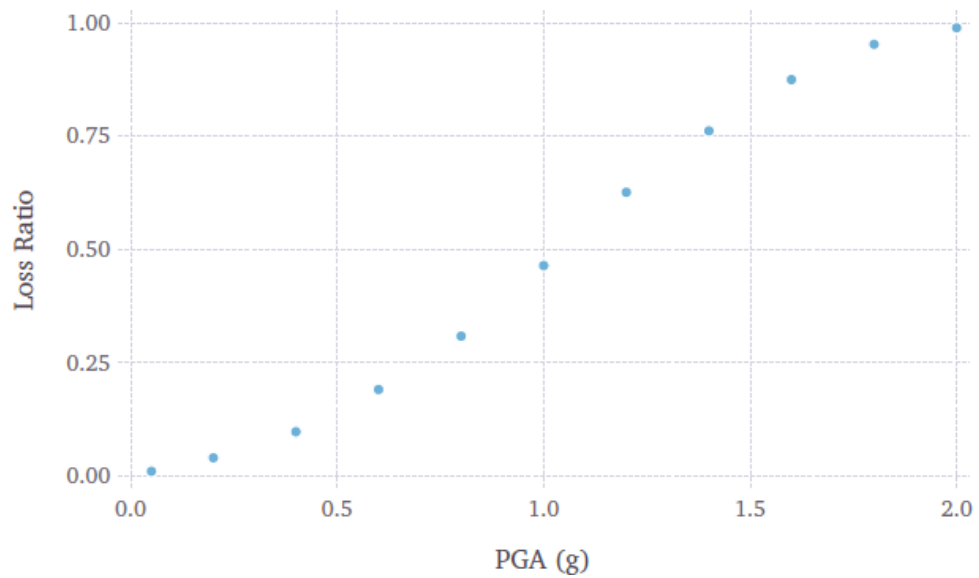


Figura 27 - Rappresentazione grafica del modello di vulnerabilità. (GEM 2019)

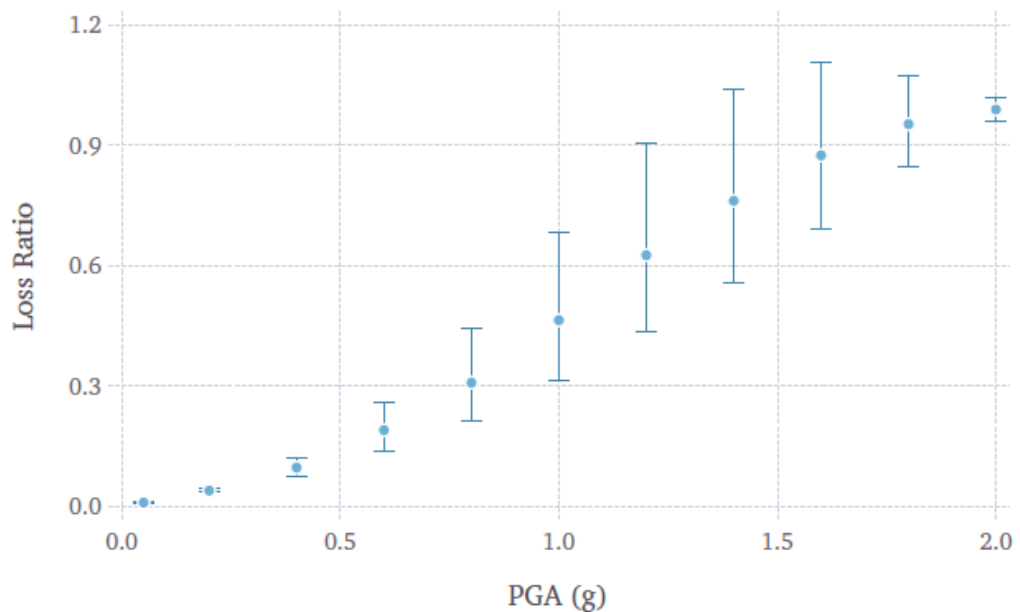


Figura 28 - Rappresentazione grafica della modellazione delle incertezze nella funzione di vulnerabilità. (GEM 2019)

Il file contiene inizialmente delle informazioni generali che sono comuni a tutte le funzioni di vulnerabilità riportate nel modello.

Nel dettaglio:

- *id*, campo obbligatorio che consente di individuare il modello di vulnerabilità;
- *assetCategory*, campo opzionale che specifica la tipologia di bene per ogni funzione di vulnerabilità definita nel file;
- *lossCategory*, campo obbligatorio che definisce la categoria a cui deve far riferimento la perdita e si differenzia in strutturale, non strutturale, riparazione o business interruption;
- *description*, campo obbligatorio che riporta informazioni sul modello.

Le funzioni di vulnerabilità che utilizzano una distribuzione continua per modellare le incertezze

nel rapporto di perdite vengono definite tramite i seguenti attributi:

- *id*, campo necessario per identificare la tassonomia alla quale è riferita la funzione;
- *dist*, campo all'interno di cui deve essere riportata la dicitura “LN” se viene utilizzata una distribuzione log-normale o la dicitura “BT” nel caso di distribuzione beta;
- *imls*, tale attributo definisce la lista dei livelli di intensità usata nelle funzioni di vulnerabilità;
- *meanLRs*, campo usato per definire la media del rapporto di perdita per ogni livello di intensità di ogni funzione di vulnerabilità;
- *covLRs*, campo usato per definire il coefficiente di variazione (covarianza) del rapporto di perdita per ogni livello di intensità di ogni funzione di vulnerabilità.

Le funzioni di vulnerabilità che utilizzano una distribuzione di probabilità discreta per modellare le incertezze nel rapporto di perdite vengono definite tramite i seguenti attributi:

- *id*, campo necessario per identificare la tassonomia alla quale è riferita la funzione;
- *dist*, campo all'interno di cui deve essere riportata la dicitura “PM”;
- *imls*, tale attributo definisce la lista dei livelli di intensità usata nelle funzioni di vulnerabilità;

- *probabilities*, campo utilizzato per definire la probabilità di osservare una particolare rapporto di perdita in base al set di livelli di intensità specificati per ogni funzione di vulnerabilità.

3.7 Curve di fragilità

Le curve di fragilità sono considerate uno degli strumenti più performanti per valutare la vulnerabilità sismica di edifici esistenti e possono essere utilizzate per una corretta pianificazione della fase di emergenza del post-terremoto e per definire una proprietà per gli interventi.

La domanda sismica è influenzata dall'intensità dell'evento e dalle caratteristiche del sito: la variazione dell'intensità è in questo caso definita adottando diversi valori di PGA (*Peak Ground Acceleration*), di PGV (*Peak Ground Velocity*), S_d (spostamento spettrale) etc. a seconda degli scopi e del caso. Per ogni edificio, o per ogni classe di edifici, naturalmente, è possibile costruire più curve di fragilità, ognuna corrispondente ad un prefissato livello di danno.

Le curve di fragilità, dunque, esprimono la probabilità condizionata, di un manufatto, di eguagliare o eccedere un certo livello di danno per vari livelli di scuotimento del terreno.

Il problema deve essere affrontato a livello probabilistico a causa dell'aleatorietà delle variabili che si considerano, come per esempio l'intensità del sisma atteso e le proprietà dei materiali che costituiscono la struttura portante dell'opera.

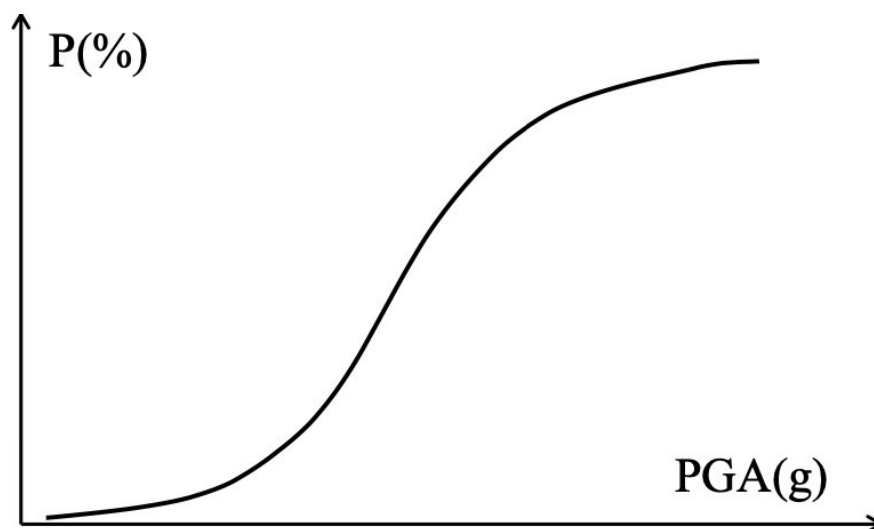


Figura 29 - Curva di fragilità di un edificio.

3.7.1 Metodo analitico e metodo empirico

I metodi per la creazione delle curve di fragilità sono essenzialmente di 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, generalmente agli elementi finiti, allo scopo di andare ad indagare, attraverso simulazioni di diverso tipo, il comportamento del manufatto sottoposto alla sollecitazione sismica in esame. Andranno definiti parametri di controllo su cui misurare la prestazione dell'opera, tipicamente la dissipazione di energia o la duttilità, e l'analisi potrà essere condotta con metodi diversi, quali: un'analisi elastica con spettro, un'analisi non lineare push-over o un'analisi dinamica in time-history, quest'ultima rappresentando lo strumento più evoluto di cui dispone il progettista per la valutazione delle prestazioni del singolo manufatto.

La risposta sismica, inoltre, può essere ottenuta da differenti tipi di analisi sismica:

- analisi dinamica lineare;
- analisi statica non lineare;
- analisi dinamica non lineare.

Sono evidenti, tuttavia, l'onere computazionale, il tempo da investire e la difficoltà nel reperire tutte le informazioni necessarie per analisi di questo tipo, confrontandosi con reti molto estese di edifici costruiti in vari periodi storici e con varie modalità, la cui struttura è spesso di difficile analisi al livello di precisione richiesto perché la procedura possa offrire risultati di una qualche affidabilità.

Ci si può rivolgere quindi verso i più semplici e immediatamente applicabili metodi empirici, il cui scopo è quello di fornire realistiche indicazioni riguardo la performance sismica del manufatto pur senza doversi realizzare una pesante analisi dello stesso, basandosi dunque su relativamente pochi parametri macroscopici facilmente valutabili e rilevabili.

Il metodo ripreso dalla normativa americana HAZUS e dalla sua erede europea RISK-UE è quello improntato sul lavoro di Basoz (1994) e Shinouzuka (1995), 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, e dunque che il loro punto d'intersezione risulti essere rappresentabile attraverso una distribuzione di tipo

log-normale. Considerando tale rappresentazione si può quindi ottenere una funzione di densità di probabilità cumulativa che corrisponde con la curva di fragilità.

Per costruire tale curva sono essenzialmente necessari due parametri:

- il valore medio, ovvero il valore con probabilità di accadimento pari al 50%;
- la deviazione standard.

La funzione che descrive la probabilità cumulativa avrà quindi la forma seguente:

$$F(Sa) = \phi \left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{Sa}{m} \right)$$

Dove:

- $F(Sa)$ è la densità di probabilità cumulativa;
- Sa è l'accelerazione spettrale, valutata per un periodo di 1 secondo;
- σ è la deviazione standard, assunta da letteratura pari a 0,6;
- m è il valore medio;
- ϕ è la funzione continua di distribuzione cumulata normale, o Gaussiana.

Molte curve di fragilità sono disponibili in letteratura con approcci diversi (ad esempio empirico, basato sull'elicitazione di esperti, analitico, ibrido), ma a selezionare "quello più affidabile per una data applicazione" rappresenta ancora un compito molto impegnativo.

Prima di tutto la complessità deriva dall'ampia varietà di costruzioni esistenti che sono caratterizzati da sistemi strutturali molto diversi che si muovono attraverso periodo storici e aree geografiche.

I parametri statistici utilizzati per la caratterizzazione di ciascuna curva possono variare notevolmente tra i diversi approcci e metodologie.

Infine, possiamo affermare che il problema deve essere affrontato a livello probabilistico a causa dell'aleatorietà delle variabili che si considerano, come per esempio l'intensità del sisma atteso e le proprietà dei materiali che costituiscono la struttura portante dell'opera.

4. Valutazione degli esperti

La valutazione preventiva del rischio sismico dei centri urbani rappresenta oggi un tema di particolare importanza, soprattutto ai fini della protezione civile, per la valutazione dei possibili scenari di danno che possono manifestarsi a seguito di eventi calamitosi. Pertanto, con particolare riferimento ai terremoti, la consapevolezza del rischio sismico di un'area, più o meno vasta, costituisce senza dubbio un punto di partenza imprescindibile per la stima preventiva dagli effetti prodotti da eventi sismici significativi, e quindi per il supporto alla gestione ottimale della fase emergenziale post-sisma.

Considerando che il rischio sismico di un'area, trattato già nel capitolo 2 di questa tesi, è definito, come è noto, dai tre fattori - vulnerabilità, pericolosità ed esposizione- che concorrono in maniera differente a determinare gli effetti dell'evento calamitoso, è chiaro che la stima del rischio a livello territoriale non può prescindere dalla valutazione della vulnerabilità sismica delle costruzioni esistenti. Essa però non può essere condotta analizzando ogni singolo edificio come caso a sé stante, in quanto sarebbe impossibile e addirittura inutile ai fini di valutazioni su ampia scala.

D'altronde i recenti eventi sismici del centro Italia (2016/2017) hanno portato all'emanazione del D.M. n.58 del 28/02/2017, il cosiddetto decreto sul sisma bonus, che richiede la valutazione preventiva, anche semplificata, della capacità sismica degli edifici esistenti nello stato originario ed eventualmente in quello migliorato.

Pertanto, nel seguente capitolo, andremo ad analizzare la classificazione tipologia e strutturale di edifici esistenti in muratura e calcestruzzo armato, finalizzata alla definizione approssimata del parametro "vulnerabilità di insieme" riferito ad ampie porzioni del territorio, ma che può essere utilizzata anche per una prima valutazione riferita alla singola costruzione.

Tale classificazione si basa sulla analisi del comportamento strutturale riscontrato sul campo in occasione eventi sismici ed anche sull'ampia sperimentazione numerica svolta dagli autori (Calderoni B., Sandoli A. e Cordasco E.A.) su alcune delle tipologie individuate.

L'analisi dei danni e dei crolli esibiti dagli edifici in calcestruzzo armato e in muratura a seguito di eventi sismici ha evidenziato quasi sempre una correlazione alquanto stretta tra epoca costruttiva, caratteristiche strutturali e livello dei danni subiti. Ciò ha

consentito, quindi, la definizione di una classificazione tipologica-strutturale, il cui discriminante è rappresentato da alcuni elementi specifici della concezione e dell'organizzazione strutturale dell'edificio, che sono strettamente legati all'epoca di costruzione e alle corrispondenti tecniche costruttive.

L'articolo considerato propone, dunque, una classificazione tipologica strutturale, separatamente per gli edifici in muratura e per quelli in calcestruzzo armato, basata sul comportamento sismico riscontrato sul campo o comunque prevedibile mediante considerazioni teoriche, anche sulla base dell'ampia sperimentazione numerica svolta dagli autori stessi, come da altri, su alcune delle tipologie individuate.

Tale classificazione, può essere quindi utilmente adottata per valutazioni di vulnerabilità su ampia scala, ma può essere utilizzata anche per una prima valutazione semplificata riferita alla singola costruzione, fornendo in ogni caso per essa indicazioni preliminari e di indirizzo, comunque utili come base per valutarne in modo più preciso la capacità sismica.

Nello specifico, si propongono presenta 5 classi per le costruzioni in muratura e 4 classi per quelli in calcestruzzo armato. Per ciascuna di esse viene indicato un range di capacità sismica, espressa in termini di massima accelerazione sopportabile al suolo, utile a definire il livello di vulnerabilità della corrispondente tipologia costruttiva nonché a fornire indicazioni preliminari e di indirizzo qualora si voglia procedere alla valutazione di capacità con riferimento al singolo edificio.

4.1 Edifici in muratura

Le costruzioni in muratura sono quelle che, in genere, subiscono i danni più gravi durante i terremoti ed alle quali sono ascrivibili il maggior numero di crolli globali o parziali, costituendo nell'immaginario collettivo la tipologia di edifici più pericolosa in caso di sisma.

In realtà, il termine generico di "edificio in muratura" rappresenta un insieme molto vasto di costruzioni di epoche diverse, che possono presentare caratteristiche costruttive anche molto diverse e, conseguentemente, comportamenti sismici molto differenti. È possibile, però, individuare in alcuni elementi specifici della concezione e dell'organizzazione strutturale dell'edificio in muratura il discriminante del comportamento sismico più o meno efficiente della costruzione, ovvero della sua vulnerabilità.

Esiste, infatti, una correlazione abbastanza stretta tra l'epoca della costruzione ed il comportamento strutturale, e ciò quasi indipendentemente dalle altre caratteristiche costruttive e dallo stato di conservazione, che contano, più che altro, come condizioni migliorative o peggiorative della situazione comportamentale di base.

In particolare, l'elemento fondamentale in relazione alla risposta sismica è costituito dal livello di connessione tra le diverse pareti murarie e tra le pareti stesse e gli impalcati. Pertanto, anche con riferimento alla classificazione di Pagano, è possibile definire una prima tipologia di edifici in muratura, qui denominata “*MUR-1 EDIFICI ANTICHI*” (Figura 30), che è caratterizzata da collegamenti tra le varie parti non sufficientemente affidabili (o comunque facilmente danneggiabili) tali da portare, in caso di sisma, alla separazione tra loro delle pareti murarie e/o dei singoli maschi murari, che risultano quindi fortemente esposti al pericolo del ribaltamento al di fuori del piano.



Figura 30 - MUR-1 – Edifici in muratura “antico” – Poggio Piaccenze (AQ).

Ed infatti, in caso di terremoti di significativa intensità, tali edifici sono quelli che più facilmente manifestano forti danneggiamenti o, molto spesso, crolli locali e/o globali. Analisi numeriche di dettaglio svolte da molti autori, hanno mostrato che edifici di questo tipo hanno capacità sismica molto bassa dell'ordine di qualche unità % di g , rappresentando la tipologia di edifici in muratura di maggiore pericolosità. Le altre caratteristiche, quali ad esempio il tipo e la qualità della muratura o la tipologia di impalcati (piani o a volte), non modificano sostanzialmente il comportamento di base, ma possono unicamente ridurre o incrementare (in un range non molto ampio) l'accelerazione sopportabile.

Se gli edifici di tale prima tipologia sono stati sottoposti (in periodi più o meno recenti) ad interventi di rinforzo, consistenti principalmente in efficaci collegamenti diffusi (di

tipo antico o moderno), viene garantito, anche se a volte in maniera non del tutto efficace, un comportamento scatolare della costruzione, con la sostanziale eliminazione, o quanto meno una sensibile riduzione, della possibilità di attivazione dei meccanismi fuori piano. Ciò porta ad un incremento significativo delle prestazioni sismiche della costruzione, che saranno correlate quasi sempre al molto più efficiente comportamento delle pareti nel piano. È possibile definire, quindi, una seconda tipologia di edifici in muratura, qui denominata “*MUR-2 EDIFICI ANTICHI MIGLIORATI*” (figura 31), la cui capacità sismica si incrementa in genere fino anche a valori dell'ordine di 1/10 di g.



Figura 31 - MUR-2 – Edifici in muratura “antichi migliorati” – L'Aquila.

La terza tipologia di base, denominata “*MUR-3 EDIFICI MODERNI*”, raggruppa gli edifici in muratura realizzati nel XX secolo nel rispetto delle norme susseguite dal 1909 in poi per le zone sismiche e delle norme del 1937 (R.D. 22/11/1937 n.2105) anche per le zone non sismiche (figura 32). Tale tipologia corrisponde in pratica alla terza classe di edifici nella classificazione di Pagano ed è caratterizzata da un ottimo comportamento scatolare assicurato dalla intima connessione tra le pareti verticali murarie e gli impalcati, che quindi svolgono il compito di catene bidimensionali

diffuse, impedendo di fatto l'attivazione dei meccanismi fuori dal piano. La vulnerabilità sismica di questi edifici risulta quindi molto ridotta. In genere le analisi sismiche svolte su edifici di questo tipo (con numero di piani variabile in genere tra 3 e 5) hanno evidenziato accelerazioni sopportabili significative, a volte anche più alte del 15% di g.



Figura 32 - MUR-3 – Edificio in muratura “moderno” – L'Aquila.

Si possono individuare altre due tipologie, che possono definirsi ibride, qui definite come “MUR-4 EDIFICI SEMI-MODERNI” (Figura 33) e “MUR-5 EDIFICI MODERNI NON A NORMA” (Figura 34). La prima raggruppa edifici, realizzati in zona sismica (ma a volte anche in zona non sismica, soprattutto per gli edifici pubblici) prima della emanazione delle norme del 1937, che presentano collegamenti continui delle pareti murarie a diverse quote (con cordoli in calcestruzzo armato o cerchiature in acciaio) però non disposti al livello degli impalcati e quindi non direttamente attaccati ad essi.

Tale tipologia è simile alla MUR- 2, anche se, essendo più moderna nella tecnologia realizzativa, presentando collegamenti continui su tutte le murature e non catene puntuali, è sicuramente più efficiente anche in relazione ad altri aspetti di dettaglio.



Figura 34 - MUR-4 – Edificio in muratura “semi-moderno” – Napoli.

La seconda, invece, raggruppa gli edifici che, anche se costruiti dopo il 1937, non presentano i prescritti collegamenti di piano tra le pareti murarie e gli impalcati e quindi, ad esempio, sono privi cordoli di piano pur avendo solai in acciaio o in calcestruzzo armato, in genere di tipo prefabbricato, per cui non rispettano le norme in vigore all'epoca della costruzione.



Figura 36 - MUR-5 – Edificio in muratura “moderno non a norma” – Mirandola (MO).

Ai fini di una prima valutazione su larga scala, per quanto detto, si possono prendere come riferimento per gli edifici in muratura i seguenti valori di capacità sismica (PGA, per suolo tipo A) (Tabella 11):

Tipologia	PGA_min	PGA_max
MUR_1	0	0.05
MUR_2	0.05	0.10
MUR_3	0.10	0.15
MUR_4	0.05	0.10
MUR_5	0	0.05

Tabella 11 - PGA per edifici in muratura.

Tali valori possono essere incrementati (anche fino al 50%) per edifici di altezza limitata (fino a 2 piani) e ridotti (fino al 50%) per quelli di altezza maggiore (superiore ai 4 piani).

4.2 Edifici in cemento armato

Le costruzioni in cemento armato sono apparse nel panorama edilizio nazionale nei primi anni del XX secolo. Esse venivano realizzate secondo le indicazioni delle prime norme francesi ed italiane, che erano basate, ovviamente, sull'analisi elastica della struttura e sul metodo delle tensioni ammissibili.

Come prima tipologia di base per le costruzioni in calcestruzzo armato abbiamo gli “EDIFICI COSTRUITI PRIMA DEL 1939” ovvero prima della II guerra mondiale, qui indicata come “CA-I” (Figura 37).



Figura 37 - CA-I – Edificio in c.a. costruito prima del 1939 – Napoli.

In pratica questi edifici presentano una struttura concepita per sostenere i soli carichi verticali, costituita da telai perimetrali ed interni disposti essenzialmente in una sola direzione, ovvero lungo gli allineamenti definiti dalle orditure dei solai. Le travi sono comunemente emergenti, mentre le tamponature sono, in pratica sempre, di tipo pesante, ben incassate nei telai di bordo, dando luogo a un edificio significativamente

rigido rispetto alla sua altezza. Una criticità di questa tipologia è rappresentata dai nodi che, sotto l'azione di terremoti significativi, sono fortemente sollecitati dall'azione concentrata delle pesanti tamponature (che lavorano come diagonali compresse). Pertanto, pur presentando una buona resistenza al sisma, proprio dovuta alla presenza delle pareti rigide incassate nei telai, a volte possono subire danni gravi fino al crollo a causa della rottura di alcuni nodi d'angolo e perimetrali esterni.

Dopo la guerra si ha un abbandono delle costruzioni in muratura favorendo le costruzioni di strutture completamente in calcestruzzo armato. La tecnologia consentiva la realizzazione di edifici a molti più piani (fino a 20 per quelli più alti) in tempi relativamente ridotti. In pratica in tale periodo sono scomparsi gli edifici misti (con pareti perimetrali integralmente in muratura o in muratura intelaiata), lasciando il passo all'edificio a struttura integralmente in calcestruzzo armato, il tipico edificio di 10-12 piani a struttura intelaiata degli anni '50-'60; tale tipo di edificio resta concepito per sostenere i soli carichi verticali e la richiesta di maggiore flessibilità architettonica porta a un uso via via maggiore delle travi a spessore nei telai interni che sostengono i solai.

Fino alla fine degli anni '50, ancora le tamponature sono di tipo pesante ben incassate nelle maglie dei telai, invece, dalla metà degli anni '60 diviene comune l'utilizzo di pareti perimetrali di tipo leggero, in genere realizzate con laterizi forati a doppia fodera con camera d'aria interposta, la cui incassatura nei telai è sicuramente meno curata, anche in considerazione del fatto che spesso la fodera esterna risulta aggettante rispetto al filo esterno delle travi e dei pilastri.

Tali edifici si possono raggruppare in una nuova tipologia, definita "CA-2", quella degli "EDIFICI COSTRUITI TRA IL 1939 ED IL 1970" (Figura 38).



Figura 38 – CA-2 – Edifici costruiti tra il 1939 ed il 1970 – Edifici degli anni '60 – Napoli.

Da un punto di vista dell'impostazione strutturale gli edifici costruiti dopo l'emanazione della L.1086, la quale riorganizza dal punto di vista tecnico-amministrativo le costruzioni in calcestruzzo armato, non sono molto dissimili da quelli precedenti al 1971, nel caso in cui siano stati concepiti per sostenere essenzialmente i soli carichi verticali. Si diffonde però maggiormente l'uso di travi a spessore, le tamponature sono, praticamente sempre, di tipo leggero a doppia fodera e aumentano le irregolarità, sia in pianta che in elevazione, in relazione allo sviluppo di un'architettura più "libera" rispetto agli schemi tradizionali.

Differenze rilevanti, si ritrovano, invece, nei materiali. In particolare, le barre d'acciaio sono ormai quasi esclusivamente a aderenza migliorata, con una maggiore resistenza a trazione rispetto al passato, e il calcestruzzo, con l'affermarsi delle centrali di betonaggio esterne al cantiere e l'intensificarsi dei controlli, dovrebbe presentare migliori caratteristiche meccaniche.

È utile allora definire una specifica diversa tipologia, la "CA-3", degli "EDIFICI COSTRUITI TRA IL 1971 E L'ENTRATA IN VIGORE DELLE NORME SISMICHE" (Figura 39).

In relazione alla capacità sismica, le prime tre tipologie si possono considerare abbastanza simili tra loro. Più in dettaglio, gli edifici più "vecchi" risultano piuttosto rigidi (a causa sia dei telai con travi emergenti che, soprattutto, per la presenza delle tamponature pesanti nelle maglie strutturali), gli edifici più "moderni", dotati di un

numero di piani maggiore, risultano più deformabili (pochi telai rigidi con travi emergenti e pilastri di ridotte dimensioni) e, per questo, soggetti ad azioni sismiche relativamente ridotte.

La capacità sismica delle prime tre categorie di edifici in calcestruzzo armato si può considerare sostanzialmente analoga, valutabile nel range 0.10g - 0.15g.



Figura 39 - CA-3 – Edificio costruito tra il 1971 e l’entrata in vigore delle norme sismiche – Paternopoli (AV).

Diverse considerazioni si possono fare, invece, per gli edifici costruiti dopo l’entrata in vigore delle norme sismiche per la specifica zona geografica.

Tali edifici presentano strutture a telai abbastanza rigidi disposte in entrambe le direzioni principali della pianta e, in genere, una discreta regolarità strutturale sia in pianta che in elevazione. In realtà le irregolarità sono aumentate negli anni ’80 e ’90, soprattutto per gli edifici ad uso pubblico, in linea con tendenze architettoniche più moderne.

Tornando agli edifici esistenti (cioè realizzati fino alla fine del XX secolo, ovvero prima dell’entrata in vigore dell’Ordinanza 3274/3431 e poi delle NTC2008) e ragionando su ampia scala, la loro capacità sismica può, per quanto detto, considerarsi abbastanza

verosimilmente pari a quella di progetto, anche se i danni attesi sono sempre di notevole entità.

Pertanto, si può definire come ulteriore categoria di edifici in c.a. la “CA-4” degli “EDIFICI COSTRUITI DOPO L'ENTRATA IN VIGORE DELLE NORME SISMICHE” (Figura 40).

I valori di capacità corrispondenti a PGA (valutata su suola A) sono di circa 0.15g, 0.25g e 0.35g.

Però tenendo conto degli errori di progettazione e di realizzazione nonché dei dettagli costruttivi spesso carenti, purtroppo spesso riscontrati per gli edifici di quell'epoca quando analizzati in dettaglio, appare opportuno ridurre i valori prima indicati con un coefficiente variabile tra il 20% e il 30%, ottenendo valori di capacità sismica di riferimento per valutazioni su ampia scala pari rispettivamente a 0.11g, 0.19g e di 0.25g.



Figura 40 - CA-4 – Edificio in costruzione, progettato dopo l'entrata in vigore delle norme sismiche – San Gregorio Magno (SA).

Tipologia	PGA_min	PGA_max
CA_1	0.10	0.15
CA_2	0.10	0.15
CA_3	0.10	0.15
CA_4	0.11	0.25

Tabella 12 - PGA per edifici in calcestruzzo armato.

5. Sistemi di supporto alla decisione

Come anticipato nel *paragrafo 1.4.2*, l'azienda ha la necessità di usufruire di un sistema di supporto alle decisioni che permetta di capire e stimare, quando e quanto si può guadagnare su una transazione immobiliare.

Da sempre i manager delle aziende sono chiamati a compiere delle scelte per determinare le modalità ed i contenuti delle attività che la società, o le aree, che dirigono dovranno svolgere con lo scopo di perseguire efficacemente i propri obiettivi. L'elevato interesse che essi nutrono verso il processo decisionale è dovuto al fatto che ogni scelta intrapresa determina i risultati della gestione, risultati sulla base dei quali saranno valutati.

Ogni decisione è presa al termine di un processo che, a grandi linee, consiste nella valutazione delle possibili alternative e si conclude con la scelta della soluzione che apporti il beneficio maggiore all'impresa. Le decisioni più semplici sono prese, generalmente, facendo affidamento alla sola esperienza dei manager, mentre il progressivo aumentare della complessità del problema richiede necessariamente un maggior numero di elementi di cui disporre per selezionare l'alternativa migliore.

I modelli di supporto sono nati come strumenti per gestire la realtà in maniera più semplice, nascondendone la complessità. Essi sono in grado di produrre informazioni utili per effettuare valutazioni, compiere decisioni o intraprendere azioni, a partire da un set di dati iniziali attraverso il processo di inferenza.

Nel modellare sistemi reali non è sempre possibile disporre di dati certi, perciò bisogna ricorrere a modelli che siano in grado di tener conto delle incertezze associate alle informazioni raccolte. La famiglia dei modelli probabilistici rappresenta sistemi affetti da incertezza, la quale è quantificata attraverso l'attribuzione di una misura di probabilità ad ogni legame tra le variabili del sistema. Le reti bayesiane appartengono proprio a questo gruppo di modelli. Korb and Nicholson (2011) affermano che "il processo di costruzione di una rete bayesiana possa portare ad una migliore comprensione del fenomeno oggetto d'analisi così come possa fornire uno strumento utile di supporto alle decisioni".

Per un'azienda che volesse approcciarsi all'analisi dei dati, in prima battuta entrano in gioco gli elementi messi a disposizione dalla statistica descrittiva, come ad esempio: indici di posizione, indici di variabilità, relazioni statistiche, distribuzioni,

rappresentazioni grafiche, ecc. I risultati prodotti da questi strumenti consentono di rilevare, classificare, riassumere e rappresentare il contenuto del database e fungono come base di partenza per considerazioni più elaborate.

Lo scopo è dimostrare le potenzialità delle reti Bayesiane come modello grafico probabilistico per generare informazioni rilevanti da utilizzare come supporto nelle decisioni di business, e stimarne i consumi post-intervento.

5.1 Reti bayesiane

Dal punto di vista formale, una rete bayesiana è un grafo, ossia un insieme di nodi e frecce. I nodi indicano le variabili di un problema, mentre le frecce indicano i rapporti di causalità tra di esse.

In letteratura è noto come questi modelli risultino particolarmente adatti nell'affrontare contemporaneamente problemi derivanti da incertezza e complessità. La probabilità, infatti, fornisce una misura dell'incertezza associata ai dati osservati mentre la teoria dei grafi consente di creare una struttura dati coerente con il contesto analizzato e fornisce un'interfaccia intuitiva.

Le reti bayesiane sono largamente utilizzate in ambiti anche molto diversi tra loro. Questa è la dimostrazione che sono uno strumento inferenziale e decisionale estremamente flessibile. Esse permettono di:

- integrare informazioni provenienti da fonti diverse (conoscenze teoriche, opinioni di esperti, dati sperimentali, ecc.);
- raggiungere una maggior efficienza computazionale, poiché richiedono di inserire le probabilità condizionate delle sole variabili legate tra loro da un arco;
- eseguire operazioni che vanno al di là della capacità della mente umana, come l'aggiornamento dei parametri della rete a seguito della sopravvenuta conoscenza di nuove informazioni;
- stabilire e controllare le assunzioni alla base della rete e del sistema per limitare la validazione delle conclusioni;
- compiere analisi di sensibilità utili per quantificare l'influenza di una variabile sull'intera rete.

5.2 Introduzione alle reti bayesiane

Le reti bayesiane sono una classe di modelli grafici probabilistici utilizzati per descrivere ed analizzare situazioni in condizioni di incertezza. La struttura di una rete Bayesiana è definita a partire da due componenti principali: i nodi, che rappresentano le variabili casuali, gli archi diretti che evidenziano le dipendenze probabilistiche tra le variabili. Nello specifico, una rete bayesiana, spesso indicata con BN dall'inglese *bayesian network*, è definita nel seguente modo:

si considerino n variabili casuali $X_1; X_2; \dots; X_n$, un grafo aciclico diretto con n nodi numerati e si supponga che il nodo i del grafo sia associato alla variabile X_i . Il grafo è una rete bayesiana, che rappresenta le variabili $X_1; X_2; \dots; X_n$, se:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | Pa(X_i)),$$

dove $Pa(X_i)$ denota l'insieme dei genitori del nodo X_i , ovvero tutte le variabili tali che nel grafo esista un arco diretto da ciascuna di queste al nodo i .

Una rete bayesiana è generalmente indicata con $BN = (G; P)$ dove G rappresenta la struttura e P la distribuzione di probabilità. Per comprendere a pieno il significato di questa definizione è necessario approfondire alcuni elementi.

Una rete bayesiana viene identificata a partire dalla definizione della sua struttura in termini di grafo.

Un grafo, indicato con $G(N,A)$, è un set di nodi N , o vertici, connessi da un insieme di archi A che possono essere o meno direzionati.

La struttura viene spesso indicata con $G=(N;A)$ ed è definita da un insieme di nodi, N , rappresentante le variabili casuali da analizzare, ed un insieme di archi, A , indicanti le relazioni di dipendenza tra i nodi del grafo. Poiché l'insieme N rappresenta esattamente l'insieme X delle variabili del sistema, nel contesto delle BN spesso la nozione assume la forma $G=(X;A)$ (Figura 41).



Figura 41 – Relazione diretta

Bisogna interpretare con cautela le relazioni di dipendenza, sia dirette che indirette. Intuitivamente la presenza di un arco tra due nodi indica una relazione diretta tra le

variabili corrispondenti mentre l'assenza di un collegamento significa che le variabili, all'interno di questo specifico modello, sono considerate indipendenti. Si noti che è stato utilizzato il termine "relazioni di dipendenza" invece che "relazioni causali"; questa precisazione è indispensabile poiché la causalità è difficile da giustificare nella maggior parte dei casi.

Nel modello, le variabili casuali sono identificate dall'etichetta del nodo corrispondente e possono essere categoriali, discrete o continue. Le prime sono descritte all'interno di insieme contenente un numero finito di elementi mentre le variabili continue possono assumere uno degli infiniti valori compresi all'interno del proprio dominio. In ogni istante, un generico nodo della rete, X_i , può assumere in modo mutualmente esclusivo uno degli stati appartenenti al dominio in cui è definito. Nel seguito della tesi verranno considerate solo variabili categoriali o discrete, caratterizzate cioè da un numero finito di valori.

La struttura di una rete bayesiana utilizza la metafora della famiglia per descrivere le relazioni gerarchiche tra gli elementi del grafo: un nodo è detto genitore (*parent*) di un figlio (*child*) se esiste un arco diretto che colleghi il primo al secondo. Un'estensione di questa terminologia identifica, prendendo un generico nodo X_i , l'insieme dei discendenti (*descendants*) come tutti i nodi che possono essere raggiunti attraverso un percorso diretto partendo da X_i , e gli antenati (*ancestor*), come l'insieme formato dai nodi da cui si può raggiungere X_i attraverso un percorso diretto. Un nodo senza genitori è definito radice (*root*) mentre un nodo senza figli prende il nome di foglia (*leaf*); ogni altro nodo è classificato come intermedio (*intermediate*).

L'unico vincolo strutturale impone che all'interno della rete non ci siano cicli diretti, ovvero che non sia possibile partire da un nodo e ritornarvi semplicemente seguendo la direzione degli archi. Per questo motivo le BNs appartengono alla categoria dei grafi aciclici diretti o directed acyclic graph (DAG).

Il vincolo dell'aciclicità è necessario, poiché:

- la probabilità congiunta non sarebbe fattorizzabile come prodotto di probabilità condizionate in presenza di cicli;
- qualunque sia il numero e la natura delle dipendenze tra le variabili, esiste almeno una struttura aciclica adatta a rappresentare l'oggetto;
- si garantisce che nessun nodo possa essere il suo stesso ascendente o discendente.

A differenza dei grafi non diretti, i DAG riescono a rappresentare, in modo molto flessibile, un'ampia varietà di indipendenze probabilistiche.

Le reti bayesiane sono annoverate tra i modelli probabilistici in virtù del fatto che le relazioni intercorrenti tra le variabili sono quantificate specificando, per ogni nodo, una distribuzione di probabilità condizionata. Queste distribuzioni sono rappresentate attraverso tabelle che prendono il nome di tabella di probabilità condizionata o *conditional probability table* (CPT) definite come segue:

per ogni variabile X_i , con n nodi genitori (Y_1, Y_2, \dots, Y_n), la CPT è indicata con $P(X_i|Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ e contiene la probabilità associata ad ogni possibile combinazione tra gli stati di X_i e di tutti i suoi genitori.

La definizione della tabella di probabilità avviene in modi diversi a seconda del tipo di nodo:

- Intermedio o foglia: per ogni combinazione degli stati dei genitori di un generico nodo X_i , la tabella indica la probabilità condizionata che X_i assuma uno dei valori contenuti nel proprio dominio.
- Radice: non avendo genitori, la tabella rappresenta la probabilità a priori associata ad ogni stato assunto dalla variabile. Questa è una probabilità marginale e non condizionata, poiché l'insieme dei genitori di un nodo radice è vuoto.

Utilizzando la regola del prodotto (*chain rule*) è possibile determinare la distribuzione di probabilità congiunta (*joint probability distribution*) dei nodi dell'intera BN. Essa è calcolata come prodotto delle probabilità condizionate e marginali di tutti i nodi.

Per una rete bayesiana definita sull'insieme delle variabili $X = (X_1; X_2; \dots; X_n)$ la distribuzione di probabilità congiunta della rete è definita come:

$$P(X) = P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i|Pa(X_i))$$

dove $Pa(X_i)$ indica l'insieme dei genitori del nodo X_i .

La distribuzione di probabilità congiunta può essere dunque fattorizzata e scomposta nelle singole distribuzioni di probabilità locale, ognuna delle quali coinvolge un nodo della rete e l'insieme dei suoi genitori.

Dal punto di vista dell'efficienza computazionale, all'aumentare del numero dei genitori di un nodo, cresce anche la dimensione della tabella di probabilità condizionata

e di conseguenza la potenza di calcolo richiesta per l'analisi. Ad esempio: in una rete booleana, dove ciascun nodo può assumere al massimo due valori, ad una variabile con n genitori è associata una TPC con 2^{n+1} probabilità.

6. Sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per la valutazione strutturale

La suddetta tesi documenta lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per gli investimenti immobiliari in ambito di edilizia residenziale che permette la stima del rischio sismico dell'immobile sulla base di una serie di informazioni.

Il modello bayesiano, descritto nel capitolo 5, è stato sviluppato sulla base di un modello ridotto della prestazione strutturale degli edifici, il cui set di parametri sono stati presi dalla piattaforma OpenQuake, considerando la casistica italiana dell'autrice italiana Borzi Barbara sia per il calcestruzzo armato che per la muratura.

6.1 Database e raccolta dati

I parametri necessari per l'avvio della serie di simulazioni del modello ridotto sono racchiusi nel database di informazioni.

La redazione del database implica la raccolta dei dati dalla piattaforma OpenQuake e dall'accelerazione al suolo (PGA), quest'ultima ricavata per ogni singolo comune della regione Marche grazie al documento Excel "Spettri-NTC" (D.M. 14 gennaio 2008 – Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni).

La creazione del database, dunque, riguarda 27 edifici in calcestruzzo armato e 10 edifici in muratura, Appendice B.

Dalla piattaforma OpenQuake vengono esaminati, quindi, un totale di 37 edifici e, per ognuno di essi, sono state analizzate le curve di fragilità così da capire, data la tipologia di edificio, la probabilità di quest'ultimo di superare diversi livelli di danno in funzione dell'intensità dello scuotimento sismico del terreno. Le curve di fragilità analizzate sono state calcolate tramite il metodo SP-BELA.

Ogni singola struttura viene identificata tramite una stringa tassonomica all'interno della quale sono presenti i seguenti attributi:

1. direzione;
2. materiale del sistema di resistenza al carico laterale;
3. sistema di resistenza al carico laterale;
4. altezza;
5. data di costruzione o ammodernamento;

6. occupazione;
7. posizione dell'edificio all'interno di un blocco;
8. forma della pianta dell'edificio;
9. irregolarità strutturale;
10. pareti esterne;
11. tetto;
12. piano;
13. sistema di fondazione.

Per ulteriori approfondimenti si faccia riferimento al *paragrafo 3.2*, il quale specifica i parametri usati nella tassonomia.

Riportiamo di seguito la *tabella 13* la quale ci identifica le variabili casuali utilizzate nella valutazione semplificata della perdita sismica basata su pushover (SP-BELA) per gli edifici in muratura.

Variable	Masonry type		Mean (μ)	Standard deviation (σ)	Distribution	Reference
In-plane failure mechanism						
γ_M	Low-quality natural stone		19 kN/m ³	—	—	Italian regulations (OPCM 3274 (2003))
			20 kN/m ³	—	—	
	Bricks with high % of voids		9 kN/m ³	—	—	
			18 kN/m ³	—	—	
ρ_A	Low-quality natural stone	2 story	0.099	0.034	Normal	Data collection forms (GNDT, Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, 2nd level for masonry)
		3 story	0.104	0.028	Normal	
		4 story	0.115	0.038	Normal	
		5 story	—	—	—	
	Good quality natural stone	2 story	0.088	0.035	Normal	
		3 story	0.097	0.034	Normal	
		4 story	0.101	0.038	Normal	
		5 story	—	—	—	
	Bricks with a high % of voids	2 story	0.053	0.022	Normal	
		3 story	0.070	0.040	Normal	
		4 story	—	—	—	
		5 story	—	—	—	
	Bricks with a low % of voids	2 story	0.056	0.017	Normal	
		3 story	0.056	0.013	Normal	
		4 story	0.056*	0.026	Normal	
		5 story	0.057	0.027	Normal	
ρ_B	Low quality natural stone	2 story	0.140	0.056	Normal	Data collection forms (GNDT 2nd level for masonry)
		3 story	0.149	0.037	Normal	
		4 story	0.176	0.09	Normal	
		5 story	—	—	—	
	Good quality natural stone	2 story	0.129	0.055	Normal	
		3 story	0.134	0.045	Normal	
		4 story	0.132	0.050	Normal	
		5 story	—	—	—	
	Bricks with a high % of voids	2 story	0.061	0.016	Normal	
		3 story	0.093	0.050	Normal	
		4 story	—	—	—	
		5 story	—	—	—	
Bricks with a low % of voids	2 story	0.074	0.027	Normal		
	3 story	0.082	0.027	Normal		
	4 story	0.082*	0.030	Normal		
	5 story	0.087	0.056	Normal		
M_i	Roof	Wood	300 kg/m ²	50 kg/m ²	Normal	Italian structural type
		RC-steel	500 kg/m ²	100 kg/m ²	Normal	
	Floor type	Wood	450 kg/m ²	100 kg/m ²	Normal	
RC-steel		650 kg/m ²	100 kg/m ²	Normal		
τ_{ki}	Low quality natural stone		30000 N/m ²	14000 N/m ²	Normal	Data collection forms (GNDT)

Variable	Masonry type	Mean (μ)	Standard deviation (σ)	Distribution	Reference
	Good quality natural stone	45000 N/m ²	19000 N/m ²	Normal	2nd level for masonry)
	Bricks with a high % of voids	105000 N/m ²	40000 N/m ²	Normal	
	Bricks with a low % of voids	128000 N/m ²	59000 N/m ²	Normal	
$h_p = h_{pan.}$	All wall types	3.75 m	0.5 m	Lognormal	Italian structural type
γ_{AB}	All wall types	2.50	0.20	Normal	Restrepo-Vélez (2003)
L_T/L_W	All wall types	0.66	0.10	Normal	
Out-of-plane failure mechanism					
t_{panel}	Stones	0.4 m	0.05 m	Normal	Italian structural type
	Bricks	0.3 m	0.05 m	Normal	
$\rho_2 = \Delta_2/\Delta_u$	All wall types	28%	50%	Constant	Restrepo-Vélez (2003)
ψ	All wall types	0.50	0.20	Normal	
ϕ_u	All wall types	0.8	1.0	Constant	

Tabella 13 - Variabili casuali utilizzate nella valutazione semplificata della perdita sismica basata su pushover (SP-BELA) metodo per la definizione della capacità strutturale degli edifici in muratura.

Successivamente, grazie al documento Excel prima citato, riusciamo a identificare gli spettri di risposta delle azioni sismiche di progetto (Figura 42).

D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Spettri di risposta ver. 1.0.3

Il documento Excel **SPETTRI-NITC** fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente:

FASE 1. Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);

FASE 2. Scelta della strategia di progettazione;

FASE 3. Determinazione dell'azione di progetto.

La schermata relativa a ciascuna fase è suddivisa in sotto-schermate: l'utente può intervenire nelle sotto-schermate con sfondo grigio scuro mentre quelle con sfondo grigio chiaro consentono un immediato controllo grafico delle scelte effettuate. In ogni singola fase l'utente può visualizzare e stampare i risultati delle elaborazioni -in forma sia grafica che numerica- nonché i relativi riferimenti alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 pubblicate nella G.U. n.29 del 04.02.2008 Suppl. Ord. n.30 e scaricabile dal sito www.csln.it

Programma ottimizzato per una visualizzazione schermo 1024 x 768

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 42 - Spiegazione sull'uso dello Spettro di risposta.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta II →

Variabilità dei parametri II →

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri II →

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 43 - Ricerca del comune.

Come primo passo si procede con l'individuazione della regione, poi della provincia ed infine del comune interessato (Figura 43).

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input style="width: 100%;" type="text" value="30"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input style="width: 100%;" type="text" value="50"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input style="width: 100%;" type="text" value="475"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input style="width: 100%;" type="text" value="975"/>

Elaborazioni

Grafici parametri azione II →

Grafici spettri di risposta II →

Tabella parametri azione II →

LEGENDA GRAFICO

--- Strategia per costruzioni ordinarie

--- Strategia scelta

Strategia di progettazione

INTRO

FASE 2

FASE 1

FASE 3

Figura 44 - Impostazione V_N e c_U .

Nella fase 2 (*Figura 44*) si sceglie:

- Vita Nominale (V_N) dell'edificio in base al numero di anni durante i quali l'opera può essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta a manutenzione ordinaria;
- Coefficiente d'uso (C_U) che varia a seconda della tipologia di costruzione.

Nel nostro studio abbiamo considerato una vita nominale pari a 50 anni con una classe d'uso II il cui coefficiente è pari a 1 (*Figura 45*).

Riferimenti normativi

Vita nominale (§ 2.4.1 NTC-08)

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella **Tab. 2.4.I** delle NTC-08 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 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

Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-08)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

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, "Nome 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.

Vita di riferimento (§ 2.4.3 NTC-08)

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

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (\text{NTC-08 Eq. 2.4.1})$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella **Tab. 2.4.II** delle NTC-08.

Tabella 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

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

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Figura 45 - Riferimenti normativi per V_N e C_U .

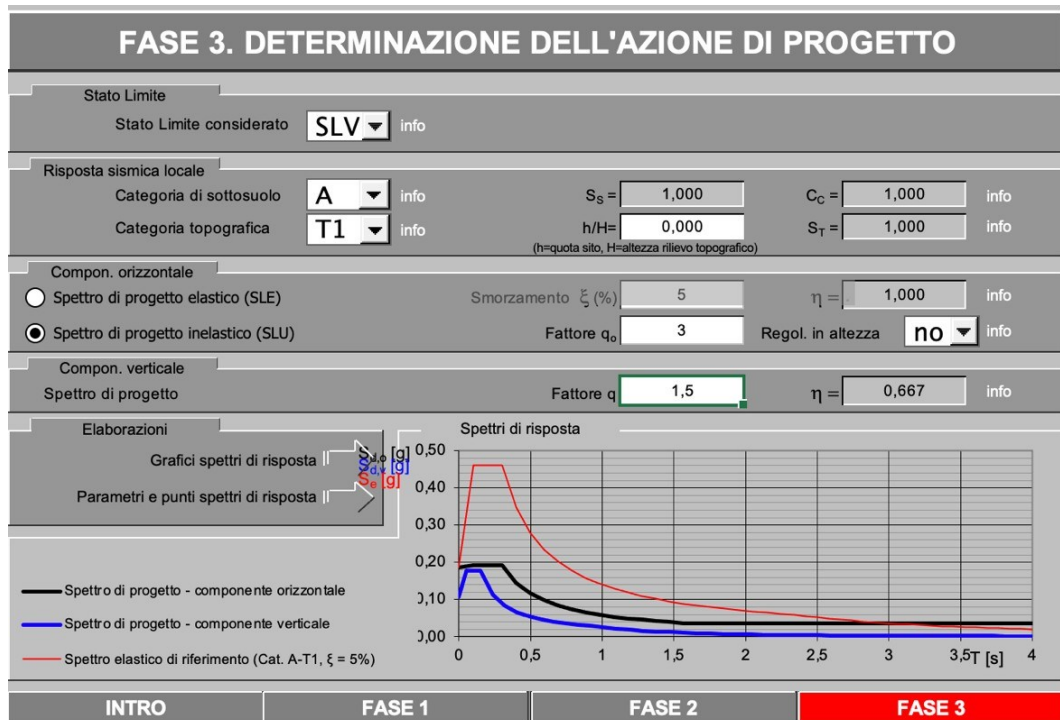


Figura 46 - Impostazione dello Stato Limite, della categoria di sottosuolo e della categoria topografica.

Nella fase 3 (Figura 46), infine, si va ad impostare lo Stato Limite considerato, la categoria di sottosuolo e la categoria topografica.

Si sceglie, dunque:

- Stato Limite = Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- Categoria di sottosuolo = A e B;
- Categoria topografica = T1 e T2.

Dopo aver impostato tutti i parametri, si ricavano i tre dati principali che riescono a fornirci lo spettro di risposta: a_g , T_c^* e F_0 (Figura 47).

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a_d	0,185 g
F_0	2,479
T_c^*	0,304 s
S_s	1,000
C_c	1,000
S_T	1,000
q	2,400

Figura 47 - Esempio del comune di Piagge – Pesaro-Urbino.

6.2 Il modello bayesiano

Il risultato finale di questa tesi di ricerca è dovuto all'utilizzo del software Hugin, il quale ha portato alla creazione di una rete bayesiana sviluppata sulla base di un modello ridotto analizzato precedentemente nel *paragrafo 3.6*.

Il database descritto nel *paragrafo 6.1* è stato generato da una serie di indagini, effettuate su 37 edifici reali che hanno fornito parametri tecnici, i quali hanno permesso di fare una stima della vulnerabilità sismica.

Ognuno di questi parametri, rappresentati nelle singole colonne come *variabili*, ha assunto valori in relazione agli edifici analizzati visti come una serie di situazioni reali. Ad ogni singola riga definita con il termine *osservazione* viene associata quindi una situazione reale.

Ognuna di queste variabili ha un determinato dominio, sulla base del quale è stata costruita una vera e propria statistica.

La distribuzione di probabilità dei valori, quindi il numero delle volte che assume un determinato range piuttosto che un altro, dipende dal numero di edifici correlato a quel determinato valore rispetto al numero totale.

La rete bayesiana, quindi, è un grafo diretto aciclico caratterizzato da un insieme di variabili aleatorie rappresentate graficamente tramite dei “cerchi” definiti “nodi”.

Prima di arrivare a definire la distribuzione di probabilità però tutte le variabili devono essere processate, definendone la tipologia tra nominale e numerica.

Nel modello oggetto di questa tesi sviluppato tramite il software le variabili sono espresse come variabili numeriche e nominali. Sulle variabili numeriche possiamo fare diverse considerazioni sulla loro natura in quanto possono essere trattate o come variabili continue o come variabili discrete. Per ognuna di queste ultime è necessario fare una discretizzazione “*discretize value*” in modo tale da ottenere poi un dominio non più sottoforma di singolo valore bensì di intervalli definiti come “range”.

Cosa succede all'interno della distribuzione di probabilità? Alcune classi di prestazione mappano meglio rispetto ad altre in quanto le variabili si strutturano secondo un rapporto di causa effetto. Tali correlazioni sono raffigurate nel modello bayesiano attraverso delle “freccie”.

La freccia rappresenta una densità di probabilità condizionata, ovvero la probabilità che il valore della variabile X sia di un certo tipo rispetto ad una variabile Y .

Dal punto di vista del calcolo probabilistico, tuttavia, ogni forma di inferenza corrisponde nell'osservazione di alcuni parametri (nodi) e nella propagazione di tali osservazioni attraverso la rete agli altri parametri. Osservare un parametro significa attribuire alla corrispondente variabile aleatoria una particolare distribuzione di probabilità. Nel caso in cui si abbia perfetta certezza del valore del parametro si assegna il valore del 100% di probabilità al range in cui tale valore ricade. L'osservazione di un valore in un nodo innesca il ricalcolo delle distribuzioni di probabilità di tutti i nodi. Più in generale, e questo è forse il caso più interessante, è possibile assegnare una distribuzione di probabilità, piuttosto che una singola evidenza, che esprime un giudizio più incerto sui valori della variabile (nodo). L'attribuzione di una tale distribuzione viene propagata al resto della rete analogamente all'assegnazione di una singola evidenza. Questa possibilità permette di rappresentare giudizi degli esperti che contengono una qualsiasi forma di incertezza.

Esistono molte possibili topologie per modellare uno dato problema mediante reti bayesiane, e, nella pratica, non esiste una soluzione in assoluto migliore. Tuttavia, una topologia estremamente semplice conosciuta come *Naive Bayes Classifier* (NBC) si rivela efficace in numerose situazioni. Un NBC è una rete bayesiana con topologia ad albero, formata da un nodo radice il cui dominio è formato dall'insieme delle classi possibili, collegato ad un insieme di nodi foglie che rappresentano i parametri i cui valori caratterizzano le differenti classi.

Una delle principali caratteristiche delle reti bayesiane è la loro flessibilità nell'integrare sorgenti di informazioni di natura diversa mantenendone e/o evidenziandone esplicitamente la loro struttura logica. Le reti bayesiane possono essere costruite mappando le equazioni analitiche che rappresentano un qualsiasi processo o sistema sulle relazioni probabilistiche fra nodi, possono essere costruite a partire da giudizi qualitativi di esperti o, attraverso processi di apprendimento (*data-mining*), direttamente da insiemi di dati. I tre processi non sono esclusivi e possono essere integrati nel processo di sviluppo della rete.

La procedura di apprendimento dei dati è composta da tre passaggi:

1. discretizzazione dei domini,
2. apprendimento strutturale,
3. apprendimento delle tabelle di probabilità condizionata (EM Learning).

La discretizzazione dei domini delle variabili è un passaggio estremamente delicato, in quanto introduce un errore che tende a rendere l'inferenza di natura qualitativa.

Il livello di discretizzazione dei domini deve essere quindi attentamente controllato, utilizzando, dove possibile, soglie che abbiano un preciso valore semantico o operativo nel dominio di interesse.

L'apprendimento strutturale serve a definire la topologia della rete e, di solito, è un processo che si svolge per approssimazioni successive sotto la supervisione del modellista. Infine, l'apprendimento delle tabelle di probabilità condizionata avviene in automatico attraverso l'algoritmo di *expectation maximization (EM-Learning)*.

Il modello bayesiano utilizzato per la vulnerabilità sismica è formato da una rete bayesiana mista, che utilizza cioè sia nodi discreti che continui, con topologia NBC. La rete è stata ricavata utilizzando la procedura di apprendimento *EM-Learning* delle reti bayesiane, formata da due passaggi:

1. discretizzazione dei domini,
2. apprendimento delle tabelle di probabilità condizionata (*EM Learning*).

La discretizzazione delle variabili è stata operata per quanto possibile utilizzando un buon livello di risoluzione ed una ampiezza uniforme degli intervalli. Questo permette di non specializzare il modello sul particolare data-set.

La rete bayesiana risultante è mostrata in *Figura 48 – Figura 49*.

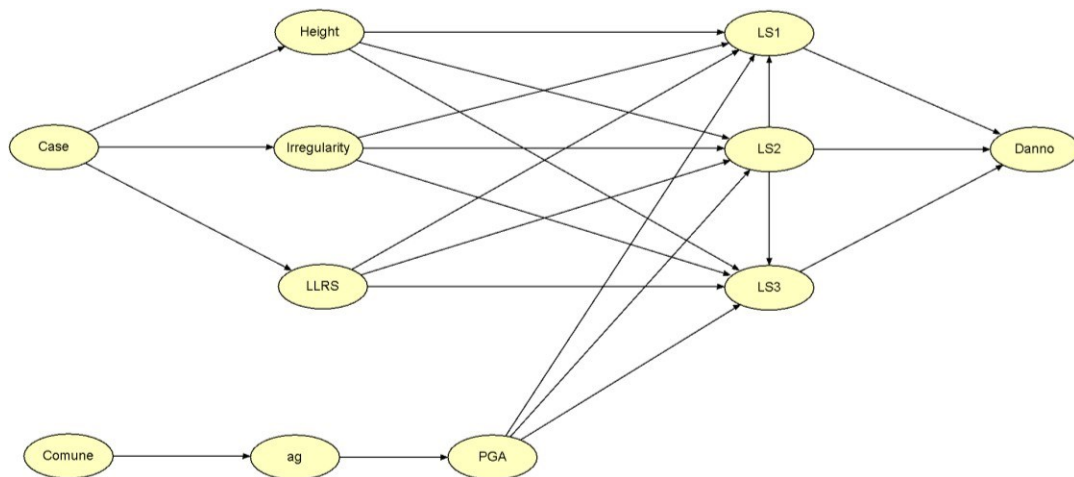


Figura 48 - Rete bayesiana per il calcestruzzo armato.

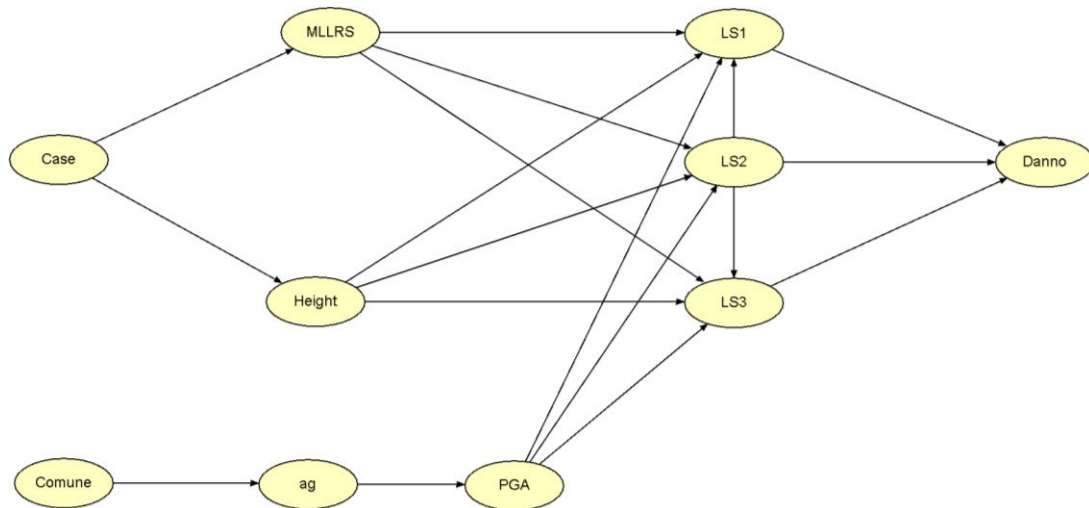


Figura 49 - Rete bayesiana per la muratura.

Come accennato precedentemente, non tutti i parametri del modello ridotto utilizzato per la simulazione sono stati utilizzati per la rete, in quanto non strettamente necessari per condurre le inferenze. Si è così ottenuta una ulteriore riduzione del numero di parametri rendendo il modello maggiormente intelligibile.

L'utilizzo di un modello bayesiano come rappresentazione della struttura degli indici del CBR realizza un'astrazione sull'insieme dei parametri che sono alla base del modello CBR. La statistica generata sulla base dei casi permette di ridurre ulteriormente il numero di parametri utilizzati nel modello ridotto, utilizzando al loro posto parametri più sintetici direttamente osservabili.

7. Conclusioni

In questa tesi abbiamo discusso l'architettura di un sistema di supporto alle decisioni per la valutazione del rischio sismico degli edifici. È stato discusso un caso di studio limitato ad un database di edifici, sviluppato in collaborazione con GUMPUB s.r.l.

Il contributo ha mostrato come l'analisi della vulnerabilità sismica degli edifici ci fornisce un livello di danno in base al loro comportamento in caso di sisma.

L'integrazione delle reti bayesiane come ulteriore raffinamento del sistema degli indici ha permesso di raggiungere una buona flessibilità operativa. Infine, il sistema di ragionamento *Case Based* ha permesso di estendere l'ambito dell'inferenza integrando, per quanto possibile, anche informazione non strutturata.

Il sistema mostrato nel presente lavoro rappresenta una *proof of concept* di un sistema più sviluppato che integrerà, con lo stesso paradigma anche altri ambiti di analisi, quali la valutazione dell'efficientamento energetico e la valutazione della potenzialità nel lay-out degli spazi. La struttura della rete bayesiana utilizzata rappresenta solamente un'ipotesi iniziale.

La macchina, quindi, fornirà una stima senza effettuare valutazioni, allora un'azienda che mette a sistema il suo operare avrà creato un progresso che gli darà la possibilità di guadagnare tempo, uno tra gli obiettivi finali di questa tesi di ricerca.

Appendice A

Tabella G1 – Tassonomia degli edifici GEM: attributi.

TaxT Attribute Group	#	Attribute	Reference	Attribute levels	Type	Example
Structural System	1	Direction	Table 1	Direction of the building		
	2	Material of the Lateral Load-Resisting System	Table 2	Material type (Level 1)	Text	Steel
				Material technology (Level 2)		
				Material properties (Level 3)		
	3	Lateral Load-Resisting System	Table 3	Type of lateral load-resisting system (Level 1)	Text	Braced frame
				System ductility (Level 2)		
Building Information	4	Height	Table 4	Height	Integer	4
	5	Date of Construction or Retrofit	Table 5	Construction completed (year)	Integer	1925
	6	Occupancy	Table 6	Building occupancy class - general (Level 1)	Text	Residential
Building occupancy class - detail (Level 2)						
Exterior Attributes	7	Building Position within a Block	Table 7		Text	
	8	Shape of the Building Plan	Table 8	Plan shape (footprint)	Text	
	9	Structural Irregularity	Table 9	Regular or irregular (Level 1)	Text	Re-entrant corner
				Plan irregularity or vertical irregularity (Level 2)		
Type of irregularity (Level 3)						
10	Exterior Walls	Table 10	Exterior walls	Text	Wood	

TaxT Attribute Group	#	Attribute	Reference	Attribute levels	Type	Example
Roof/Floor/ Foundation	11	Roof	Table 12	Roof shape (Level 1)	Text	Tile (clay, concrete)
				Roof covering (Level 2)		
				Roof system material (Level 3)		
				Roof system type (Level 4)		
				Roof connections (Level 5)		
	12	Floor	Table 11	Floor system material (Level 1)	Text	Concrete
				Floor system type (Level 2)		
				Floor connections (Level 3)		
	13	Foundation System	Table 13	Foundation system	Text	Shallow foundation, with lateral capacity

Tabella A-1 – Direzione.

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)
	Direction of building under consideration		Description of the direction
DX	Direction X		
		D99	Unspecified direction
		PF	Parallel to street
DY	Direction Y		
		D99	Unspecified direction
		OF	Perpendicular to street

Tabella A-2 – Materiale del sistema di resistenza al carico laterale.

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Material type		Material technology		Material properties
Attribute_ Type_Code	MAT_TYPE		MAT_TECH		
MAT99	Unknown material				
C99	Concrete, unknown reinforcement	CT99	Unknown concrete technology		
CU	Concrete, unreinforced	CIP	Cast-in-place concrete		
CR	Concrete, reinforced	PC	Precast concrete		
SRC	Concrete, composite with steel section	CIPPS	Cast-in-place prestressed concrete		
		PCPS	Precast prestressed concrete		
S	Steel			STEEL_CONN	
		S99	Steel, unknown	SC99	Steel connections, unknown
		SL	Cold-formed steel members	WEL	Welded connections
		SR	Hot-rolled steel members	RIV	Riveted connections
		SO	Steel, other	BOL	Bolted connections
ME	Metal (except steel)				
		ME99	Metal, unknown		
		MEIR	Iron		
		MEO	Metal, other		

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Material type		Material technology		Material properties
Attribute_Type_Code	MAT_TYPE	MAT_TECH		MAS_MORT	
M99	Masonry, unknown reinforcement	MUN99	Masonry unit, unknown	MO99	Mortar type unknown
MUR	Masonry, unreinforced	ADO	Adobe blocks	MON	No mortar
MCF	Masonry, confined	ST99	Stone, unknown technology	MOM	Mud mortar
MR	Masonry, reinforced	STRUB	Rubble (field stone) or semi-dressed stone	MOL	Lime mortar
		STDRE	Dressed stone	MOC	Cement mortar
		CL99	Fired clay unit, unknown type	MOCL	Cement:lime mortar
		CLBRS	Fired clay solid bricks	SP99	Stone, unknown type
		CLBRH	Fired clay hollow bricks	SPLI	Limestone
		CLBLH	Fired clay hollow blocks or tiles	SPSA	Sandstone
		CB99	Concrete blocks, unknown type	SPTU	Tuff
		CBS	Concrete blocks, solid	SPSL	Slate
		CBH	Concrete blocks, hollow	SPGR	Granite
		MO	Masonry unit, other	SPBA	Basalt
		MASS_REIN		SPO	Stone, other type
		MR99	Masonry reinforcement, unknown		
		RS	Steel-reinforced		
		RW	Wood-reinforced		
		RB	Bamboo-, cane- or rope-reinforced		
		RCM	Fibre reinforcing mesh		
		RCB	Reinforced concrete bands		

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Material type		Material technology		Material properties
Attribute_Type _Code	MAT_TYPE		MAT_TECH		
E99	Earth, unknown reinforcement	ET99	Unknown earth technology		
EU	Earth, unreinforced	ETR	Rammed earth		
ER	Earth, reinforced	ETC	Cob or wet construction		
		ETO	Earth technology, other		
W	Wood				
		W99	Wood, unknown		
		WHE	Heavy wood		
		WLI	Light wood members		
		WS	Solid wood		
		WWD	Wattle and daub		
		WBB	Bamboo		
		WO	Wood, other		
MATO	Other material				

Tabella A-3 – Sistema di resistenza al carico laterale.

ID	Level 1 (L2)	ID	Level 2 (L2)
	Type of lateral load-resisting system		System ductility
Attribute_Type _Code	LLRS		LLRS_DUCT
L99	Unknown lateral load-resisting system	DU99	Ductility unknown
LN	No lateral load-resisting system	DUC	Ductile
LFM	Moment frame	DNO	Non-ductile
LFINF	Infilled frame	DBD	Equipped with base isolation and/or energy dissipation devices
LFBR	Braced frame		
LPB	Post and beam		
LWAL	Wall		
LDUAL	Dual frame-wall system		
LFLS	Flat slab/plate or waffle slab		
LFLSINF	Infilled flat slab/plate or infilled waffle slab		
LH	Hybrid lateral load-resisting system		
LO	Other lateral load-resisting system		

Tabella A-4 – Altezza.

ID	Level 1 (L1)	ID		Definition	Examples
	Height				
Attribute_Type_Code					
H99	Number of storeys unknown				
Attribute_Type_Code STORY_AG					
H	Number of storeys above ground				
		HBET	Range of number of storeys above ground	HBET:a,b = range of number of storeys (a=upper bound and b= lower bound)	Range HBET:3,1 (height range from 1 to 3 storeys)
		HEX	Exact number of storeys above ground	HEX:n = maximum number of storeys above ground level	Fixed number (integer) HEX:2 (two storeys)
		HAPP	Approximate number of storeys above ground	HAPP:n = approximate number of storeys above ground level	Fixed number (integer) HAPP:2 (two storeys)

ID	Level 1 (L1)	ID		Definition	Examples
	Height				
Attribute_Type_Code STORY_BG					
HB	Number of storeys below ground				
		HB99	Number of storeys below ground unknown		
		HBET	Range of number of storeys below ground		Range (meters) HBET: 3,1 (between 1 and 3 levels of basement)
		HBEX	Exact number of storeys below ground		Fixed number (integer) e.g. HBEX:2 (two levels of basement)
		HBAPP	Approximate number of storeys below ground		
Attribute_Type_Code HT_GR_GF					
HF	Height of ground floor level above grade				
		HF99	Height of ground floor level above grade unknown		
		HFBET	Range of height of ground floor level above grade	HFBET: a,b (a= upper bound and b=lower bound)	Range (meters) HFBET: 1.0,0.5 (between 0.5 m and 1.0 m)
		HFEX	Exact height of ground floor level above grade		HFEX: 0.75 (exactly 0.75 m)

ID	Level 1 (L1)	ID		Definition	Examples
	Height				
		HFAPP	Approximate height of ground floor level above grade		HFAPP: 0.5 (approximately 0.5 m)
Attribute_Type_Code SLOPE					
	Slope of the ground				
		HD99	Slope of the ground unknown		
		HD	Slope of the ground	HD:a	Integer (degrees) e.g. HD:10 (10 degrees)

Tabella A-5 – Data di costruzione.

ID	Level 1 (L1)	Definition	Examples
	Date of construction or retrofit		
Attribute_Type_Code YR_BUILT			
Y99	Year unknown		
YEX	Exact date of construction or retrofit	Year during which the construction was completed or retrofitted.	YEX:1936
YBET	Upper and lower bound for the date of construction or retrofit	The construction likely took place between 1930 and 1940.	YBET:1940,1930
YPRE	Latest possible date of construction or retrofit	The construction was completed before the World War II, thus the year entered is 1939.	YPRE:1939
YAPP	Approximate date of construction or retrofit	The construction was completed approximately in 1935	YAPP:1935

Nota: esiste la possibilità di inserire informazioni relative alla data di costruzione originale o al retrofit, a seconda di quale evento si verifica successivamente. Ad esempio, se un edificio è stato costruito nel 1936 ed è stato ristrutturato nel 1991, l'utente deve inserire 1991.

Tabella A-6 – Occupazione.

ID	Level 1 (L1)		ID	Level 2 (L2)
	Building occupancy class - general	Definition		Building occupancy class - detail
Attribute_ Type_Code	OCCUPCY			OCCUPCY_DT
OC99	Unknown occupancy type			
RES	Residential			
			RES99	Residential, unknown type
			RES1	Single dwelling
			RES2	Multi-unit, unknown type
			RES2A	2 Units (duplex)
			RES2B	3-4 Units
			RES2C	5-9 Units
			RES2D	10-19 Units
			RES2E	20-49 Units
			RES2F	50+ Units
			RES3	Temporary lodging
			RES4	Institutional housing
			RES5	Mobile home
			RES6	Informal housing
COM	Commercial and public			
			COM99	Commercial and public, unknown type
			COM1	Retail trade

ID	Level 1 (L1)		ID	Level 2 (L2)
	Building occupancy class - general	Definition		Building occupancy class - detail
			COM2	Wholesale trade and storage (warehouse)
Attribute_ Type_Code	OCCUPCY			OCCUPCY_DT
			COM3	Offices, professional/technical services
			COM4	Hospital/medical clinic
			COM5	Entertainment
			COM6	Public building
			COM7	Covered parking garage
			COM8	Bus station
			COM9	Railway station
			COM10	Airport
			COM11	Recreation and leisure
MIX	Mixed use			
			MIX99	Mixed, unknown type
			MIX1	Mostly residential and commercial
			MIX2	Mostly commercial and residential
			MIX3	Mostly commercial and industrial

			MIX4	Mostly residential and industrial
			MIX5	Mostly industrial and commercial
			MIX6	Mostly industrial and residential
ID	Level 1 (L1)		ID	Level 2 (L2)
	Building occupancy class - general	Definition		Building occupancy class - detail
IND	Industrial			
			IND99	Industrial, unknown type
			IND1	Heavy industrial
			IND2	Light industrial
AGR	Agriculture			
			AGR99	Agriculture, unknown type
			AGR1	Produce storage
			AGR2	Animal shelter
			AGR3	Agricultural processing
ASS	Assembly			
			ASS99	Assembly, unknown type
			ASS1	Religious gathering
			ASS2	Arena
			ASS3	Cinema or concert hall
			ASS4	Other gatherings

GOV	Government			
			GOV99	Government, unknown type
			GOV1	Government, general services
			GOV2	Government, emergency response
EDU	Education			
			EDU99	Education, unknown type
ID	Level 1 (L1)		ID	Level 2 (L2)
	Building occupancy class - general	Definition		Building occupancy class - detail
			EDU1	Pre-school facility
			EDU2	School
			EDU3	College/university, offices and/or classrooms
			EDU4	College/university, research facilities and/or labs
OCO	Other occupancy type			

Tabella A-7 – Posizione dell'edificio all'interno di un blocco.

ID	Level 1 (L1)
	Building Position within a Block
Attribute_Type_Code	POSITION
BP99	Unknown building position
BPD	Detached building
BP1	Adjoining building(s) on one side
BP2	Adjoining buildings on two sides
BP3	Adjoining buildings on three sides

Tabella A-8 – Forma della pianta dell'edificio.

ID	Level 1 (L1)
	Shape of the Building Plan
Attribute_Type_Code	PLAN_SHAPE
PLF99	Unknown plan shape
PLFSQ	Square, solid
PLFSQO	Square, with an opening in plan
PLFR	Rectangular, solid
PLFRO	Rectangular, with an opening in plan
PLFL	L-shape
PLFC	Curved, solid (e.g. circular, elliptical, ovoid)
PLFCO	Curved, with an opening in plan
PLFD	Triangular, solid
PLFDO	Triangular, with an opening in plan
PLFP	Polygonal, solid (e.g. trapezoid, pentagon, hexagon)
PLFPO	Polygonal, with an opening in plan
PLFE	E-shape
PLFH	H-shape
PLFS	S-shape
PLFT	T-shape
PLFU	U- or C-shape
PLFX	X-shape
PLFY	Y-shape
PLFI	Irregular plan shape

Tabella A-9 – Irregolarità strutturale.

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Regular or irregular		Plan irregularity or vertical irregularity		Type of irregularity
Attribute_Type_Code STR_IRREG					
IR99	Unknown structural irregularity				
IRRE	Regular structure				
IRIR	Irregular structure				
Attribute_Type_Code STR_HZIR_P					
		IRPP	Plan irregularity-primary	IRN	No irregularity
				TOR	Torsion eccentricity
				REC	Re-entrant corner
				IRHO	Other plan irregularity
Attribute_Type_Code STR_HZIR_S					
		IRPS	Plan irregularity-secondary	IRN	No irregularity
				TOR	Torsion eccentricity
				REC	Re-entrant corner
				IRHO	Other plan irregularity

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Regular or irregular		Plan irregularity or vertical irregularity		Type of irregularity
		Attribute_Type_Code	STR_VEIR_P		
		IRVP	Vertical structural irregularity - primary	IRN	No irregularity
				SOS	Soft storey
				CRW	Cripple wall
				SHC	Short column
				POP	Pounding potential
				SET	Setback
				CHV	Change in vertical structure (includes large overhangs)
				IRVO	Other vertical irregularity
		Attribute_Type_Code	STR_VEIR_S		
		IRVS	Vertical structural irregularity - secondary	IRN	No irregularity
				SOS	Soft storey
				CRW	Cripple wall
				SHC	Short column
				POP	Pounding potential
				SET	Setback
				CHV	Change in vertical structure (includes large overhangs)
				IRVO	Other vertical irregularity

Tabella A-10 – Pareti esterne.

ID	Level 1 (L1)
	Exterior Walls
Attribute_Type_Code	NONSTRCEXW
EW99	Unknown material of exterior walls
EW9	Concrete exterior walls
EWG	Glass exterior walls
EWE	Earthen exterior walls
EWMA	Masonry exterior walls
EWME	Metal exterior walls
EWV	Vegetative exterior walls
EWV	Wooden exterior walls
EWSL	Stucco finish on light framing for exterior walls
EWPL	Plastic/vinyl exterior walls, various
EWCB	Cement-based boards for exterior walls
EWO	Material of exterior walls, other

Tabella A-11 – Tetto.

ID	Level 1	ID	Level 2	ID	Level 3 (L3)	ID	Level 4 (L4)	ID	Level 5 (L5)
	Roof shape		Roof covering		Roof system material		Roof system type		Roof connections¹
Attribute_Type_Code	ROOF_SHAPE		ROOFCOVMAT		ROOFSYSMAT		ROOFSYSTYP		ROOF_CONN
RSH99	Unknown roof shape	RMT99	Unknown roof covering	R99	Roof material, unknown			RWC99	Roof-wall diaphragm connection unknown
RSH1	Flat	RMN	Concrete roof without additional covering					RWCN	Roof-wall diaphragm connection not provided
RSH2	Pitched with gable ends	RMT1	Clay or concrete tile roof covering	RM	Masonry roof			RWCP	Roof-wall diaphragm connection present
RSH3	Pitched and hipped	RMT2	Fibre cement or metal tile roof covering			RM99	Masonry roof, unknown	RTD99	Roof tie-down unknown
RSH4	Pitched with dormers					RM1	Vaulted masonry roof	RTDN	Roof tie-down not provided
RSH5	Monopitch	RMT3	Membrane roof covering			RM2	Shallow-arched masonry roof	RTDP	Roof tie-down present
RSH6	Sawtooth	RMT4	Slate roof covering			RM3	Composite masonry and concrete roof system		
RSH7	Curved	RMT5	Stone slab roof covering	RE	Earthen roof				
RSH8	Complex regular	RMT6	Metal or asbestos sheet roof covering			RE99	Earthen roof, unknown		
RSH9	Complex irregular	RMT7	Wooden or asphalt shingle roof covering			RE1	Vaulted earthen roof		

ID	Level 1	ID	Level 2	ID	Level 3 (L3)	ID	Level 4 (L4)	ID	Level 5 (L5)
	Roof shape		Roof covering		Roof system material		Roof system type		Roof connections¹
RSHO	Roof shape, other	RMT8	Vegetative roof covering	RC	Concrete roof				
		RMT9	Earthen roof covering			RC99	Concrete roof, unknown		
		RMT10	Solar panelled roofs			RC1	Cast-in-place beamless reinforced concrete roof		
		RMT11	Tensile membrane or fabric roof			RC2	Cast-in-place beam-supported reinforced concrete roof		
		RMT0	Roof covering, other			RC3	Precast concrete roof with reinforced concrete topping		
						RC4	Precast concrete roof without reinforced concrete topping		
				RME	Metal roof				
						RME99	Metal roof, unknown		
						RME1	Metal beams or trusses supporting light roofing		
						RME2	Metal roof beams supporting precast concrete slabs		
						RME3	Composite steel roof deck and concrete slab		
				RWO	Wooden roof				
						RWO99	Wooden roof, unknown		
						RWO1	Wooden structure with light roof covering		

ID	Level 1	ID	Level 2	ID	Level 3 (L3)	ID	Level 4 (L4)	ID	Level 5 (L5)
	Roof shape		Roof covering		Roof system material		Roof system type		Roof connections ¹
						RWO2	Wooden beams or trusses with heavy roof covering		
						RWO3	Wood-based sheets on rafters or purlins		
						RWO4	Plywood panels or other light-weight panels for roof		
						RWO5	Bamboo, straw or thatch roof		
				RFA	Fabric roof				
						RFA1	Inflatable or tensile membrane roof		
						RFAO	Fabric roof, other		
				RO	Roof material, other				

Tabella A-12 – Piano.

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Floor system material		Floor system type		Floor connections
Attribute_Type _Code	FLOOR_MAT		FLOOR_TYPE		FLOOR_CONN
FN	No elevated or suspended floor material (single-storey building)				
F99	Floor material, unknown			FWC99	Floor-wall diaphragm connection unknown
FM	Masonry floor			FWCN	Floor-wall diaphragm connection not provided
		FM99	Masonry floor, unknown	FWCP	Floor-wall diaphragm connection present
		FM1	Vaulted masonry floor		
		FM2	Shallow-arched masonry floor		
		FM3	Composite cast-in-place reinforced concrete and masonry floor system		
FE	Earthen floor				
		FE99	Earthen floor, unknown		
FC	Concrete floor				
		FC99	Concrete floor, unknown		
		FC1	Cast-in-place beamless reinforced concrete floor		
		FC2	Cast-in-place beam-supported reinforced concrete floor		
		FC3	Precast concrete floor with reinforced concrete topping		

ID	Level 1 (L1)	ID	Level 2 (L2)	ID	Level 3 (L3)
	Floor system material		Floor system type		Floor connections
		FC4	Precast concrete floor without reinforced concrete topping		
FME	Metal floor				
		FME99	Metal floor, unknown		
		FME1	Metal beams, trusses, or joists supporting light flooring		
		FME2	Metal floor beams supporting precast concrete slabs		
		FME3	Composite steel deck and concrete slab		
FW	Wooden floor				
		FW99	Wooden floor, unknown		
		FW1	Wooden beams or trusses and joists supporting light flooring		
		FW2	Wooden beams or trusses and joists supporting heavy flooring		
		FW3	Wood-based sheets on joists or beams		
		FW4	Plywood panels or other light-weight panels for floor		
FO	Floor material, other				

Tabella A-13 – Sistema di fondazione.

ID	Level 1 (L1)
	Foundation System
Attribute_Type_Code	FOUNDN_SYS
FOS99	Unknown foundation system
FOSSL	Shallow foundation, with lateral capacity
FOSN	Shallow foundation, no lateral capacity
FOSDL	Deep foundation, with lateral capacity
FOSDN	Deep foundation, no lateral capacity
FOSO	Foundation, other

Appendice B

Tabella B-1 – Edifici in calcestruzzo armato forniti dalla piattaforma OpenQuake.

Case	Direction	MLLRs	LLRS	Height	Date	Occupancy	Position	Shape	Irregularity	Walls	Roof	Floor	Foundation	PGA	LS1	LS2	LS3	Rischio
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,28	0,04	0,01	NULLO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,6	0,2	0,09	BASSO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,79	0,38	0,21	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,88	0,55	0,37	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,95	0,67	0,51	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,98	0,83	0,73	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,91	0,85	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,18	0,02	0,01	NULLO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,47	0,1	0,05	BASSO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,73	0,24	0,15	BASSO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,85	0,4	0,28	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,93	0,56	0,14	MEDIO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,98	0,76	0,63	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,87	0,78	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,06	0,001	0,001	NULLO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,27	0,04	0,02	NULLO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,46	0,06	0,04	BASSO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,63	0,17	0,1	BASSO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,78	0,25	0,18	BASSO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,91	0,44	0,32	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,97	0,62	0,52	ALTO

Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,12	0,03	0,01	NULLO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,37	0,1	0,05	NULLO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,59	0,22	0,13	BASSO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,77	0,38	0,23	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,36	0,5	0,85	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,95	0,72	0,58	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,98	0,84	0,72	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,07	0,03	0,01	NULLO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,27	0,05	0,03	NULLO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,48	0,15	0,06	BASSO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,66	0,28	0,14	BASSO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,78	0,41	0,24	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,92	0,63	0,46	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,96	0,89	0,64	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,17	0,04	0,02	NULLO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,53	0,15	0,07	BASSO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,72	0,31	0,19	MEDIO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,84	0,49	0,32	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,92	0,63	0,46	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,98	0,84	0,7	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,93	0,84	ALTO

Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,16	0,03	0,01	NULLO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,47	0,12	0,05	BASSO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,67	0,26	0,15	BASSO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,82	0,43	0,28	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,91	0,6	0,42	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,97	0,8	0,63	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,99	0,91	0,81	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,03	0,01	0	NULLO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,13	0,03	0,02	NULLO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,26	0,08	0,03	NULLO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,44	0,18	0,08	BASSO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,57	0,26	0,18	BASSO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,78	0,5	0,47	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,87	0,64	0,55	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,02	0	0	NULLO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,07	0,03	0,01	NULLO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,2	0,05	0,03	NULLO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,37	0,15	0,06	NULLO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,5	0,23	0,15	BASSO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,75	0,43	0,33	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,85	0,61	0,51	ALTO

Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,05	0,02	0,01	NULLO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,25	0,08	0,04	NULLO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,45	0,21	0,12	BASSO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,65	0,35	0,24	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,79	0,48	0,36	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,92	0,69	0,57	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,97	0,82	0,73	ALTO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,05	0,02	0,01	NULLO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,2	0,04	0,03	NULLO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,37	0,11	0,06	NULLO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,56	0,23	0,14	BASSO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,66	0,35	0,23	ALTO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,83	0,57	0,42	ALTO
Borzi_11	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,92	0,73	0,61	ALTO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,01	0	0	NULLO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,03	0,01	0	NULLO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,1	0,03	0,01	NULLO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,22	0,08	0,04	NULLO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,35	0,17	0,08	NULLO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,59	0,31	0,21	ALTO
Borzi_12	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,76	0,5	0,37	ALTO

Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,02	0	0	NULLO
Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,04	0,02	0,01	NULLO
Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,1	0,04	0,03	NULLO
Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,21	0,1	0,07	NULLO
Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,35	0,2	0,13	NULLO
Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,56	0,38	0,28	ALTO
Borzi_13	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,73	0,56	0,45	ALTO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,02	0	0	NULLO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,09	0,02	0	NULLO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,21	0,03	0,01	NULLO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,38	0,11	0,01	NULLO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,51	0,19	0,03	BASSO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,73	0,38	0,12	MEDIO
Borzi_14	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,85	0,58	0,24	ALTO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,02	0	0	NULLO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,06	0,01	0	NULLO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,17	0,03	0,01	NULLO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,33	0,08	0,04	NULLO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,44	0,12	0,08	BASSO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,62	0,27	0,17	BASSO
Borzi_15	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,79	0,42	0,3	ALTO

Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,15	0,03	0,02	NULLO
Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,45	0,16	0,1	BASSO
Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,67	0,31	0,22	ALTO
Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,82	0,5	0,41	ALTO
Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,89	0,63	0,52	ALTO
Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,95	0,82	0,76	ALTO
Borzi_16	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,99	0,92	0,84	ALTO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,03	0	0	NULLO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,12	0,02	0,01	NULLO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,29	0,3	0,08	NULLO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,46	0,18	0,1	BASSO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,6	0,29	0,19	BASSO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,8	0,52	0,39	ALTO
Borzi_17	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,89	0,7	0,59	ALTO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,03	0,02	0,01	NULLO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,16	0,05	0,02	NULLO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,31	0,28	0,06	NULLO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,5	0,31	0,15	MEDIO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,62	0,41	0,22	ALTO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,81	0,62	0,43	ALTO
Borzi_18	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,9	0,78	0,61	ALTO

Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,01	0	0	NULLO
Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,05	0,02	0,01	NULLO
Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,16	0,07	0,02	NULLO
Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,3	0,17	0,12	NULLO
Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,4	0,23	0,17	NULLO
Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,62	0,45	0,32	ALTO
Borzi_19	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,78	0,62	0,51	ALTO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,08	0,01	0	NULLO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,31	0,05	0,03	NULLO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,55	0,17	0,07	BASSO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,72	0,32	0,19	MEDIO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,82	0,46	0,31	ALTO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,95	0,72	0,57	ALTO
Borzi_20	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,99	0,84	0,75	ALTO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,02	0	0	NULLO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,1	0,03	0,02	NULLO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,22	0,1	0,04	NULLO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,4	0,2	0,12	NULLO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,56	0,32	0,21	ALTO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,78	0,56	0,41	ALTO
Borzi_21	DX_D99+DY_D99	CR	LFINF+DUC	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IRIR+IRVP:SOS + IRVS:IRN	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,9	0,71	0,61	ALTO

Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,29	0,05	0,01	NULLO
Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,6	0,2	0,08	BASSO
Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,8	0,37	0,21	ALTO
Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,9	0,56	0,37	ALTO
Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,95	0,68	0,52	ALTO
Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,72	0,83	0,98	ALTO
Borzi_22	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,93	0,84	ALTO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,21	0,02	0,01	NULLO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,57	0,16	0,05	BASSO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,78	0,3	0,18	BASSO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,88	0,49	0,32	ALTO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,95	0,61	0,43	ALTO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,98	0,81	0,78	ALTO
Borzi_23	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,9	0,81	ALTO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,18	0,02	0,01	NULLO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,48	0,11	0,05	BASSO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,71	0,22	0,16	BASSO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,85	0,4	0,27	ALTO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,93	0,55	0,4	ALTO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,99	0,76	0,62	ALTO
Borzi_24	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,85	0,79	ALTO

Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,15	0,02	0,01	NULLO
Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,43	0,08	0,04	BASSO
Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,66	0,2	0,1	BASSO
Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,81	0,37	0,2	MEDIO
Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,9	0,46	0,31	ALTO
Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,98	0,79	0,53	ALTO
Borzi_25	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,99	0,81	0,71	ALTO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,12	0,02	0,01	NULLO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,37	0,04	0,03	NULLO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,57	0,13	0,06	BASSO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,72	0,25	0,17	BASSO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,81	0,38	0,25	ALTO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,92	0,6	0,45	ALTO
Borzi_26	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	6	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,97	0,75	0,63	ALTO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,06	0,01	0,01	NULLO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,27	0,03	0,02	NULLO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,48	0,08	0,04	BASSO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,65	0,17	0,08	BASSO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,79	0,25	0,18	BASSO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,9	0,45	0,37	ALTO
Borzi_27	DX_D99+DY_D99	CR	LFM+DNO	8	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	0,98	0,62	0,51	ALTO

Tabella B-2 – Edifici in muratura forniti dalla piattaforma OpenQuake.

Case	Direction	MLLRS	LLRS	Height	Date	Occupancy	Position	Shape	Irregularity	Walls	Roof	Floor	Foundation	PGA	LS-OP	LS1	LS2	LS3	Rischio
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,36	0,16	0,07	0,03	NULLO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,81	0,43	0,24	0,19	BASSO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,96	0,68	0,42	0,36	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,99	0,82	0,61	0,55	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	1	0,9	0,72	0,66	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,98	0,85	0,84	ALTO
Borzi_1	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,99	0,93	0,92	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,32	0,21	0,07	0,03	NULLO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,81	0,55	0,28	0,18	BASSO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,95	0,76	0,48	0,36	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,99	0,88	0,65	0,53	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	1	0,93	0,78	0,66	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,98	0,9	0,82	ALTO
Borzi_2	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,99	0,96	0,94	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,42	0,4	0,22	0,19	NULLO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,85	0,63	0,56	0,4	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,96	0,78	0,64	0,58	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,99	0,85	0,78	0,7	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	1	0,9	0,84	0,89	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,95	0,92	0,88	ALTO
Borzi_3	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,98	0,97	0,94	ALTO

Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,43	0,4	0,17	0,08	NULLO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,85	0,71	0,45	0,36	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,96	0,85	0,67	0,48	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,99	0,93	0,83	0,68	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	1	0,97	0,9	0,79	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,99	0,97	0,91	ALTO
Borzi_4	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	3	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	1	0,97	0,95	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,59	0,42	0,27	0,19	BASSO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,88	0,78	0,6	0,42	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,98	0,9	0,8	0,62	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,99	0,96	0,89	0,89	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	1	0,98	0,93	0,86	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	1	0,97	0,93	ALTO
Borzi_5	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	1	0,99	0,97	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,67	0,58	0,4	0,21	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,93	0,89	0,65	0,45	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,98	0,89	0,81	0,62	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	1	0,94	0,89	0,76	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	1	0,96	0,92	0,82	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,99	0,98	0,92	ALTO
Borzi_6	DX_D99+DY_D99	MUR_CLBRH	LWAL	5	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,99	0,99	0,95	ALTO

Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,19	0,21	0,05	0,03	NULLO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,52	0,49	0,21	0,12	BASSO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,77	0,68	0,41	0,29	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,89	0,8	0,59	0,45	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,95	0,86	0,7	0,6	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	0,99	0,95	0,84	0,8	ALTO
Borzi_7	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,98	0,91	0,89	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	1,1	1	0,04	0,3	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,51	0,35	0,18	0,1	NULLO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,79	0,58	0,33	0,24	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,92	0,73	0,51	0,41	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,98	0,82	0,63	0,58	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,94	0,82	0,79	ALTO
Borzi_8	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	2	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,98	0,91	0,89	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,2	0,21	0,13	0,05	NULLO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,61	0,59	0,38	0,21	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,81	0,77	0,58	0,41	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,92	0,87	0,73	0,6	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,98	0,94	0,82	0,73	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,98	0,93	0,87	ALTO
Borzi_9	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	1	0,95	0,94	ALTO

Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,1	0,13	0,22	0,1	0,05	NULLO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,15	0,58	0,52	0,32	0,2	MEDIO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,2	0,83	0,7	0,5	0,41	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,25	0,96	0,83	0,64	0,6	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,3	0,98	0,89	0,78	0,71	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,4	1	0,96	0,89	0,88	ALTO
Borzi_10	DX_D99+DY_D99	MUR_STDRE	LWAL	4	Y99	OC99	BP99	PLF99	IR99	EW99	RSH99	F99	FOS99	0,5	1	0,98	0,94	0,94	ALTO

Bibliografia e sitografia

- Normativa Europea EN ISO 15221: Facility Management
- <http://www.tdmconsulting.it/real-estate-cose/>
- <https://www.nomisma.it/valorizzazione-patrimonio-immobiliare/>
- Real Estate Management: Materiali di Asset e Facility di Matteo Belardi, Stefano Luigi Mastrodonato
- <https://biblus.acca.it/rischio-sismico-si-determina-la-classe-rischio-sismico-un-edificio/>
- <https://www.globalquakemodel.org/openquake>
- <https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/normativa/2017-03/DM%2065%20del%2007-03-2017%20All%20A.pdf>
- <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15583050701828178>
- https://www.researchgate.net/publication/316511572_VALUTAZIONE_SPE_DITIVA_DELLA_VULNERABILITA%27_SISMICA_DEI_CENTRI_URBANI_ITALIANI_CLASSIFICAZIONE_TIPOLOGICA_STRUTTURALE_DEGLI_EDIFICI_ESISTENTI_IN_MURATURA_ED_IN_CA
- Learning Dynamic Bayesian Networks: Algorithms and Issues - Alex Black, Kevin Korb, Ann Nicholson Clayton School of Information Technology, Monash University
- Sistemi di support alle decisioni per il Real Estate Management: La valutazione dell'ambito energetico, Bizio Chiara, UnivPM, Luglio 2021
- Sistemi di supporto per il Real Estate Management: la valutazione dell'ambito distributivo, Veronica Iannotta, UnivPM, Luglio 2021