



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

DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR REAL

ESTATE MANAGEMENT

Relatore:

Prof. Alberto Giretti

Candidato:

Keci Matteo

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

Indice

Introduzione.....	5
1. Problematica Relativa al Real Estate Management.....	7
1.1 <i>Real Estate Management</i>	7
1.2 <i>Facility Management</i>	8
1.2.1 <i>Normativa Europea UNI EN 15221</i>	8
1.3 <i>Mercato Immobiliare in Italia</i>	11
1.3.1 <i>Investimenti immobiliari</i>	13
2. GUMPAB	17
2.1 <i>Workflow</i>	19
3. Sistema di supporto alle decisioni	24
3.1 <i>Reti bayesiane</i>	25
4. Problematica Strutturale	30
4.1 <i>Rischio Sismico</i>	31
4.2 <i>Classi di Rischio</i>	31
4.3 <i>Software Utilizzato</i>	39
4.4 <i>Sistema di supporto alle decisioni per la valutazione strutturale</i>	48
5. Problematica Energetica.....	57
5.1 <i>Reti Bayesiane</i>	59
5.2 <i>Stima dei parametri tecnici</i>	65
6. Caso studio	71
6.1 <i>Descrizione e soluzione Gumpab</i>	71
6.2 <i>Ambito Strutturale</i>	80
6.3 <i>Ambito Energetico</i>	93
7. Conclusioni.....	98
Bibliografia	100

0. Introduzione

La tesi tratta lo sviluppo di un modello decisionale di supporto per il Real Estate Management (REM). Il lavoro affronta due ambiti fondamentali per la pianificazione strategico-operativa del REM: l'ambito strutturale e l'ambito energetico.

Per quanto riguarda il Real Estate Management, esso è un concetto ampio. Comprende le attività organizzative che mirano alla massimizzazione dell'efficienza per la gestione dei servizi che riguardano gli immobili.

Progettare, nel Real Estate Management, significa creare un sistema complesso dove sono utili innumerevoli competenze ingegneristiche, di diritto, di gestione. Ogni decisione presa al termine del processo deve evidenziare la valutazione delle possibili alternative e si conclude con la scelta di una soluzione che apporti benefici.

Il lavoro di tesi affronta le problematiche che emergono nelle fasi di pianificazione preliminare, quando con una conoscenza limitata è necessario stimare le potenzialità economico finanziarie di un edificio, sulla base delle sue caratteristiche morfo-tecniche fondamentali.

La presente tesi discuterà in maniera analitica i diversi metodi messi a punti per i due diversi ambiti e verrà esemplificato un caso studio ricavato dalla attività di un'azienda del settore, l'azienda GUMPAB.

Per l'ambito energetico sono utilizzati strumenti che permettono la creazione di un database che genera una serie di indagini effettuate su più edifici reali e che hanno fornito parametri tecnici e si ottiene una stima della valutazione energetica.

Purtroppo nel modellare sistemi, come ad esempio quello energetico, non è sempre possibile avere dati certi e bisogna perciò ricorrere a incertezze che vengono associate alle informazioni che si sono raccolte.

Tramite le reti bayesiane vengono poi generate delle informazioni che vengono utilizzate come supporto, sia per l'ambito energetico che per quello strutturale.

Per l'ambito strutturale sono utilizzati strumenti che consentono di rilevare, classificare e riassumere il contenuto del database generato da una moltitudine di indagini effettuate su edifici reali (in CLS e in muratura) che forniscono curve di fragilità e che permettono una stima della vulnerabilità sismica, facendo poi da base per lavori più elaborati. Anche qui la potenza delle reti bayesiane come modello grafico/probabilistico dimostra e genera informazioni utili da utilizzare come supporto alle decisioni.

1. Problematica relativa al Real Estate Management

1.1 Real Estate Management

Il Real Estate Management è l'insieme di tutte le attività che massimizzano l'efficienza nel gestire i servizi che riguardano gli immobili. È una disciplina in continua evoluzione in un ambiente dove ci sono, perlomeno in Italia, concezioni antiche.

Come disciplina d'avanguardia, nasce negli Stati Uniti e aiuta le società immobiliari a gestire e a intermediare nella compra-vendita, sviluppando un modello di business immobiliare e commerciale che è in grado di essere gestito da operatori professionali consentendo di investire nel mercato immobiliare. Fanno parte degli usufruttori di questo sistema le grandi società di gestione del risparmio, le società di project management, i general constructor, i grandi costruttori e gli sviluppatori, ovvero la parte 'alta' del sistema immobiliare. Possono trarne beneficio anche i 'minori', ovvero i piccoli costruttori, i progettisti e le agenzie immobiliari.

Esso si occupa della gestione del patrimonio immobiliare sotto i seguenti punti:

- Manutenzione ordinaria e straordinaria;
- Gestione del patrimonio immobiliare con fine di valorizzarne la redditività tramite compra-vendita, ristrutturazione;
- Gestione interna dei servizi
- Gestione dei rapporti amministrativi ed economici per conto della proprietà.

In Italia, il settore immobiliare è in preda ad un'evoluzione e ad un processo di industrializzazione che riorganizza le dinamiche di mercato, grazie anche alla nascita di operatori che promuovono progetti di investimento di grande portata e determinando una specializzazione dei ruoli di diversi soggetti che fanno parte del processo. Ciò ha creato un'elevata complessità di gestione e una competitività del settore molto marcata.

Viene così creato un ambiente in cui un professionista deve specializzarsi in un determinato campo e deve approfondire non solo conoscenze tecniche, ma deve anche associarle a conoscenze economiche e giuridiche.

1.2 Facility Management

Il Facility Management è “la disciplina che coordina lo spazio fisico di lavoro con le risorse umane e l’attività propria dell’azienda. Integra i principi della gestione economica e finanziaria d’azienda, dell’architettura e delle scienze comportamentali e ingegneristiche”.

In altre parole, il Facility Management riguarda tutti i processi di progettazione e implementazione attraverso cui, le facility (gli edifici e i servizi che servono per facilitare l’attività d’azienda) vengono reperiti ed erogati per fornire un livello di servizio adeguato ed in grado di soddisfare le esigenze che si hanno, creando un ambiente di qualità e con una spesa contenuta.

Non è solo un processo, ma un approccio integrato che attraverso la progettazione, la pianificazione e l’erogazione di servizio che supportano l’attività d’azienda, mirano ad aumentare l’efficacia organizzativa rendendola capace di adattarsi ai cambiamenti repentini del mercato.

Tre sono gli aspetti principali che riguardano il Facility Management:

Aspetto Strategico: decisioni relative alla politica di gestione e di fornitura dei servizi, distribuzione di risorse per raggiungere gli obiettivi, budget, costi, scelta dei fornitori, ecc.

Aspetto gestionale-operativo: gestione e coordinamento di tutti i servizi, non dei singoli, con definizione di sistemi e procedure e relativa implementazione e ingegnerizzazione dei processi erogativi.

Aspetto Analitico: comprensione delle necessità dei clienti, con controllo dei risultati e della gestione dell’efficienza nei servizi che vengono erogati, individuazione di tecniche e tecnologie che supportano il business aziendale per il conseguimento degli obiettivi fissati dall’azienda.

Normativa Europea UNI EN 15221

Nel 2003 viene unificata la normativa europea con la commissione europea che fornisce regole nella contrattazione, nel supporto dei committenti e nel definire le esigenze, migliorando la trasparenza. Le procedure di certificazione e la comunicazione tra stakeholders. Vengono pubblicate a partire dal 2007, sette norme volontarie che riguardano il piano tecnico e quello relativo alla gestione e all'organizzazione.

L'obiettivo primario è quello di superare le divergenze di approccio e di linguaggio dei paesi europei, definendo un modello comune di Facility Management e descrivendo le funzioni. Le norme del 2007 costruiscono la base per le norme future, definendo i termini e le definizioni proposte che vengono finalizzate per descrivere attori, funzioni, relazioni, output principali e parametri che definiscono il processo integrato.

Viene quindi definito il Facility Management come logica di integrazione dei processi in ambito di organizzazione, mantenimento e sviluppo di servizi che migliorano l'efficacia delle attività primarie.

Si procede nel definire le sette norme:

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 – KPI" 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 Mercato Immobiliare in Italia

Agli inizi del 2000 il settore edilizio aveva una fase espansiva grazie a tassi di interessi molto bassi nei mutui e la mentalità generale delle persone era propensa all'indebitamento. Tutti i fattori crearono una domanda crescente di abitazioni aumentando di conseguenza anche il prezzo degli immobili italiani.

L'aumento di domanda durò fino alla fine del 2007 quando ci fu un'inversione della tendenza con calo del credito ipotecario per le famiglie che acquistavano immobili. Dall'anno successivo le banche sono sempre meno propense a concedere finanziamenti, aumentando anche gli interessi. Ciò portò, ovviamente, ad una riduzione delle transazioni di quasi il 17% rispetto all'anno antecedente.

Negli anni successivi si ebbe un record negativo delle compravendite e prezzi che si abbassarono notevolmente, dovuti alla domanda scarsa e all'offerta molto ampia. Iniziò così una nuova fase per il settore immobiliare italiano in cui i mutui si ripartiscono con la domanda di accesso al credito insieme a quella immobiliare, con conseguenza graduale che, il mercato, imboccò finalmente nel 2018, una strada che inizia a farlo uscire dalla crisi, riducendo anche i tempi di vendita.

Nel periodo attuale di emergenza da COVID-19, venne creato nel 2020 un rallentamento delle operazioni ed un calo delle transazioni del circa -20% rispetto al 2019. La crisi protrae ad una discesa e a picchi di risalita dovuti alle chiusure nazionali del territorio, mostrando un andamento a W tipico delle crisi dovute a fattori esterni.

La maggior parte del patrimonio edilizio italiano è vecchio, composto da edifici datati che necessitano di interventi di recupero e ristrutturazione. Gli immobili in bassa classe energetica sono tantissimi e sono responsabili del 40% dell'inquinamento del Paese.

I dati parlano di circa 13 miliardi di metri quadrati di abitazioni da ristrutturare, con un'ampia offerta di immobili a prezzi inferiori al mq, ciò comporta il fatto che la maggior parte delle compravendite abbiano come oggetto l'usato. Gli immobili nuovi in classe energetica elevata sono pochi e hanno prezzi decisamente superiori.

Così l'85% degli acquirenti in Italia oggi si orienta verso l'acquisto di un'abitazione usata che necessita di interventi più o meno ingenti. Le unità immobiliari più apprezzate da chi cerca casa sono di categoria economica o popolare: queste coprono il 61,4% delle vendite complessive contro il 34,5% di quelle civili o signorili.

Le case più vendute sono dunque quelle già esistenti, da ristrutturare almeno parzialmente: la metà delle compravendite riguarda edifici con classe energetica F-G, il 21% quelli di classe D-E e solo il 15% quelli di classe A-B-C. Ogni anno in Italia si spendono dai 40 ai 50 miliardi di euro per operazioni di recupero edilizio.

Riquilibrare e ottimizzare gli immobili è un'attività che porta vantaggio a livello di sistema generale, dal momento che è utile a rivalutare il patrimonio immobiliare italiano e ridurre le emissioni.

Rimettere in efficienza energetica un immobile, al netto delle spese sostenute, permette di raggiungere un incremento del valore medio della superficie totale fino al 25% del valore iniziale.

Inoltre, dopo la crisi dovuta alla pandemia di Covid-19 è doveroso considerare il trend, sempre più in aumento, delle compravendite di immobili venduti all'asta.

Il numero delle case messe all'asta in Italia è aumentato del 63,5% dal 2020 al 2021, e due su tre costano meno di 100mila euro.

È quanto emerge dalle rilevazioni dal Centro studi Sogeea, contenute nel Rapporto semestrale sulle aste immobiliari in Italia che evidenzia le conseguenze nell'anno della pandemia di Covid-19.

Nel 2019 le procedure relative alle compravendite degli immobili venduti all'asta erano 9.262 contro le 15.146 di fine 2020.

Inoltre, il 66% delle abitazioni all'asta ha un prezzo inferiore ai 100.000 euro, mettendo in evidenza un lato le conseguenze della forte crisi che ha colpito il Paese durante la pandemia, ma creando dall'altro lato interessanti opportunità per la compravendita e riqualificazione energetica incoraggiata anche dai numerosi sgravi fiscali forniti dal Governo.

1.3.1 Investimenti Immobiliari

Successivamente nella fase di valutazione prende campo la valutazione economico-finanziaria del progetto, apportando un valore all'immobile attraverso 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.

Lo studio comprende la una valutazione economico-finanziaria, che solitamente coincide con il piano economico-finanziario e con le assumption che esso porta con sé, riportato nell'information memorandum o business plan, fondamentali per l'avvio di un progetto di qualsiasi dimensione.

Andando oltre la fase iniziale di valutazione, troviamo quella destinata all'acquisizione, attività principale dell'Asset Manager, che si occupa della gestione 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, ogni proprietà è da considerare un'unità di business a sé stante ed il conglomerato porta a costituire il portfolio in mano all'Asset Manager. Questi, 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.

Il Property è colui che monitora la costruzione o la ristrutturazione dell'immobile per giungere agli obiettivi di valore concordati con l'Asset Manager, 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. Deve, inoltre, 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 messe in campo 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 porre in essere 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.

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.

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 dell'investimento del determinato bene immobile.

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.

2. GUMPAB

GUMPAB s.r.l. è una startup che occupa il mercato del Real Estate, realtà attiva, per ora, nel territorio marchigiano, ma in rapida crescita. L'AD, Angelo Abate, dichiara che la missione è quella di creare un nuovo brand immobiliare che vada oltre le concezioni che si hanno nel mercato odierno, oramai con una mentalità arcaica.

L'azienda crea valore nel mercato immobiliare di alta qualità, è una società dinamica e innovativa che collabora con diverse università italiane, tra cui l'UNIVPM delle Marche e l'università degli studi di Firenze, UniFi. Vengono analizzati, in questa occasione, il tipo di gestione immobiliare che viene svolto dall'azienda per creare un sistema decisionale che supporti l'ottimizzazione degli acquisti e massimizzi il rendimento dietro agli immobili.

Sono presenti diverse figure professionali che partono dalla gestione degli immobili, l'acquisto degli immobili e al successivo ricondizionamento fino ad arrivare alla vendita dello stesso nel mercato immobiliare.

In sintesi i passaggi sono i seguenti:

La scelta degli immobili avviene tramite uno studio preliminare di mercato tra domanda e offerta, la ricerca permette di abbassare il rischio di investimento grazie alla conoscenza degli agenti immobiliari della zona e a domande specifiche.

Gli investimenti per comprare e ristrutturare gli immobili non avvengono tramite istituti di credito, ma grazie al crowdfunding che mobilita le persone ad investire capitali con un interesse che si aggira intorno al 10%. Ciò estranea interessi e burocrazia che si avrebbero se ci si dovesse appoggiare alle banche.

L'azienda realizza analisi demografiche grazie anche a compravendita di dati di grandi aziende immobiliari che riferiscono che tipo di abitazione cercano le persone online (bilocali, trilocali, appartamenti, ville indipendenti, ecc.) e la metratura necessaria. Ciò crea un grande vantaggio perché si conosce la domanda e si riesce ad essere competitivi con la concorrenza.

La metodologia di intervento nella fase precedente alla valutazione e all'acquisto dell'immobile deve essere perfezionata sulla base dell'ottimizzazione del tempo e della conoscenza aziendale. Le problematiche temporali vengono risolte grazie alla creazione di un supporto alle decisioni che permette di capire e stimare quanto si può guadagnare su una transazione immobiliare. Tale sistema, oggetto della tesi, andrà sviluppato su tre campi: strutturale, energetico e distribuzione interna.

L'ambito strutturale facilita la scelta di acquisto di un immobile basandosi sulla tipologia strutturale e dando una stima di massima sulla solidità dell'edificio, evitando all'azienda di intercorrere in immobili vecchi o malmessi.

L'ambito energetico valuta quali migliorie attuare creando uno scenario di analisi che dia informazioni e proiezioni dal punto di vista economico.

Mentre l'ambito distributivo fornisce uno strumento di valutazione delle potenzialità

di un edificio con la creazione di un database di edifici già esistenti. Queste tre fasi permettono all'azienda di valutare molto più velocemente quale immobile comprare, scartando quelli che sono meno flessibili o che potrebbero avere problematiche per la ristrutturazione degli spazi interni.

Tutti e tre gli ambiti verranno affrontati in questa tesi e verranno applicati ad un esempio reale.

2.1 Workflow

Viene riportato di seguito lo schema con cui l'azienda interviene dalle prime fasi iniziali, fino alla fase progettuale definitiva. Sono molto importanti le tempistiche che riguardano queste fasi, perché una grande problematica dell'azienda è proprio legata ai tempi e alla necessità di personale esterno che rallenta i lavori, creando una situazione non controllabile.

Le maggiori problematiche, come già detto, riguardano l'acquisizione di immobili appetibili, viste le grandi richieste di vendita degli immobili. Risulta impossibile controllare ogni singolo immobile dal vivo, scansionarlo e farsi una prima idea per valutare se sia conveniente investire.

Vengono così richieste delle informazioni che anche un utente non esperto può dare per il primo screening.

Le offerte classificate come opportunità vengono analizzate più nel dettaglio da tecnici commerciali dell'azienda per capire se effettivamente l'investimento può essere vantaggioso.

Lo schema in pagina seguente esplica le fasi che si hanno nell'ideazione, progettazione, valutazione di un immobile che viene preso in considerazione dall'azienda e tutti gli attori coinvolti nelle varie fasi vengono esplicitati.

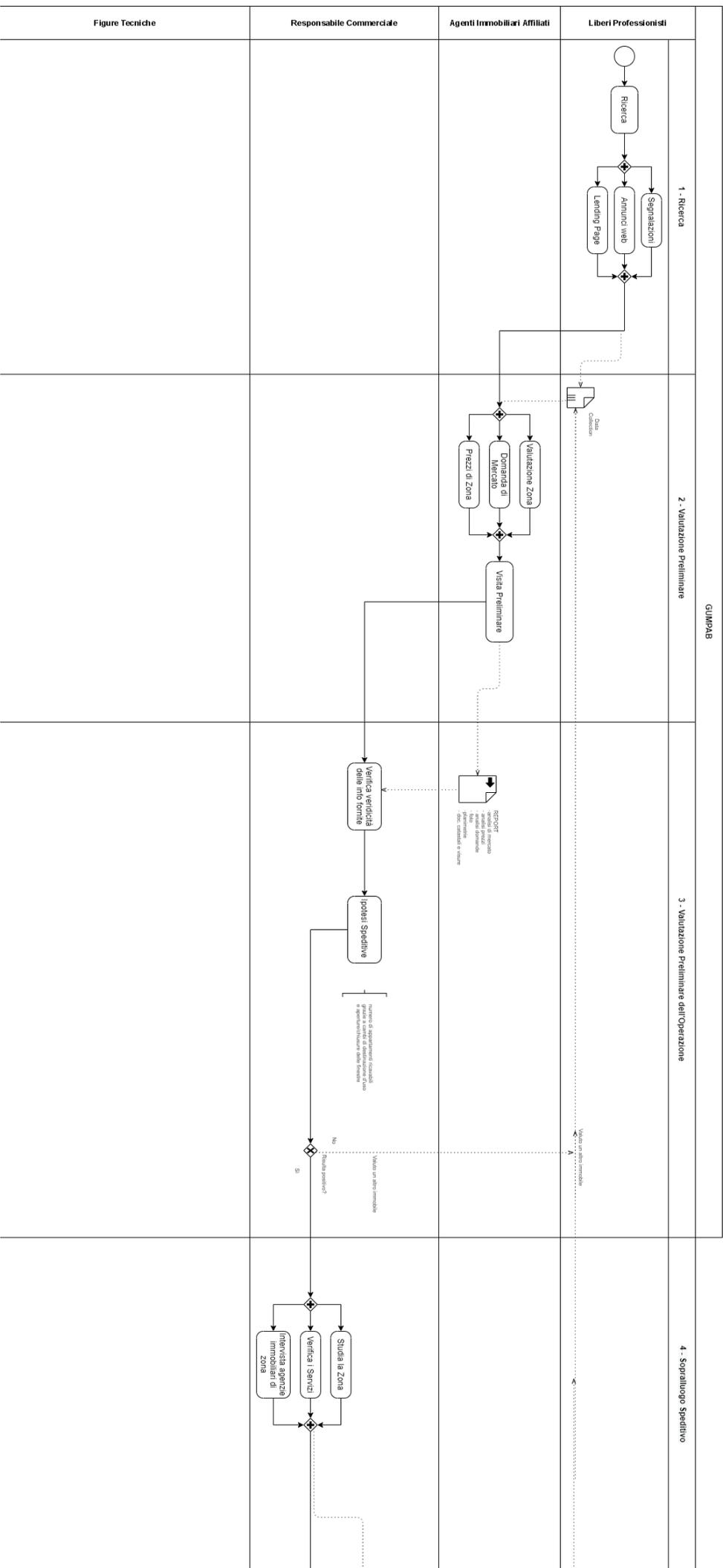


Figura 1: Workflow Gumpab_1

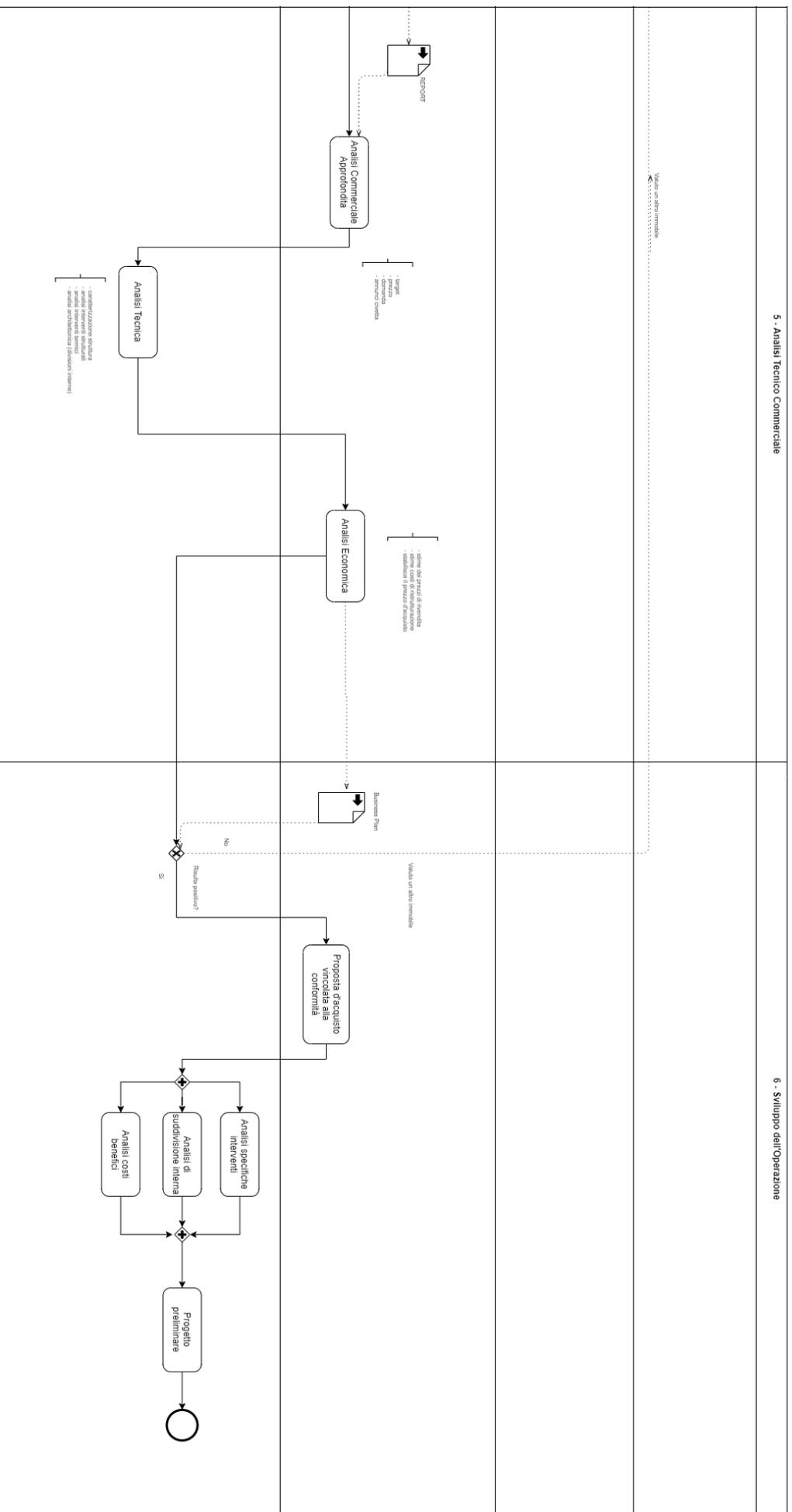


Figura 2: Workflow Gumpub 2

Si vede necessaria quindi una conoscenza approfondita del mercato di zona, al cogliere le occasioni di immobili che si trovano in zone strategiche o in ampliamento di città in espansione che consentono di generare il miglior vantaggio in termini economici.

La fase più importante resta la valutazione della sostenibilità economica. Viene infatti proposto un piano strategico che permette di misurare il valore generato facendo riferimento ad aspetti finanziari e fiscali del progetto e viene valutata la sostenibilità attraverso l'efficientamento che riguarda i termini strutturali e tecnologici, che riguardano l'utilizzo degli spazi, la destinazione d'uso e il reddito che può generare un'immobile generando un valore necessario all'equilibrio.

Gumpab è in grado di dare 'freschezza' al mercato attuale, attuando una politica aziendale volta al rinnovamento e non al 'si è sempre fatto così', stravolgendo il mercato immobiliare della zona e proponendo immobili architettonicamente molto validi per i tempi moderni, dotati di ogni comfort (casa domotica, comfort e classe energetica elevata) a prezzi molto competitivi presenti nel mercato attuale.

Questo fa sì che la clientela compri sulla base di un progetto, ancor prima dell'inizio dei lavori, e assicurando la vendita totale dell'immobile grazie anche ad annunci civetta.

L'applicazione dei bonus '110' avvantaggia ancor più il lavoro svolto da Gumpab e permette un maggior margine di guadagno all'azienda o un taglio al prezzo finale dovuto ai bonus statali vigenti.

3. Sistema di supporto alle decisioni

GUMPAB s.r.l. ha la necessità di avere un sistema di supporto alle decisioni che stima e capisce quanto si può guadagnare con un immobile, dalla compravendita, alla ristrutturazione ‘chiavi in mano’.

I manager delle aziende sono quelli che prendono decisioni e compiono scelte per determinare quali modalità e quali contenuti di attività devono essere presenti nel modello di business, oltreché alle aree che devono dirigere e che hanno lo scopo di perseguire gli obiettivi prefissati. Questo interesse per lo sviluppo decisionale è dovuto per ottenere dei risultati nella gestione e tali risultati devono essere valutati. Ogni decisione che viene presa quando un processo termina consiste nel valutare tutte le possibili alternative che si possono apportare ad un immobile e vengono concluse con la scelta migliore che apporta il maggior beneficio in termini economici e di comfort dell’edificio.

Non tutte le decisioni possono essere ‘calcolate’ o strutturate con l’intelligenza artificiale, quelle più semplici possono essere prese con l’empiricità e l’esperienza che ha un manager, mentre sale però il livello di complessità delle decisioni, allora si dovrà partire con un set iniziale di dati che avvia un processo di inferenza e che producono azioni da intraprendere.

Quando si modellano dei sistemi, non sempre è possibile avere dati certi e bisogna tener conto delle incertezze che vengono associate ad un sistema. Qua entra in gioco la famiglia dei modelli probabilistici e si rappresenta con dei sistemi che hanno incertezza che può essere quantificata attraverso l’attribuzione di una misura di probabilità tra le variabili del sistema. Il sistema appena descritto prende il nome di ‘reti bayesiane’. Questo processo di costruzione di una rete può portare ad una migliore comprensione del fenomeno che è oggetto di analisi e può fornire un utilissimo supporto alle decisioni.

Tutto questo si traduce per l’azienda che vuole approcciarsi all’analisi dei dati, in una disposizione statistica descrittiva, indicando ad esempio indici di variabilità, relazioni statistiche, indici di posizioni e rappresentazioni grafiche ottenendo dei risultati che possono classificare, riassumere e rappresentare un database e fungere da base per considerazioni più elaborate.

Vengono mostrate in seguito le potenzialità delle reti bayesiane come modello grafico probabilistico per generare informazioni da utilizzare come supporto nelle decisioni di business e trarne delle stime utili.

3.1 Reti Bayesiane

Una rete bayesiana è un insieme di nodi e di frecce. I nodi sono le variabili di un problema, mentre le frecce indicano i rapporti di casualità che ci sono tra i nodi. Questi modelli risultano particolarmente adatti per affrontare una moltitudine di problemi contemporanei che derivano dall'incertezza e dalla complessità del problema stesso.

Questa probabilità fornisce un'incertezza associata ai dati che vengono osservati mentre la teoria dei grafi consente la creazione di una struttura dei dati coerente con il contesto analizzato fornendo un'interfaccia intuitiva su grafici e numeri.

Le reti bayesiane sono molto utilizzate in tantissimi ambiti che sono diversi tra loro e permettono di integrare informazioni che vengono da fonti diverse (come dati sperimentali o opinioni di esperti), si raggiunge una maggiore efficienza computazionale (perché richiedono di inserire delle probabilità che vengono condizionale da variabili legate tra loro), compiere un'analisi di sensibilità utili a quantificare l'influenza di una variabile sulla rete intera, controllare le assunzioni alla base della rete del sistema per limitare le conclusioni ed eseguire operazioni che vanno al di là della comprensione e della capacità che ha la mente umana (aggiornando parametri della rete a seguito di nuove informazioni pervenute).

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 (Korb and Nicholson, 2011). 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 esiste 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 $G = (X;A)$.



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 (Scutari and Denis, 2015).

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 (Faltin et al., 2007). Un nodo senza genitori 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 (Korb and Nicholson, 2011). Per questo motivo le BNs appartengono alla categoria dei grafi aciclici diretti o directed acyclic graph (DAG)2

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 (Pourret et al., 2008); 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 (Krieg, 2001).

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 (Korb and Nicholson, 2011). Queste distribuzioni sono rappresentate attraverso tabelle che prendono il nome di tabella di probabilità condizionata o conditional probability table (CPT) definite come segue (Krieg, 2001).

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 (Krieg, 2001).

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.

4. Problematica Strutturale

4.1 Rischio Sismico

Il rischio sismico è la probabilità che nel corso di un periodo noto di tempo un sistema subisca un livello di danno e conseguentemente una perdita di risorse per la collettività. Tale rischio R è legato principalmente a 3 fattori:

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

- P : la pericolosità sismica di un'area definita come probabilità in un certo lasso temporale determinati da una certa intensità che può produrre danni
- V : vulnerabilità, valuta la possibilità che persone, attività o edifici subiscano dei danni quando un evento sismico si presenta. Vengono fornite informazioni, tramite V , riguardanti la perdita dell'efficienza strutturale ma anche la capacità residua di svolgere le normali condizioni di funzionamento di un sistema
- E : esposizione, ci dà un'indicazione sull'importanza che l'oggetto in questione ha se è esposto al rischio. Esso permette di individuare numericamente gli elementi del territorio che potrebbero variare il loro comportamento a seguito di un evento sismico.

Per ridurre il rischio sismico si può lavorare solamente sulla vulnerabilità che dipende, nel caso di edifici, dalle caratteristiche costruttive e dal tipo di materiali che si sono utilizzati. Aumentando la resistenza con un miglioramento sismico o un adeguamento sismico, la vulnerabilità si riduce. Al contrario pericolosità ed esposizione, non è possibile intervenire perché la pericolosità dipende dal tipo di terremoto, dalle caratteristiche del terreno e dalla distanza dall'epicentro, mentre l'esposizione dipende dalla qualità dei beni esposti, dalla produttività delle zone industriali e dalla densità abitativa.

È possibile però fare un'analisi della vulnerabilità, della pericolosità e dell'esposizione su scala nazionale e anche regionale, cosicché si ottiene un livello di conoscenza che muta le metodologie e le tecniche da poter utilizzare per effettuare le analisi. Per far ciò è necessaria la valutazione del rischio sismico di un'area urbana che comporta l'acquisizione e l'utilizzo di una mole di dati e l'utilizzazione di strumenti che registrino e che costano in termini di tempo e di denaro.

È importante però ricordare che la quantificazione del rischio è un processo altamente probabilistico, ciò significa che è legato ad un'incertezza che è connessa al succedersi dell'evento sismico.

Conoscere questi dati, però è utile per incrementare la resilienza del patrimonio edilizio, soprattutto per quanto riguarda i centri storici che risultano particolarmente vulnerabili agli eventi sismici. Salvaguardare i centri storici è una delle sfide e degli obiettivi principali della società, dato il loro altissimo valore dal punto di vista culturale, artistico, sociale ed economico.

Lo studio del rischio, nei recenti eventi sismici, ha evidenziato l'importanza dello studio del rischio stesso, in quanto è possibile applicare strategie di protezione e gestione delle emergenze, valutando appunto la pericolosità, l'esposizione e la vulnerabilità.

4.2 Classi di Rischio

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.

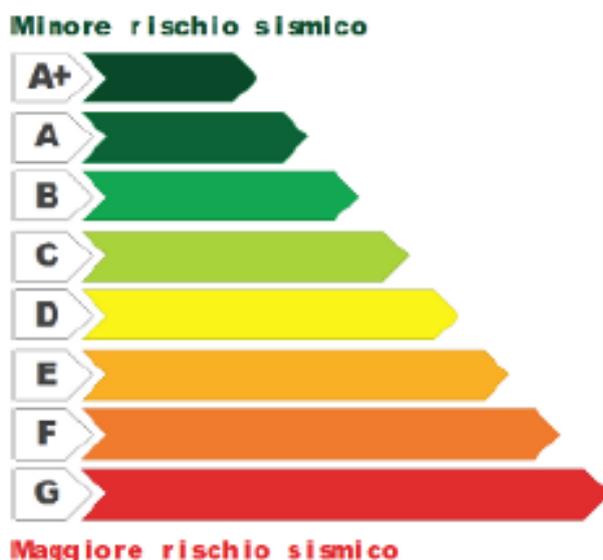


Figura 3: Classi di Rischio Sismico

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, e 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, e 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 – PGAC, 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 - PGAD. L'indice di sicurezza (IS-V) della struttura e 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.

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).

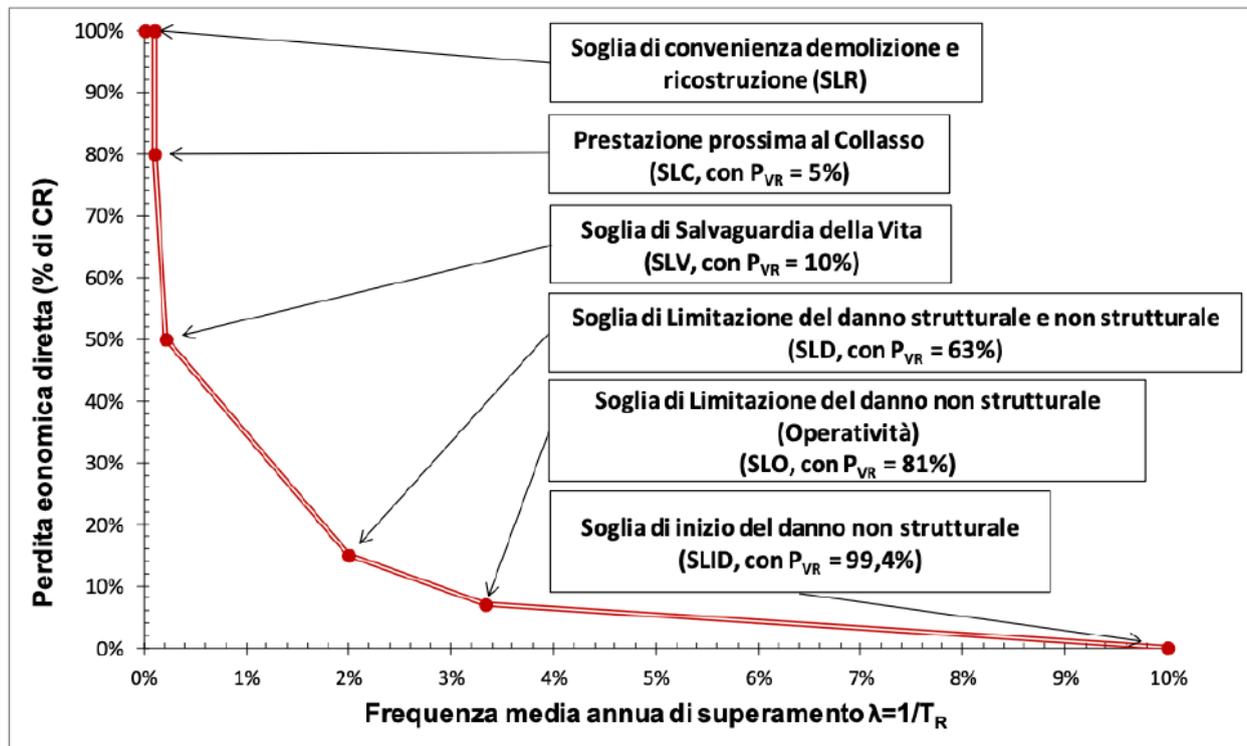


Figura 4: Curva che individua il PAM con VN di 50 anni e CU II

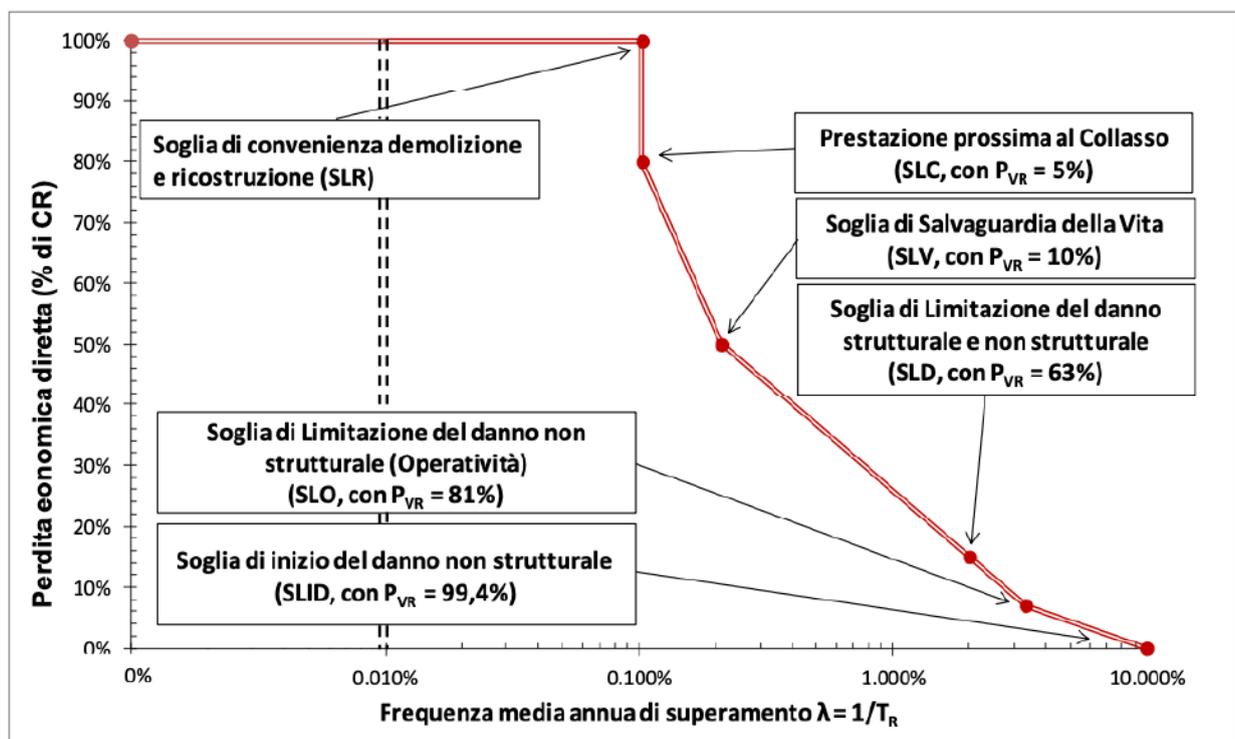


Figura 5: Curva che individua il PAM con VN di 50 anni e CU II

in scala logaritmica per individuare meglio i punti nelle ordinate

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 %) e 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 e, dunque, applicabile a tutti i tipi di costruzione previsti dalle suddette Norme Tecniche.

Al fine della assegnazione della Classe di Rischio, e 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 1*.

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 1: Attribuzione della Classi di Rischio PAM in funzione 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 2*.

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$80\% \leq IS-V < 100\%$	A_{IS-V}
$60\% \leq IS-V < 80\%$	B_{IS-V}
$45\% \leq IS-V < 60\%$	C_{IS-V}
$30\% \leq IS-V < 45\%$	D_{IS-V}
$15\% \leq IS-V < 30\%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15\%$	F_{IS-V}

Tabella 2: 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, $PGAC(SLi)$, 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, $PGAC$, che producono il raggiungimento degli stati limite sopra detti, si determinano i corrispondenti periodi di ritorno, TrC , associati ai terremoti che generano tali accelerazioni. In assenza di più specifiche valutazioni, il passaggio dalle $PGAC$ ai valori del periodo di ritorno può essere eseguito utilizzando la seguente relazione:

$$TrC = TrD (PGAC/PGAD)^\eta \quad \text{con } \eta = 1/0,41.$$

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 ag .

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

3) Per ciascuno dei periodi sopra individuati, si determina il valore della frequenza media annua di superamento $\lambda = 1/TrC$. È utile sottolineare che, per il calcolo del tempo di ritorno TrC 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 e, 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, e 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 del 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 3*:

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

Tabella 3: percentuale del CR associata al raggiungimento di ciascun 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 PGAC (di capacita) che ha fatto raggiungere al fabbricato lo stato limite di salvaguardia della vita umana e la PGAD (di domanda) del sito in cui e 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 PGAC (SLV) e PGAD(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 capacita che la struttura possiede rispetto allo stato limite della salvaguardia della vita, valutato come rapporto tra la PGAC (SLV) e PGAD(SLV).

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 4).

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 4: 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. E così è possibile definire le corrispondenze tra classi di vulnerabilità V_1, V_2, \dots, V_6 e classi di rischio A^+, A, \dots, G , come indicato in *tabella 5*.

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^*, \dots).

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 5. Classe PAM attribuita in funzione alla classe di vulnerabilità attribuita all'edificio e nella zona sismica in cui l'edificio è situato

4.3 Software utilizzato

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.

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 6*).



Figura 6: esempio di struttura in cui viene implementata la tassonomia

La stringa della tassonomia sarà:

**DX1/MUR+CLBRS+MOCL2/LWAL3/DY/MUR+CLBRS+MOCL/LWAL/
YPRE:19394/HEX:25/RES6/7/8/IRRE9/10/RSH3+RWO+RWO211/FW12/13/**

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 dall'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 riassume i valori degli attributi che ha scelto come rappresentativo della tipologia edilizia in esame.

TASSONOMIA

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 "duttile e non duttile".

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. E 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.

TASSONOMIA degli EDIFICI

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.

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".

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.

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 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.

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”*.

- Event-Based Probabilistic Seismic Hazard Analysis, *“consente di calcolare i movimenti del suolo considerando una serie di eventi stocastici”* (GEM 2019)

- 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).

- 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).
- Scenario Risk Assessment, *“permette di calcolare statisticamente le perdite economiche da un singolo scenario di rottura, tenendo conto della variabilità epistemica di movimento del suolo”* (GEM 2019).
- 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).*
- 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).
- 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).

4.4 Sistema di sviluppo alle decisioni per la valutazione strutturale

Il modello bayesiano, descritto nel capitolo 3, 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.

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 visualizzare la tabella delle variabili casuali utilizzate nella valutazione semplificata della perdita sismica si rimanda alla tesi di Strozzi Laura che esplica in dettaglio la procedura.

Successivamente, grazie al documento Excel prima citato, riusciamo a identificare gli spettri di risposta delle azioni sismiche di progetto

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.cslp.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 7: foglio excell per l'uso dello spettro di risposta

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATITUDINE: 43,7354

Ricerca per comune

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche

- Grafici spettri di risposta
- Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

- Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

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

Come primo passo si procede con l'individuazione della regione, poi della provincia ed infine del comune interessato

Figura 8: ricerca del comune


INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 9: V_N e C_U

Nella fase 2 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.

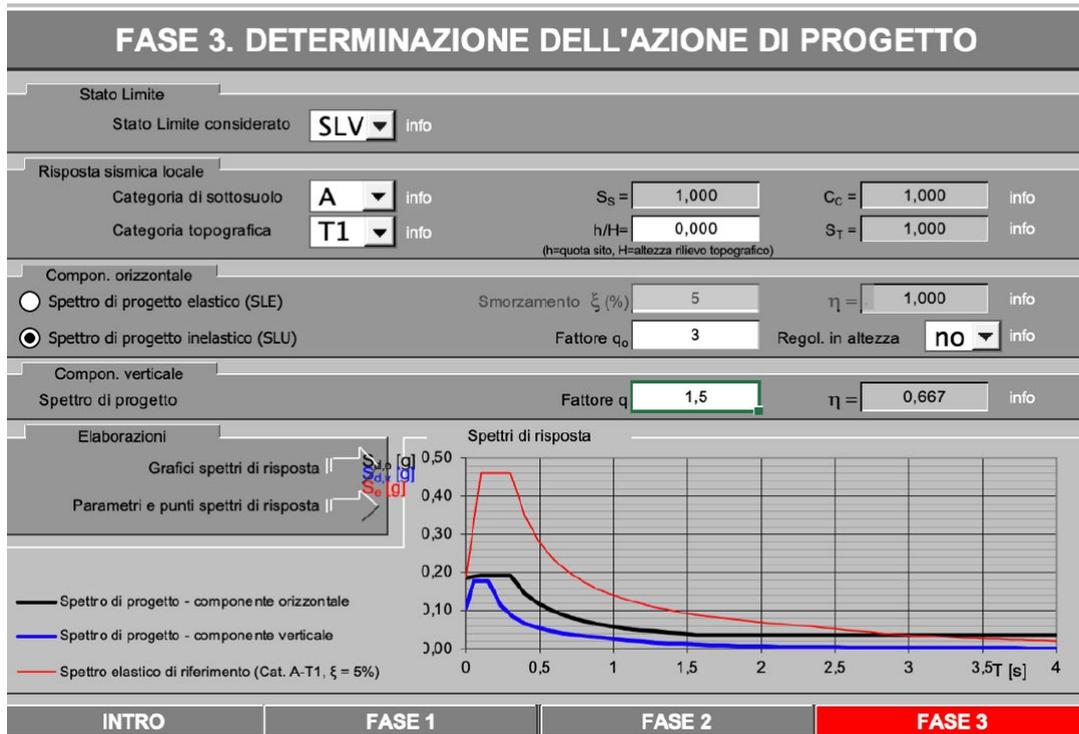


Figura 10: Stato limite, categoria del sottosuolo e categoria topografica

Nella fase 3, 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 .

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	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

APPLICAZIONE del MODELLO BAYESIANO

Figura 11: esempio di accelerazione al suolo

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

Il database descritto 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 conseguentemente.

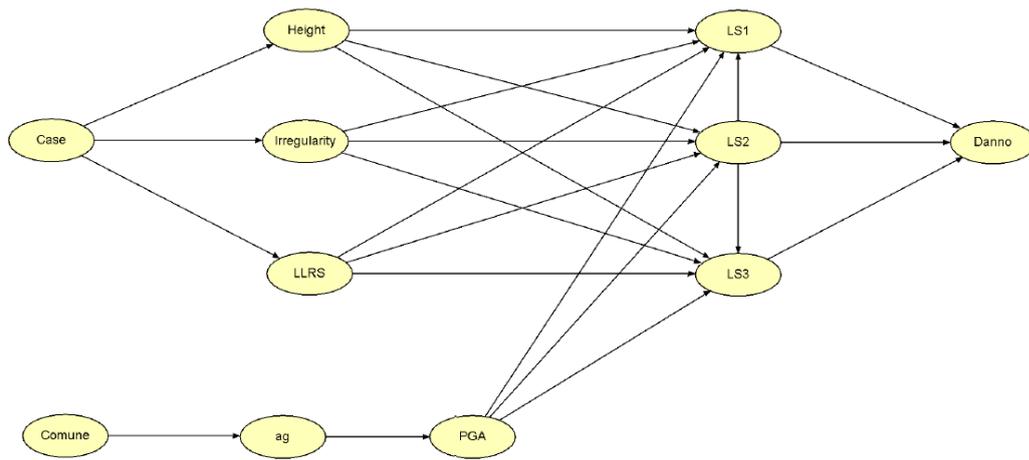


Figura 12: rete bayesiana di un edificio in CA

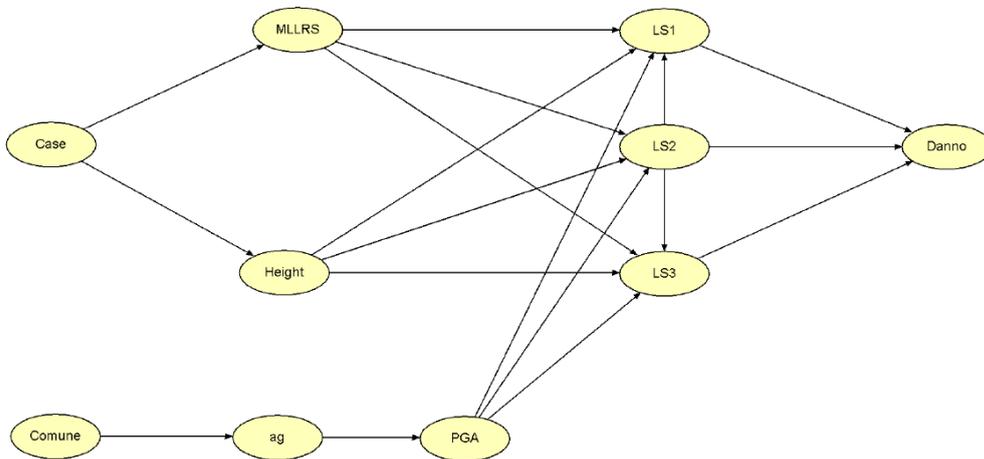


Figura 13: rete bayesiana di un edificio in muratura

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.

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.

5. Problematica Energetica

In questo capitolo si tratterà lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per gli investimenti immobiliari in ambito di edilizia residenziale che permette la stima della prestazione energetica raggiungibile dall'immobile sulla base di una serie di informazioni tecniche.

Il modello bayesiano è stato sviluppato sulla base di un modello ridotto della prestazione energetica degli edifici, il cui set di parametri riflette in larga misura le informazioni che sono prontamente disponibili nel rilevamento pratico o che possono essere facilmente calcolate.

Il sistema di supporto, quindi, non permetterà altro che di stimare in un tempo ridotto i consumi post-intervento quali:
inserimento del cappotto esterno (coating);
inserimento pannelli fotovoltaici (PV).

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

La redazione del database implica differenti tipologie di dati da gestire e raccogliere:
Informazioni riferite agli immobili: layout/planimetrie di edifici da cui desumerne le superfici ed i volumi;
Informazioni dalle bollette termiche: dati sui consumi. Sono il punto di partenza ed il punto di arrivo di tutta l'analisi, dato che l'utilizzatore finale dovrà trovare riscontro dei benefici del risparmio energetico proprio nelle bollette. Le bollette necessarie all'analisi sono quelle riferite almeno ad un intero anno solare.
Informazioni sulla tipologia degli impianti: contengono dati sulla potenza (power) necessari per la stima delle prestazioni energetiche.

La creazione del database di 20 edifici reali è stata fatta sulla base dell'acquisizione di dati grezzi (raw data) non privi di errori, per lo più stimati a causa della carenza di informazioni dettagliate.

I risultati della fase di raccolta dei dati sono archiviati all'interno di un database composto da 19 variabili (colonne) e 140 osservazioni (righe) ciascuna delle quali individua le risposte date da un singolo scenario stimato.

La costruzione del data-set del modello termico ha richiesto 250 simulazioni relative a 40 edifici situati in Italia. Per ogni edificio è stata effettuata una calibrazione utilizzando come parametro di riferimento i consumi annuali dell'anno 2020

Le variabili esaminate sono le seguenti:

Type: la tipologia edilizia analizzata; (nel database si differenziano in: abitazione monofamiliare, medio condominio e a schiera);

Location: il luogo in cui è situato l'immobile oggetto dell'analisi;

Weather_file: indica il luogo a cui fa riferimento il file dei dati meteorologici Wea;

Volume: il volume totale dell'immobile oggetto di analisi;

Superficie finestrata: la superficie totale delle finestre presenti

nell'immobile;

Superficie opaca: la superficie totale delle pareti opache presenti nell'immobile;

Resistenza di accoppiamento aria-involucro esterno (R_{ea}) : la resistenza liminare dell'aria calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Resistenza media dell'involucro opaco (R_{ie}) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Resistenza media dei tramezzi interni (R_m) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Capacità termica media dei tramezzi interni (C_m) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Capacità termica dell'involucro opaco (C_e) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Power: la potenza della caldaia e della pompa di calore presente all'interno dell'edificio;

Set point: il valore di riferimento sotto al quale si ha l'accensione della caldaia;

KWh: il consumo annuale in relazione ad ogni scenario analizzato;

E_type: la distinzione tra gas ed elettrico

Coating: la presenza/assenza di cappotto esterno;

PV: la presenza/assenza di pannelli fotovoltaici;

Cooling: la presenza/assenza di raffrescamento;

Tipologia_tetto: il tipo di tetto caratterizzante l'edificio (nel database si differenziano a falde e piani);

Tipologia_muraria: descrive brevemente il tipo di pacchetto costruttivo caratterizzante l'edificio in oggetto.

Tra le variabili elencate non tutte sono state acquisite direttamente, in quanto sono state calcolate facendo riferimento alle nozioni relative alla fisica delle pareti.

Tra queste variabili troviamo:

Resistenza di accoppiamento aria-involucro esterno (R_{ea})

Resistenza media dell'involucro opaco (R_{ie})

Resistenza media dei tramezzi interni (R_m)

Capacità termica media dei tramezzi interni (C_m)

Capacità termica dell'involucro opaco

5.1 Reti Bayesiane

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

La redazione del database implica differenti tipologie di dati da gestire e raccogliere: Informazioni riferite agli immobili: layout/planimetrie di edifici da cui desumerne le superfici ed i volumi;

Informazioni dalle bollette termiche: dati sui consumi. Sono il punto di partenza ed il punto di arrivo di tutta l'analisi, dato che l'utilizzatore finale dovrà trovare riscontro dei benefici del risparmio energetico proprio nelle bollette. Le bollette necessarie all'analisi sono quelle riferite almeno ad un intero anno solare.

Informazioni sulla tipologia degli impianti: contengono dati sulla potenza (power) necessari per la stima delle prestazioni energetiche.

La creazione del database di 20 edifici reali è stata fatta sulla base dell'acquisizione di dati grezzi (raw data) non privi di errori, per lo più stimati a causa della carenza di informazioni dettagliate.

I risultati della fase di raccolta dei dati sono archiviati all'interno di un database composto da 19 variabili (colonne) e 140 osservazioni (righe) ciascuna delle quali individua le risposte date da un singolo scenario stimato.

La costruzione del data-set del modello termico ha richiesto 250 simulazioni relative a 40 edifici situati in Italia. Per ogni edificio è stata effettuata una calibrazione utilizzando come parametro di riferimento i consumi annuali dell'anno 2020

Le variabili esaminate sono le seguenti:

Type: la tipologia edilizia analizzata; (nel database si differenziano in: abitazione monofamiliare, medio condominio e a schiera);

Location: il luogo in cui è situato l'immobile oggetto dell'analisi;

Weather_file: indica il luogo a cui fa riferimento il file dei dati meteorologici Wea;

Volume: il volume totale dell'immobile oggetto di analisi;

Superficie finestrata: la superficie totale delle finestre presenti nell'immobile;

Superficie opaca: la superficie totale delle pareti opache presenti nell'immobile;

Resistenza di accoppiamento aria-involucro esterno (Rea) : la resistenza liminare dell'aria calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Resistenza media dell'involucro opaco (Rie) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti vista al *paragrafo*;

Resistenza media dei tramezzi interni (Rm) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Capacità termica media dei tramezzi interni (Cm) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Capacità termica dell'involucro opaco (Ce) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;

Power: la potenza della caldaia e della pompa di calore presente all'interno dell'edificio;

Set point: il valore di riferimento sotto al quale si ha l'accensione della

caldaia;

KWh: il consumo annuale in relazione ad ogni scenario analizzato;

E_type: la distinzione tra gas ed elettrico

Coating: la presenza/assenza di cappotto esterno;

PV: la presenza/assenza di pannelli fotovoltaici;

Cooling: la presenza/assenza di raffrescamento;

Tipologia_tetto: il tipo di tetto caratterizzante l'edificio (nel database si differenziano a falde e piani);

Tipologia_muraria: descrive brevemente il tipo di pacchetto costruttivo caratterizzante l'edificio in oggetto.

Tra le variabili elencate non tutte sono state acquisite direttamente, in quanto sono state calcolate facendo riferimento alle nozioni relative alla fisica delle pareti.

Tra queste variabili troviamo:

Resistenza di accoppiamento aria-involucro esterno (Rea)

Resistenza media dell'involucro opaco (Rie)

Resistenza media dei tramezzi interni (Rm)

Capacità termica media dei tramezzi interni (Cm)

Capacità termica dell'involucro opaco (Ce)

La mancata compatibilità tra le unità di misura del SI con le unità di misura necessarie al modello ridotto per avviare la simulazione ha portato ad effettuare ulteriori calcoli in modo da trasformare (m^2K/W) in (K/W).

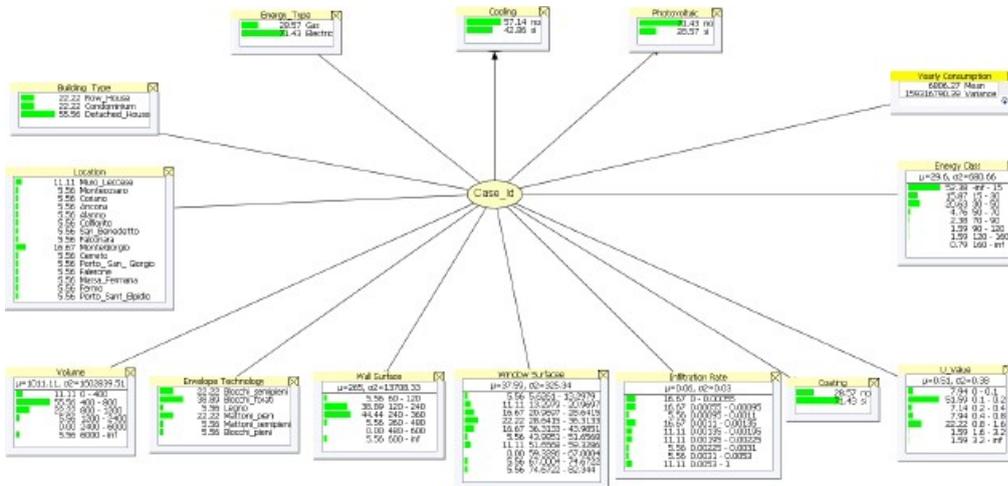


Figura 14: rete bayesiana dell'impianto

Node	Range	Description	Mapping
<i>Case_id</i>	Integer Positive Value	Identificatore univoco del caso	
<i>Location</i>	String	Location of the building	Maps to Case Base parameter <i>Location</i>
<i>Building_Type</i>	Row_House, Condominium, Detached_House	Typical residential building typologies	Maps to Case Base parameter <i>Type</i>
<i>Energy_Type</i>	Electric, Gas	Type of the heating/cooling system	Maps to Case Base parameter <i>Energy_Type</i>
<i>Cooling</i>	Yes, No	Cooling system switched on	Maps to a simulation set-up

<i>Photovoltaic</i>	Yes, No	Photovoltaic system switched on	Maps to a simulation set-up
<i>Yearly Consumption</i>	Real Value	Total energy consumption. Can be a negative value, meaning the building produce more energy than it consumes	Maps to Simulation Result
<i>Energy Class</i>	Set of ranges	Defined according to Italian legislation	Calculated from Model View as <i>Yearly Consumption / Floor Area</i>
<i>U_Value</i>	Set of ranges	Envelope U value, ranges are arranged according to typical U_Value thresholds	Calculated from model view <i>Rie, Cie</i> and <i>Wall Surface</i>
<i>Coating</i>	Yes, No		Calculated from model view parameter <i>U_Value</i>
<i>Infiltration Rate</i>	Real value	Kg of air per second per cube meter	Derived from <i>Ria</i>
<i>Window Surface</i>	Real Value	The building total window surface	Map to model parameters <i>Window_Surfaces</i>
<i>Wall Surface</i>	Real Value	The building total opaque surface	Map to model parameters <i>Wall_Surfaces</i>
<i>Envelope technology</i>	Blocchi Semipieni, Blocchi Forati, Blocchi Pieni, Legno, Mattoni Pieni, Mattoni Semipieni	Typical Italian masonry components	Maps to Case Base parameter <i>Envelope Technology</i>
<i>Volume</i>	Real Value	The Building Volume	Map to model parameter <i>Volume</i>

Figura 15: specifica dei nodi per il TIF (therman index frame)

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. Questo è il caso, ad esempio, del sistema dell'involucro dell'edificio, dove un singolo parametro che indicizza la tipologia edilizia riesce a racchiudere l'insieme delle capacità e resistenze termiche che lo caratterizzano.

Inoltre, la rappresentazione probabilistica Bayesiana permette l'utilizzo di giudizi degli esperti, in questo caso i tecnici preposti ai sopralluoghi, come stime di probabilità dei vari parametri. Questo è un aspetto molto importante per quantificare e gestire l'incertezza presente nel processo decisionale. Alcuni dei parametri che caratterizzano il comportamento termico degli edifici sono in effetti sempre caratterizzati da incertezza. La stessa trasmittanza delle pareti e l'influenza reale dei ponti termici non è mai perfettamente conosciuta, così come l'efficienza reale dei generatori termici e le resistenze termiche dei diffusori che dipendono dalle condizioni d'uso dei dispositivi.

Un terzo aspetto rilevante concerne la mancanza di valori, che può anche dipendere dall'impossibilità di eseguire osservazioni e/o misure in sito. Anche in questo caso un sistema di indici correlato permette di compensare al meglio la mancanza storica dei dati mancanti fornendo la migliore spiegazione determinata sulla base della distribuzione di probabilità dei parametri non osservati che deriva dalla conoscenza storica dell'operatore tecnico.

Infine, inserendo nel sistema degli indici anche le prestazioni stimate e/o misurate, il sistema permetterà di operare sia in modo forward, stimando le prestazioni attese a partire dagli osservati degli indici, sia in modo backward, stimando il quadro delle caratteristiche tecniche che più probabilmente potranno realizzare le prestazioni attese.

Un esempio tipico della stima della prestazione concerne la valutazione dello stato di fatto. Si articola definendo il tipo di abitazione ed alcuni dei parametri più facili da identificare, quali il volume (Volume approx 440 [m³]), la tecnologia delle pareti dell'involucro (Wall_Type = mattoni, Coating = no) e le caratteristiche degli impianti (Cooling = no, PV = no). Il modello fornisce una stima di consumo di circa 50 [W/m²]. Vedi *Figura 16*.

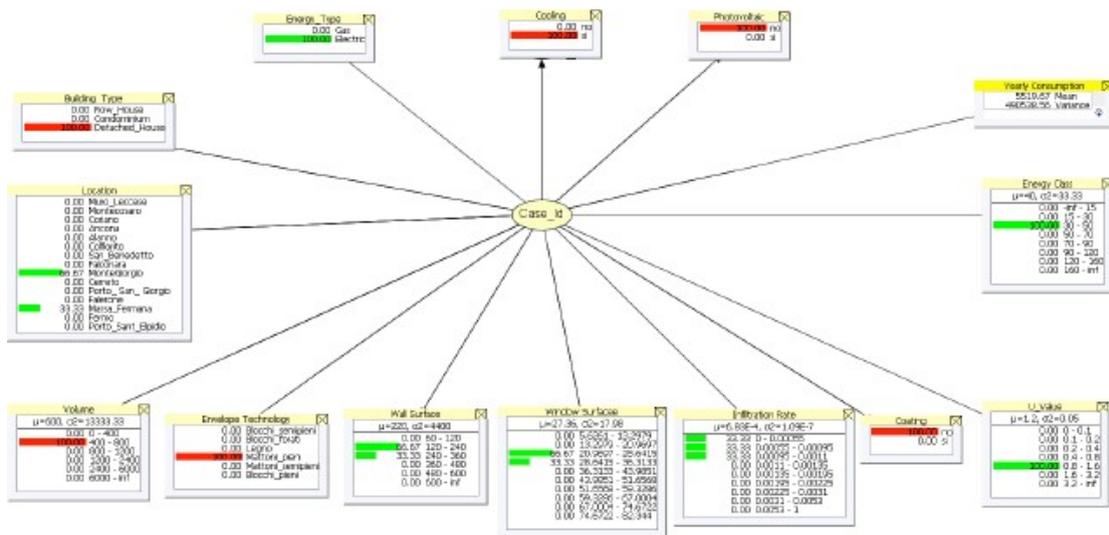


Figura 16

Come ulteriore passo inferenziale, è possibile valutare scenari alternativi in funzione di diversi possibili interventi di efficientamento energetico. Ad esempio, la figura 17 mostra il risultato ottenibile a valle di un intervento di isolamento a cappotto dell'involucro (Coating = si).

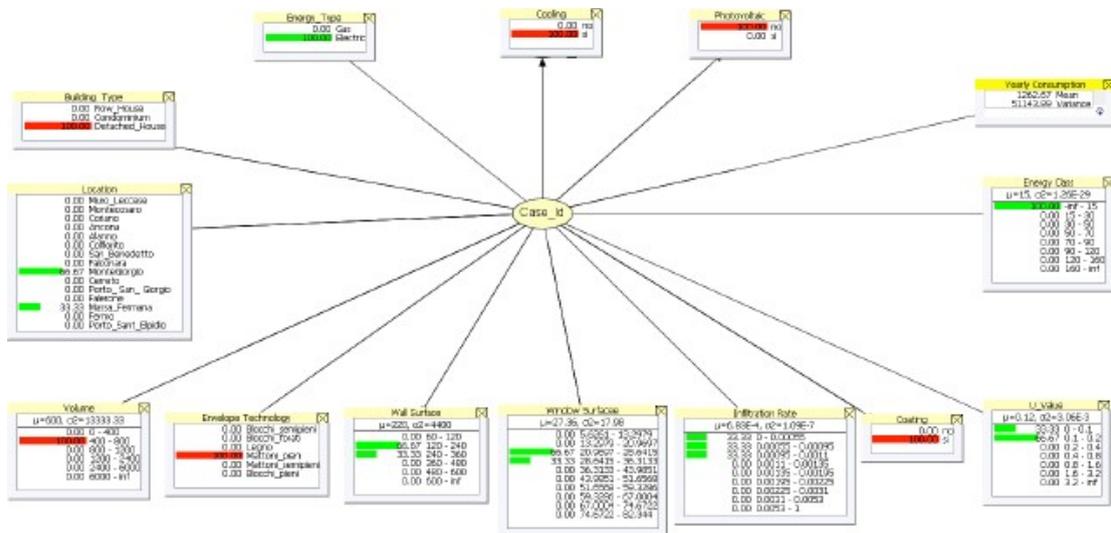


Figura 17

Infine, è interessante notare come sia possibile gestire l'incertezza nella stima di parametri più complessi da definire, quali l'infiltrazione (Infiltration rate). La figura 18 mostra la stima delle prestazioni di un edificio isolato con un volume di circa 640 m³. In questo caso la base dei casi contiene esempi con un ampio spettro di valori di prestazione. È quindi necessario inserire stime di parametri che possano restringerne il campo.

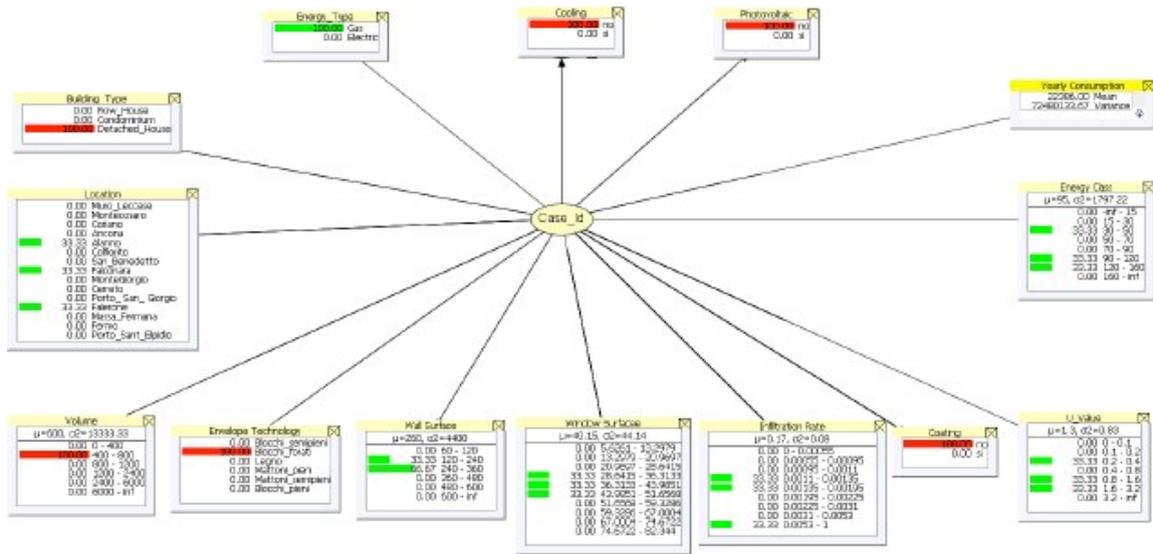


Figura 18

5.2 Stima dei parametri tecnici

L'analisi dei parametri tecnici si ottiene vincolando la distribuzione di probabilità di un parametro prestazionale (Energy Class) e, eventualmente, altri parametri come ad esempio la tipologia edilizia di interesse (vedi *Figura 19*).

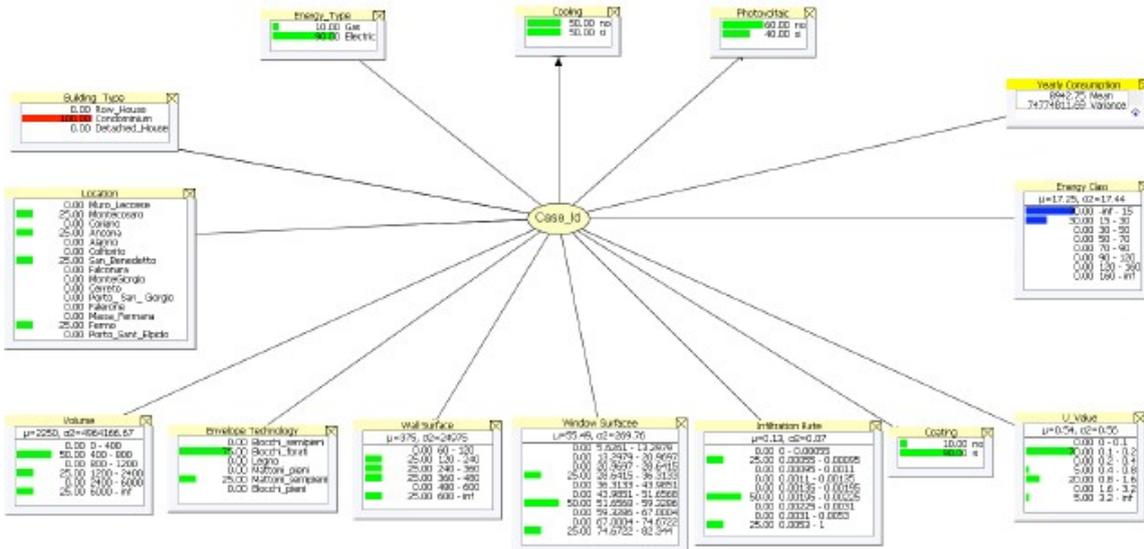


Figura 19

Il sistema assume una configurazione che indica i casi compatibili che possono pertanto supportare l'approfondimento di tale scenario. La prima considerazione emerge dal fatto che tali classi di prestazione possono essere raggiunte solamente a valle di un intervento di isolamento a cappotto dell'involucro.

Volendo considerare l'effetto di un sistema di riscaldamento/raffrescamento che includa anche pannelli fotovoltaici (vedi *Figura 20*) si nota che è possibile raggiungere prestazioni NZB ($-\infty$ -15) [W/m²] nel caso di un condominio sito nella città di Ancona (*Figura 5.11*) mentre si raggiungono prestazioni in classe A (15 - 30) [W/m²] in un caso sito nel comune di Montecosaro (vedi *Figura 20*).

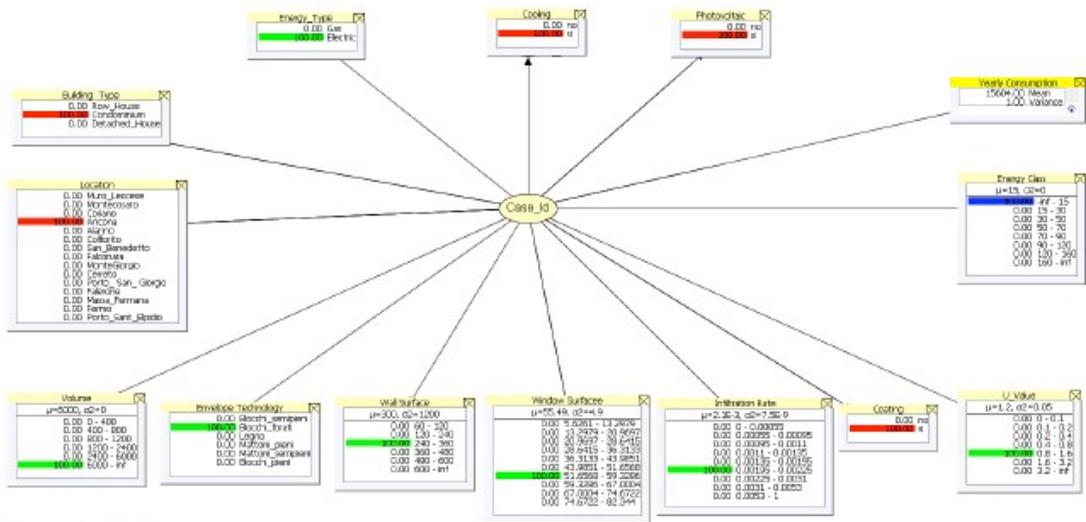


Figura 5.11

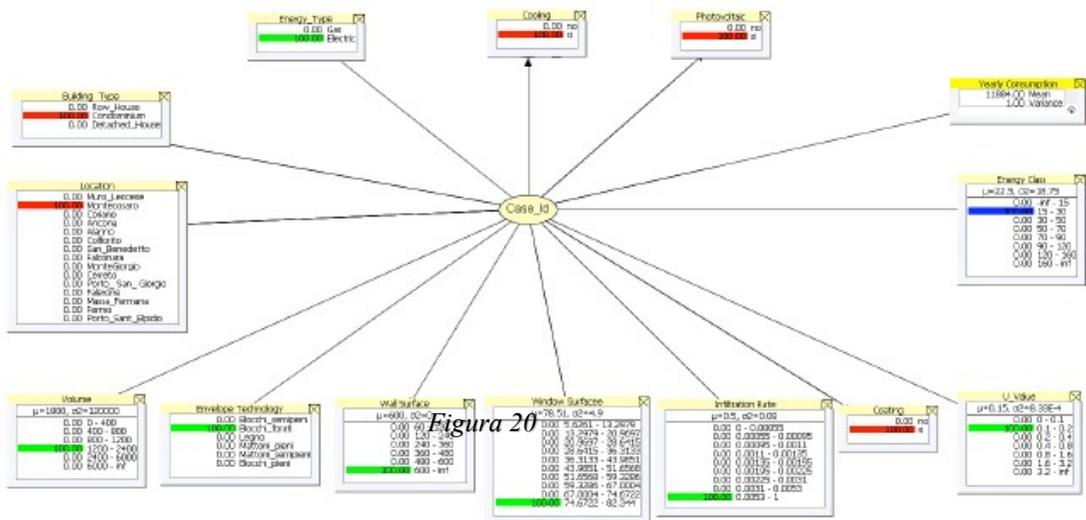


Figura 20

Verrà ora analizzata una forma di ragionamento che unisce le inferenze della rete Bayesiana con le query alla Case Base. Mostreremo come questa combinazione di inferenza permetta di estendere il dominio dell'inferenza includendo anche informazione non strutturata.

Consideriamo il caso in cui un operatore debba valutare rapidamente quali siano le potenzialità di risparmio energetico dell'abitazione oggetto di esempio, una casa di campagna di 472 m³, che deve essere ristrutturata, costruita con tecnologia tradizionale molto probabilmente in mattoni pieni o semipieni, meno probabilmente in blocchi. Questa situazione è molto frequente, può capitare sia nei contatti commerciali con i proprietari sia durante lo screening di potenziali investimenti in specifiche regioni. In queste condizioni, sia l'informazione che i tempi tecnici sono limitati.

Il ragionamento in questo caso sarà di tipo case based. Si utilizzeranno cioè le stime effettuate nei i casi più prossimi per costruire un primo quadro del potenziale di risparmio energetico dell'edificio. La valutazione della similarità fra edifici diversi, tuttavia necessita di più informazione di quella disponibile nell'index frame, come ad esempio la collocazione nel contesto urbano o di campagna, il fattore di forma, la presenza di pertinenze, gli ombreggiamenti, ecc. Nella modellazione del singolo edificio, questi fattori sono assorbiti dal processo di calibrazione del modello ridotto e non sono quindi espressi esplicitamente nell'index frame. Il sistema di supporto Case Based permette di compensare questo limite offrendo la possibilità di un confronto visuale e/o su documenti tecnici più completi, e di giungere comunque ad una prima stima supportata al meglio delle evidenze tecniche.

Utilizzando, ad esempio, le informazioni a disposizione è possibile circoscrivere attraverso l'index frame l'insieme dei casi che hanno una qualche similarità con il caso in esame, al meglio dell'incertezza del giudizio iniziale (i.e. distribuzione di probabilità sulla tecnologia) (vedi Figura 21)

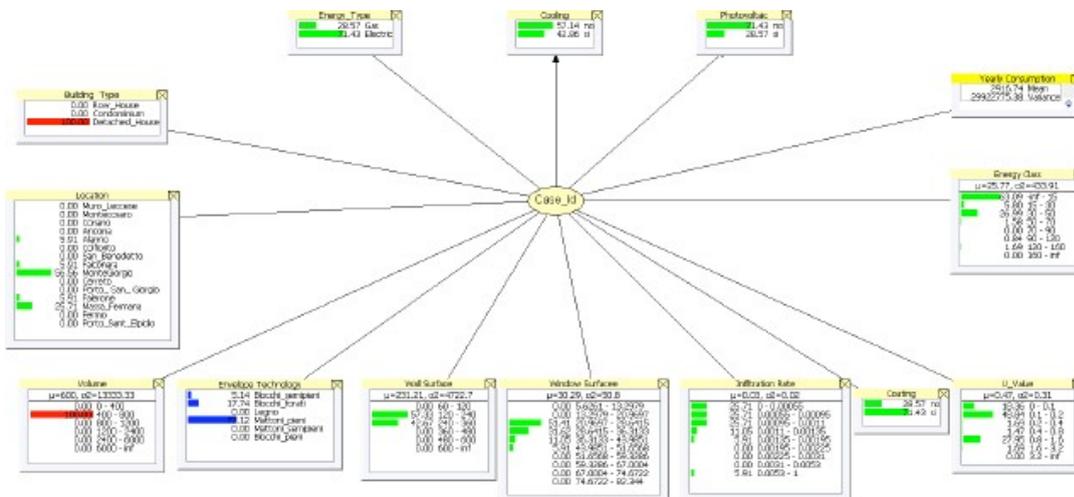


Figura 21

A questo punto è necessario procedere attraverso la ricerca esplicita nella base dei casi, per compensare il gap informativo con informazione non strutturata. In questo caso, ad esempio, è possibile procedere ad un confronto visivo fra le abitazioni che sono state selezionate nella prima iterazione con l'index frame. Viene poi mostrato il risultato della query alla Base dei Casi selezionando i casi con maggiore probabilità. I casi selezionati appaiono compatibili: edifici isolati, stessa regione, non hanno ombreggiamenti, volumi e superfici non molto differenti. È possibile quindi utilizzare i risultati di tale insieme di casi per una prima stima. La stima dello sato in media pesata sulle probabilità, si ottiene imponendo la selezione sulla variabile Location, e selezionando uno scenario molto tipico per la zona, {Coating = no, E_Type = Gas, PV= no} (vedi Figura 22)

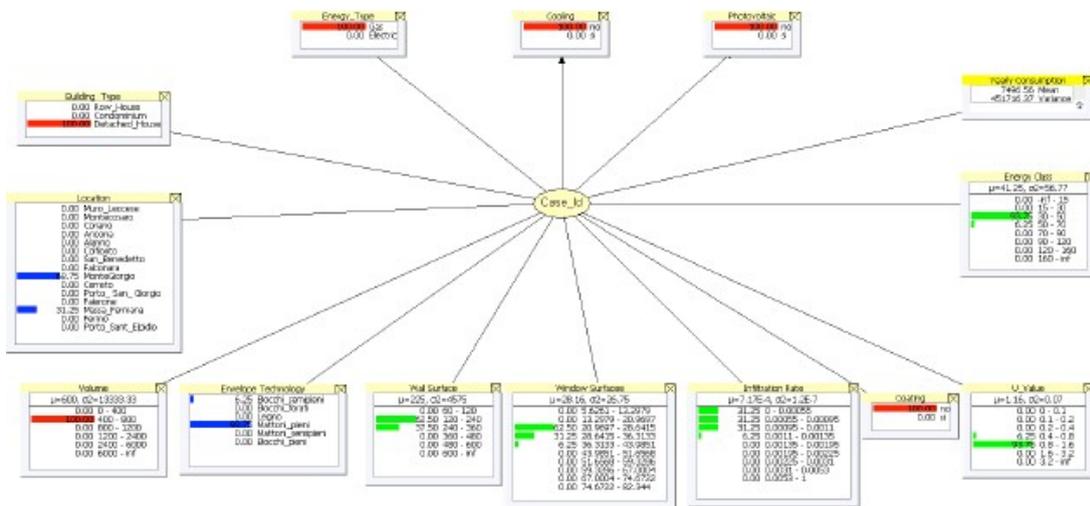


Figura 22

Analogamente è possibile stimare i consumi a valle di un intervento efficientamento selezionando la configurazione opportuna {Coating = yes, E_Type = Electric, PV= no} (vedi Figura 23).

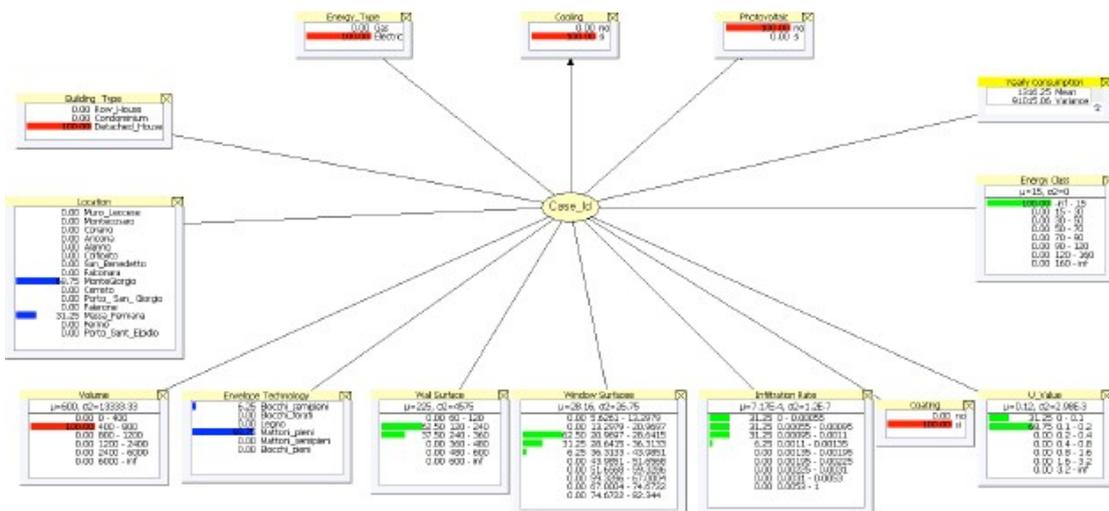


Figura 23

I valori di prestazione così ottenuti riflettono la statistica della base dei casi e sono al momento comparabili con i giudizi che sarebbero forniti da un esperto del settore con una perfetta conoscenza dello storico aziendale.

I valori ottenuti attraverso l'index frame sono valori approssimati e qualitativi. L'approssimazione è dovuta alla già discussa incertezza epistemica, mentre la natura qualitativa dell'inferenza deriva dall'approssimazione introdotta dalla discretizzazione dei domini delle variabili.

L'integrazione con la base dei casi, tuttavia, mitiga il problema dell'inferenza qualitativa perché permette l'accesso ai dati puntuali di ogni simulazione analitica che è stata utilizzata nel processo di inferenza.

Ad esempio, è possibile ottenere dalla tabella del model view termico i valori puntuali delle resistenze e delle capacità degli involucri, nonché i consumi calcolati.

Dopo la fase di analisi e di decisione sullo specifico intervento, il workflow aziendale prevede, nell'eventualità di una scelta positiva, lo sviluppo della progettazione dell'intervento.

Anche in questo caso si possono avere delle interazioni puntuali con la base dei casi per sviluppare dei piani di design critics più circostanziati. Ma l'aspetto più interessante sta nel fatto che, a processo concluso i dati del progetto saranno essere inseriti nella base dei casi unitamente ai parametri prestazionali simulati e, nel tempo, misurati, ed entreranno nel ciclo della conoscenza aziendale.

Questo rappresenta una implementazione della dinamica positiva di capitalizzazione della conoscenza che è alla base dello sviluppo competitivo delle aziende operanti nel settore del Facility Management.

Per riassumere, per la problematica energetica si è discusso dell'architettura di un sistema di supporto alle decisioni per l'efficientamento energetico degli edifici. È stato discusso un caso di studio limitato ad un database di edifici residenziali, sviluppato in collaborazione con GUMPUB s.r.l.

Il contributo ha mostrato come la modellazione energetica di ordine ridotto degli edifici fornisce un livello di astrazione del comportamento energetico degli edifici che è al contempo in grado di mantenere un'accettabile precisione, basata su dati reali, nella predizione delle prestazioni sotto diverse condizioni di intervento, e di supportare la logica dei processi di decisione nella gestione dei progetti di efficientamento energetico.

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 della vulnerabilità sismica e la valutazione della potenzialità nel lay-out

degli spazi.

La struttura della rete Bayesiana utilizzata(NBC) rappresenta solamente una ipotesi iniziale. Sarà necessario studiare lo sviluppo di reti che esplicitino le relazioni concernenti i principi primi che regolano lo scambio termico, e valutare se e come tali strutture permettano di raggiungere maggior grado di generalità, specialmente nella integrazione di nuovi casi.

La macchina, quindi, fornirà una stima senza effettuare misurazioni, allora un'azienda che mette a sistema il suo operare avrà creato un progresso che gliderà la possibilità di guadagnare tempo.

6. Caso Studio

6.1 Descrizione e soluzione Gumpab

Verrà descritta in seguito l'operazione condotta dalla Gumpab, dalla strategia del marketing, all'analisi di mercato, fino ad arrivare alle scelte tecniche decise per l'immobile.

L'immobile preso in esame si trova a Civitanova Marche con popolazione di 41.989 abitanti. È considerata una delle città più importanti del mercato immobiliare marchigiano e circa il 20% degli annunci pubblicitari della provincia di Macerata sono relativi alla città.

Secondo i dati dell'OMI il prezzo degli appartamenti dei vari quartieri di Civitanova Marche oscilla tra i 950 €/mq e i 2.400 €/mq per la compravendita.

Il prezzo medio degli appartamenti in vendita (1.950 €/mq) è di circa il 17% superiore alla quotazione media regionale, che è pari a 1650 €/mq ed è superiore al 34% superiore rispetto alla quotazione media provinciale che si aggira intorno ai 1450 €/mq.

Per quanto riguarda Civitanova Marche i prezzi sono mediamente diversificati e il prezzo richiesto per gli appartamenti in vendita in tutta la città si aggira tra i 1.250 €/mq e i 2.500 €/mq nel 60% dei casi.

Il quartiere scelto per l'investimento riguarda il centro di Civitanova Marche che resta la zona più ambita e ricercata, anche se dal punto di vista immobiliare le zone più importanti in termini di numero di annunci pubblicati sono: San Marone, Fontespina e Santa Maria Apparente.

La palazzina si trova in Via Trieste, nella zona centrale della città a soli 550 mt dalla spiaggia e a soli 300 m da piazza XX Settembre, luogo fulcro della cittadina. Il prezzo medio degli appartamenti in zona Centro è di circa 2.100 €/mq, in linea con il prezzo medio cittadino che è pari a circa 1.950 €/mq.

È stata condotta un'analisi di mercato su immobili in vendita nella zona:

Analisi dell'Offerta

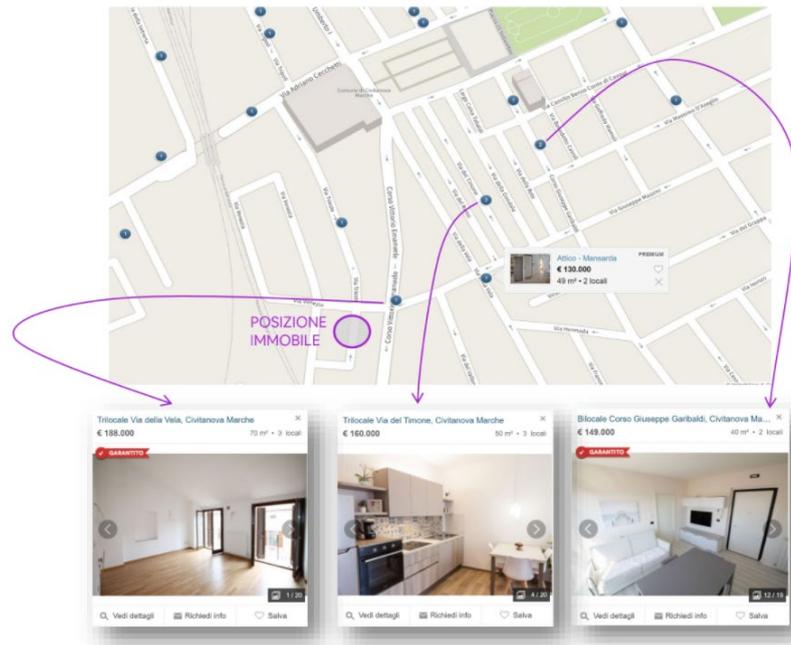


Figura 24

L'immobile è un'intera palazzina cielo-terra anni '80 situata, come precedentemente dimostrato, nella migliore zona della città.

Dopo un'attenta valutazione della domanda presente, abbiamo deciso di investire cambiando destinazione d'uso dei vani al piano terra e frazionandola. Siamo riusciti quindi a ricavare:

- 1) Piano terra: ampio trilocale con giardino privato;
- 2) Piano primo: grande trilocale con sfogo esterno;
- 3) Piano secondo: due trilocali di cui uno su due livelli con soggiorno o zona notte (possibilità di scelta lasciata al futuro acquirente) su attico privato e l'altro con sfogo esterno.

Le grandi potenzialità di sviluppo post ristrutturazione ci permetteranno di avere a disposizione 4 unità abitative di diversa metratura e tipologia per una facile e profittevole rivendita. Il target di vendita è individuato grazie all'incrocio di un'analisi dello storico degli acquirenti con le indicazioni degli esperti di settore della zona.

L'immobile è stato acquistato per soli 1240,00 €/m², a fronte di una media di rivendita post ristrutturazione per questa zona precedentemente analizzata e pari a 2.700 €/m² alla differenza del prezzo di rivendita che si discosta dai valori OMI (2.300 €/m²) è ampiamente giustificata dall'esclusività della posizione dell'immobile e dalle caratteristiche offerte dalle singole unità immobiliari che verranno create e dotate di tutti gli ultimi sistemi tecnologici di domotica e comfort termico.

Il prezzo vantaggioso è stato ottenuto grazie ad una trattativa professionale e alla capacità del nostro studio di progettazione di effettuare rapidamente uno studio di fattibilità termo-tecnica per l'aggiudicazione degli incentivi per le ristrutturazioni

Superbonus 110% e sulla possibilità di cambio di destinazione d'uso dell'immobile.

Vengono riportate di seguito: lo stato di fatto, lo stato di progetto, le info sull'operazione, il conto economico.

Stato di Fatto - Planimetrie Catastali

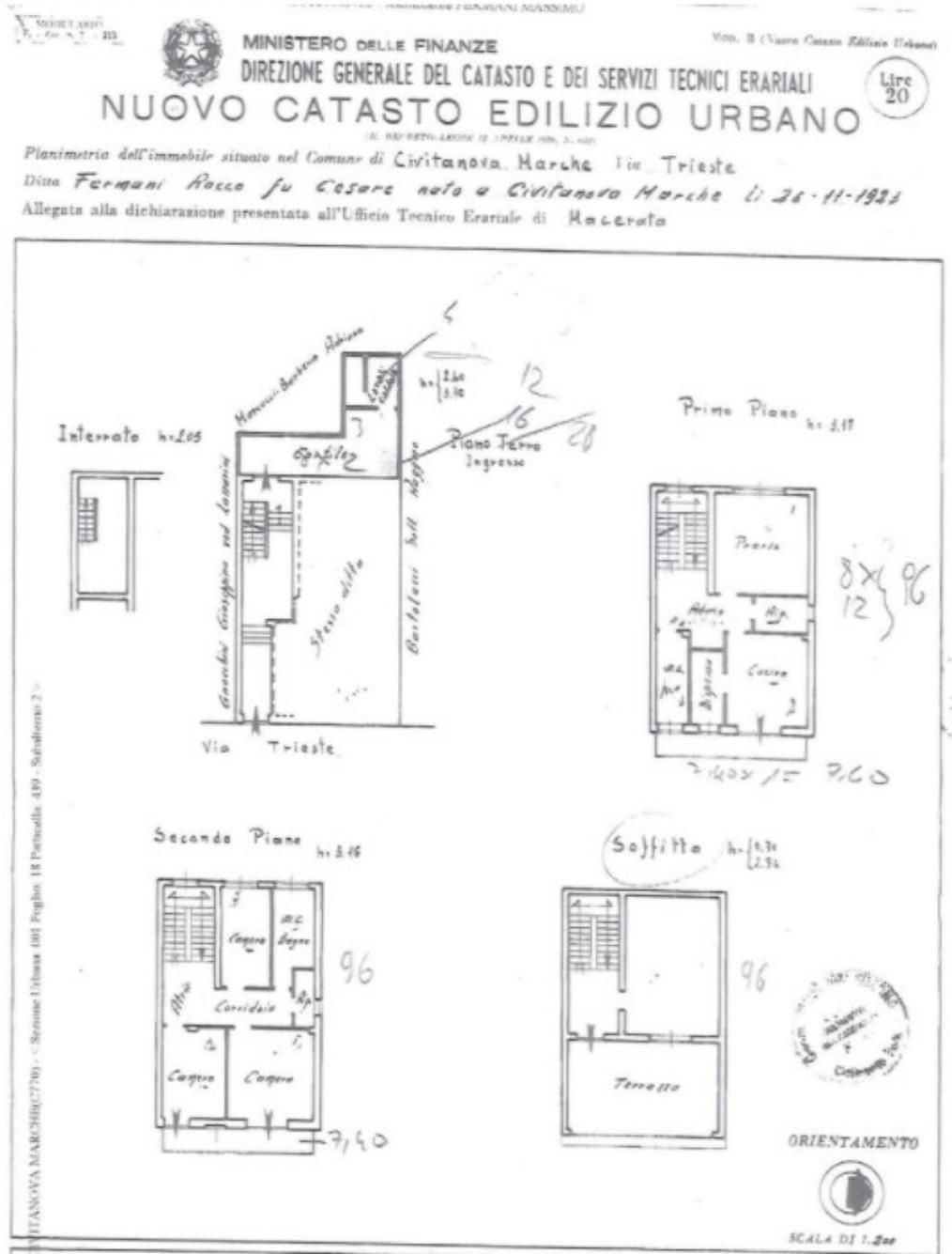


Figura 25: Stato di fatto

Stato di progetto

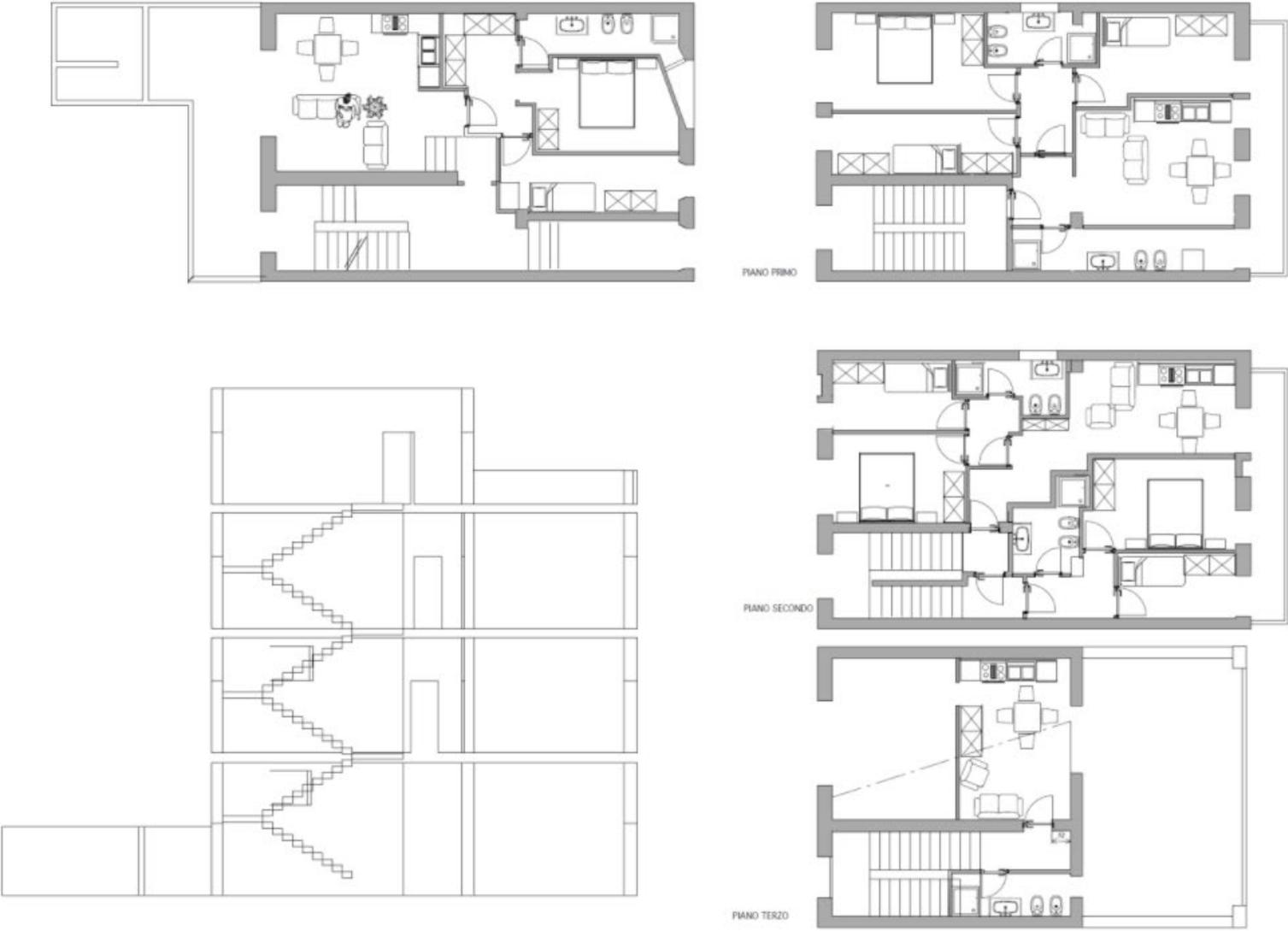


Figura 26: Stato di progetto

Prima



Dopo



Figura 27: Stato esterno pre-opera e render esterno

Prima



Dopo

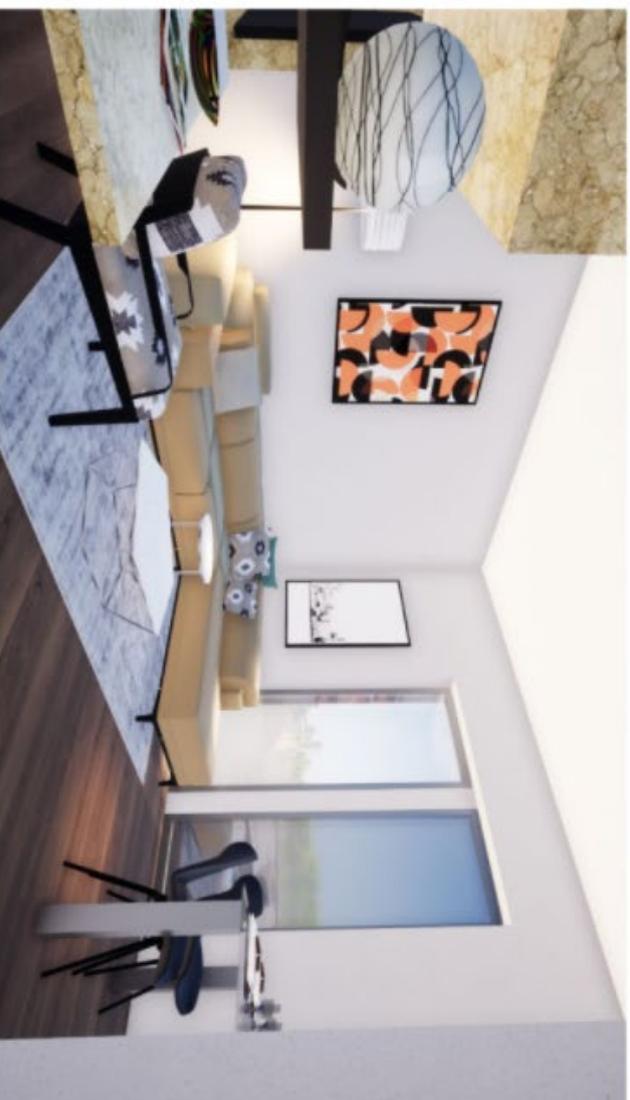


Figura 28: Stato interno pre-opera e render interno

Conto Economico

		MEZZO DI ACQUISIZIONE		
		SOCIETA'		
PARAMETRI PER IL CONTO ECONOMICO	CATEGORIA CATASTALE DELL'IMMOBILE	A/2		
	POSIZIONE DELL'IMMOBILE	Via Trieste 59		
	DIMENSIONE DELL'IMMOBILE [m ²]	250		
	TEMPO DURATA OPERAZIONE STIMATA [mesi]	12		
	RENDITA CATASTALE			
	ACCONTO [€]	30.000 €		
	SALDO [€]	280.000 €		
	PREZZO TOTALE DI ACQUISTO IMMOBILE [€]	310.000 €		
	PREZZO DI ACQUISTO AL M ² [€/m ²]	1.240 €		
	ONERI FINANZIARI [%] (va calcolato sul totale)	20.000 €		
	IMPOSTE (selezionare se acquisto di prima o seconda casa)	IMPOSTE 2 ^a CASA	27.900 €	
	MEDIAZIONE AGENZIA [%]	4%	12.400 €	
	IVA MEDIAZIONE AGENZIA [%]	22%	2.728 €	
	ATTO NOTARILE [€]	2.000 €		
	COSTI PER TIPOLOGIA DEI LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE [€/m ²] se si vuole inserire un importo specifico, selezionare ALTRO e compilare la casella sottostante	LEGGERA	250[€/mq]	
	COSTO TOTALE LAVORI DI RISTRUTTURAZIONE [€]	62.500 €		
	IVA PER LAVORI RISTRUTTURAZIONE [%]	10%	6.250 €	
	IMPREVISTI NELLA RISTRUTTURAZIONE [%]	5%	3.125 €	
	COMPENSO TOTALE DEI TECNICI [€]	10.000 €		
	ONERI TECNICI [€/m ²]	50 €	12.500 €	
CONDOMINIO DI COMPETENZA [€/mese]	0 €	0 €		
TOTALE HOME STAGING E RENDER [€]	5.000 €			
TOTALE INVESTIMENTO	474.403 €			

Figura 29: Conto Economico

Tipologia	Stato conservativo	Valore Mercato (€/mq)	
		Min	Max
Abitazioni civili	NORMALE	1300	1700
Abitazioni civili	Ottimo	1750	2300
Abitazioni di tipo economico	NORMALE	900	1300
Box	NORMALE	800	1200

PREVISIONE CONSERVATIVA	PREZZO DI RIVENDITA PREVISTO AL M ² [€]	2.700 €	
	PREZZO DI RIVENDITA TOTALE [€]		675.000 €
	UTILE LORDO OPERAZIONE		200.597 €
	R.O.I. LORDO OPERAZIONE		42,28%
	R.O.I. LORDO OPERAZIONE SU BASE ANNUA		42,28%
	R.O.E. LORDO SOLO SU ACCONTO		668,66%
R.O.E. LORDO TOTALE SALDO		64,71%	
R.O.E. LORDO OPERAZIONE SU BASE ANNUA		64,71%	
PREVISIONE PROBABILE	PREZZO DI RIVENDITA PREVISTO AL M ² [€]	2.850 €	
	PREZZO DI RIVENDITA TOTALE [€]		712.500 €
	UTILE LORDO OPERAZIONE		238.097 €
	R.O.I. LORDO OPERAZIONE		50,19%
	R.O.I. LORDO OPERAZIONE SU BASE ANNUA		50,19%
	R.O.E. LORDO SOLO SU ACCONTO		793,66%
R.O.E. LORDO TOTALE SALDO		76,81%	
R.O.E. LORDO OPERAZIONE SU BASE ANNUA		76,81%	
PREVISIONE MIGLIORE	PREZZO DI RIVENDITA PREVISTO AL M ² [€]	3.000 €	
	PREZZO DI RIVENDITA TOTALE [€]		750.000 €
	UTILE LORDO OPERAZIONE		275.597 €
	R.O.I. LORDO OPERAZIONE		58,09%
	R.O.I. LORDO OPERAZIONE SU BASE ANNUA		58,09%
	R.O.E. LORDO SOLO SU ACCONTO		918,66%
R.O.E. LORDO TOTALE SALDO		88,90%	
R.O.E. LORDO OPERAZIONE SU BASE ANNUA		88,90%	

Figura 30: Conto Economico

In conclusione, l'analisi del mercato immobiliare di zona, la continua ed esponenziale crescita della domanda di immobili e l'incrocio delle dinamiche sociali e demografiche con la continua implementazione di servizi e dei collegamenti offerti dall'amministrazione lascia pochi dubbi sulla potenziale redditività del territorio civitanovese e sul trend positivo che la città sta vivendo.

Attualmente il mercato è in quella fase di crescita denominata «overmarket», che avviene appunto quando la domanda supera l'offerta. Questa situazione ha generato una notevole velocità di vendita.

Dalle informazioni reperite attraverso rapporti consolidati con intermediari di zona e poi analizzate tramite sofisticati strumenti di analisi, si è evidenziato che gran parte degli immobili messi in vendita a prezzo di mercato vengono venduti mediamente entro poche settimane dalla pubblicazione.

Un'ulteriore nostra analisi del mercato svolta con una sensibilità molto maggiore rispetto a quella analitica messa a disposizione dall'Agenzia delle Entrate (valori OMI) ha mostrato che, in base alle varie zone centrali, i prezzi di vendita degli immobili oscillano dai 1.500 €/m² con picchi di 3.500 €/m², con una tendenza post-covid in forte crescita.

Weakness	Strengths
<ol style="list-style-type: none">1. Preparazione pratiche amministrative per cambio di destinazione d'uso.2. Permessi per autorizzazione interventi esterni3. Riqualificazione esterna della palazzina	<ol style="list-style-type: none">1. Tipologia di immobili ricavati2. Zona con fortissima richiesta3. Accesso Superbonus 110%

Figura 31: Punti di forza e di debolezza

6.2 Ambito Strutturale

Come già descritto in dettaglio nel capitolo 4, verrà illustrato l'iter per l'ambito strutturale. Ciò permette di stimare il rischio sismico dell'immobile sulla base di una serie di informazioni.

È stato sviluppato un modello bayesiano sulla base di un modello ridotto della prestazione strutturale degli edifici in cui il set di parametri sono stati presi dalla piattaforma OpenQuake considerando la casistica italiana di Barbara Borzi, per il calcestruzzo armato e per la muratura.

Per avviare le simulazioni del modello ridotto sono necessari dei parametri racchiusi nel database di informazioni, associata all'accelerazione al suolo (PGA) ricavata dal documento Excel "Spettri-NTC" (D.M. 14 gennaio 2008 – Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni).

In OpenQuake sono stati analizzati 27 edifici in calcestruzzo armato e 10 edifici in muratura. Una volta esaminati i 37 edifici, in totale, per ognuno di essi si è ricavata una curva di fragilità così da capire, data la tipologia dell'edificio, la probabilità di quest'ultimo di superare diversi livelli di danno in funzione all'intensità dello scuotimento sismico del terreno. Le curve di fragilità analizzate sono calcolate con il metodo SP-BELA. Ogni struttura è identificata tramite una stringa tassonomica all'interno del quale sono presenti i seguenti attributi:

Direzione

Materiale del sistema di resistenza al carico laterale

Sistema di resistenza al carico laterale

Altezza

Data di costruzione o ammodernamento

Occupazione

Posizione dell'edificio all'interno di un blocco

Forma della pianta dell'edificio

Irregolarità strutturale

Pareti esterne

Tetto

Piano

Sistema di fondazione

Queste variabili serviranno per la valutazione semplificata della perdita sismica che è basata su pushover (SP-BELA), metodo per la definizione della capacità strutturale degli edifici.

Successivamente, grazie al documento Excel “Spettri di Risposta”, riusciamo a identificare gli spettri di risposta delle azioni sismiche di progetto.

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 32: Spettro di Risposta

Come primo passo, in 'FASE 1', si procede all'individuazione del comune in esame. In questo caso Civitanova Marche, in provincia di Macerata, nelle Marche.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
13,7215

LATITUDINE
43,3079

Ricerca per comune

REGIONE
Marche

PROVINCIA
Macerata

COMUNE
Portocivitanova

Elaborazioni grafiche

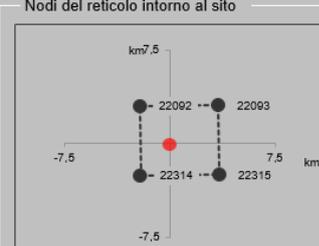
Grafici spettri di risposta ▶▶▶

Variabilità dei parametri ▶▶▶

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ▶▶▶

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta



Interpolazione

superficie rigata ▼

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 33

In 'FASE 2' si sceglie:

- Vita Nominale (VN) 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 (CU) che varia a seconda della tipologia di costruzione. Abbiamo considerato una vita nominale di 50 anni con una classe d'uso II, il cui coefficiente è pari a 1.

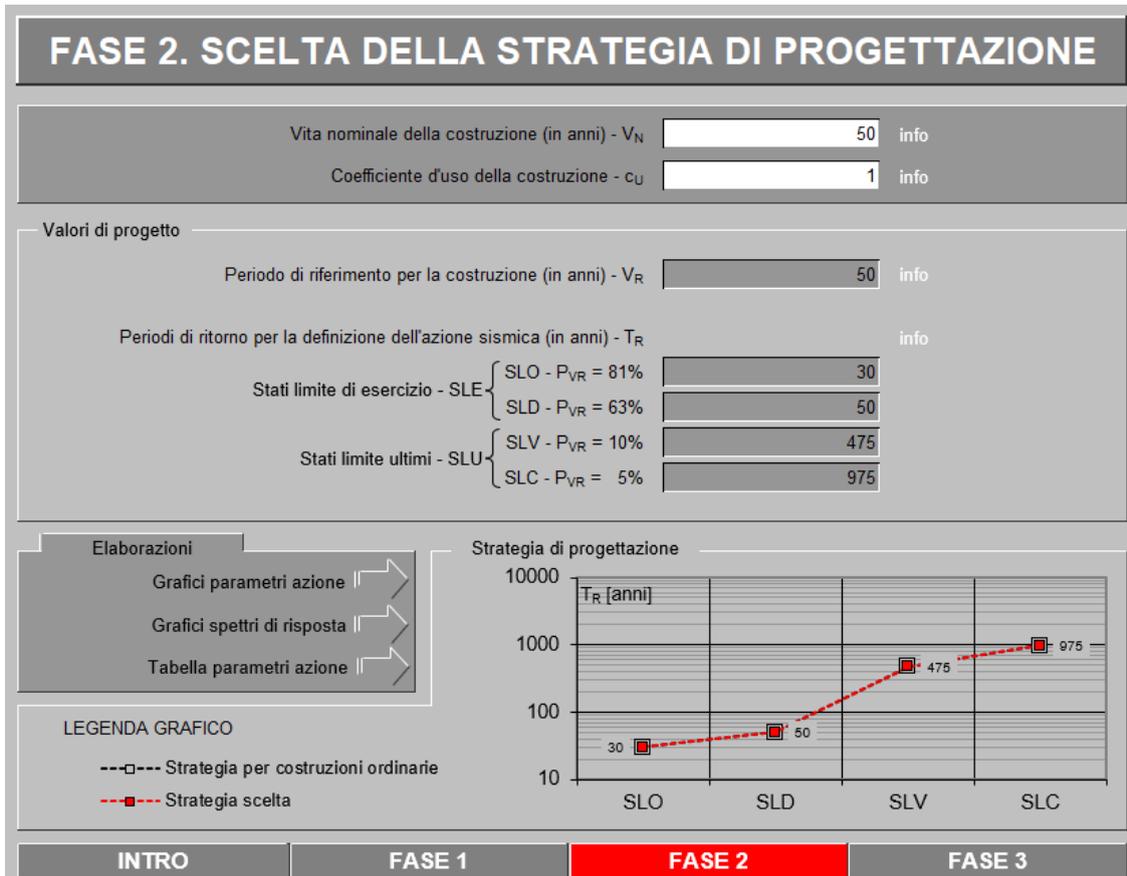


Figura 34

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, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

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.

In 'FASE 3' si va ad impostare lo Stato Limite considerato, la cui categoria di sottosuolo e la categoria topografica. Si sceglie dunque:

- Stato Limite = SLV (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 .

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **A** info

$S_S = 1,000$

$C_C = 1,000$ info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 0,000$

$S_T = 1,000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta = 1,000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0 **3**

Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1,5**

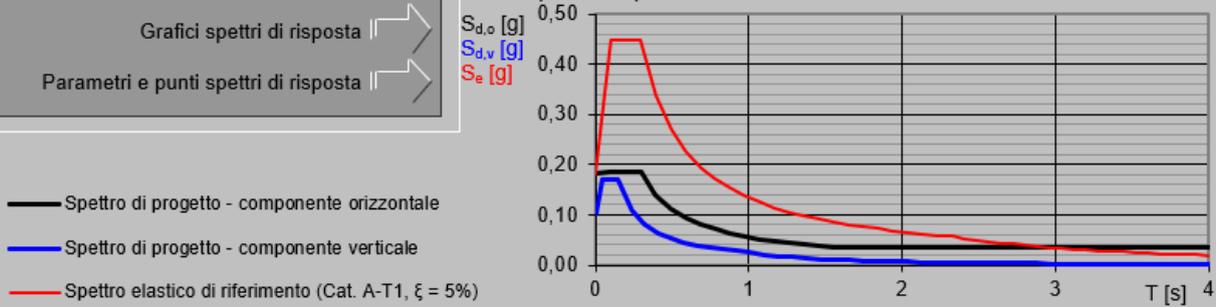
$\eta = 0,667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 36: Cat. Sottosuolo A, Cat. Topografica: T1

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_0	0,181 g
F_0	2,468
T_C	0,298 s
S_S	1,000
C_C	1,000
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,000
η	0,417
T_B	0,099 s
T_C	0,298 s
T_D	2,324 s

Figura 37: a_0 , T_C^* e F_0 . Cat. Sottosuolo A, Cat. Topografica: T1

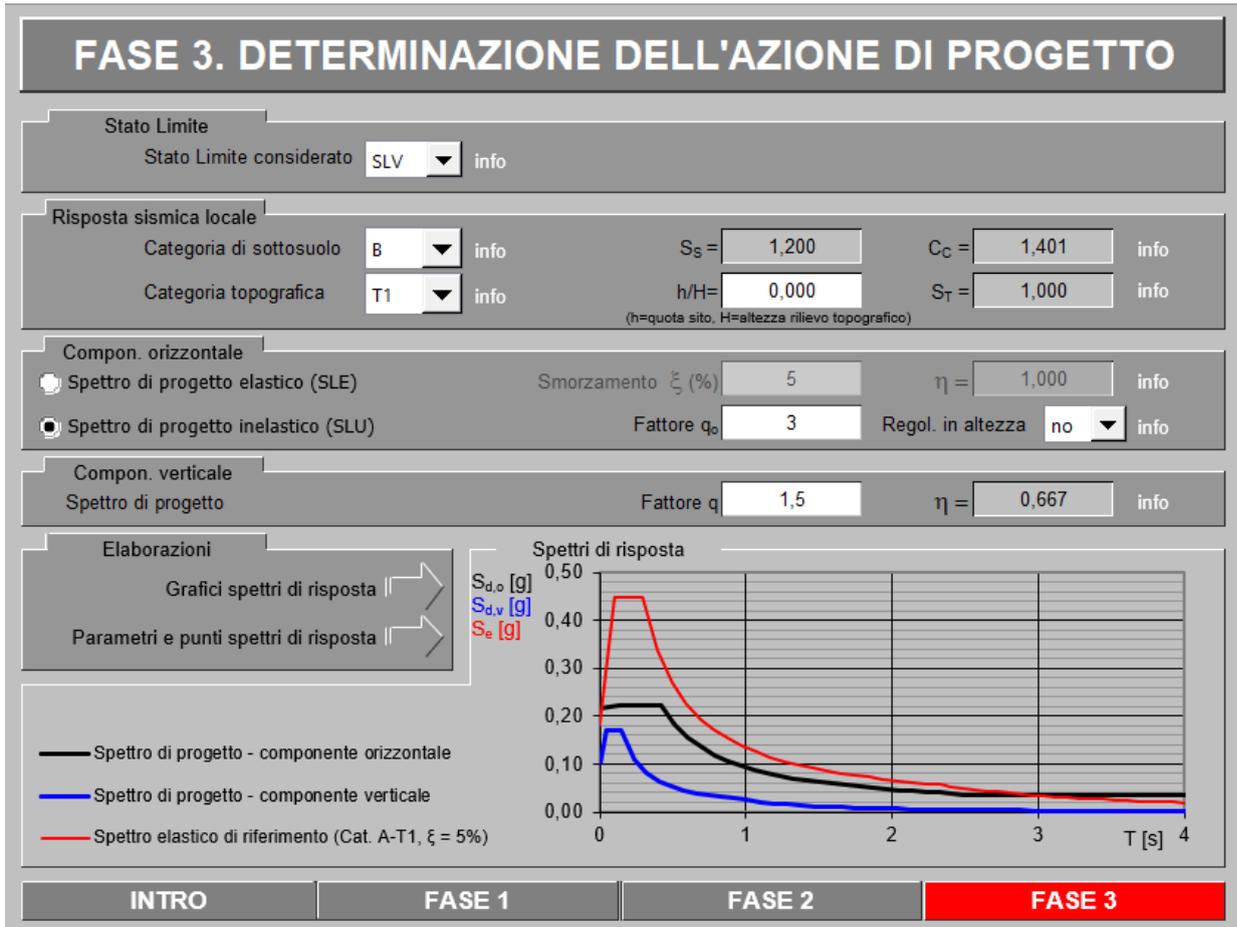


Figura 38: Cat. Sottosuolo B, Cat. Topografica: T1

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_0	0,181 g
F_0	2,468
T_C^*	0,238 s
S_S	1,200
C_C	1,401
S_T	1,000
q	2,400

Figura 39: a_0 , T_C^* e F_0 . Cat. Sottosuolo B, Cat. Topografica: T1

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,417
T_B	0,139 s
T_C	0,418 s
T_D	2,324 s

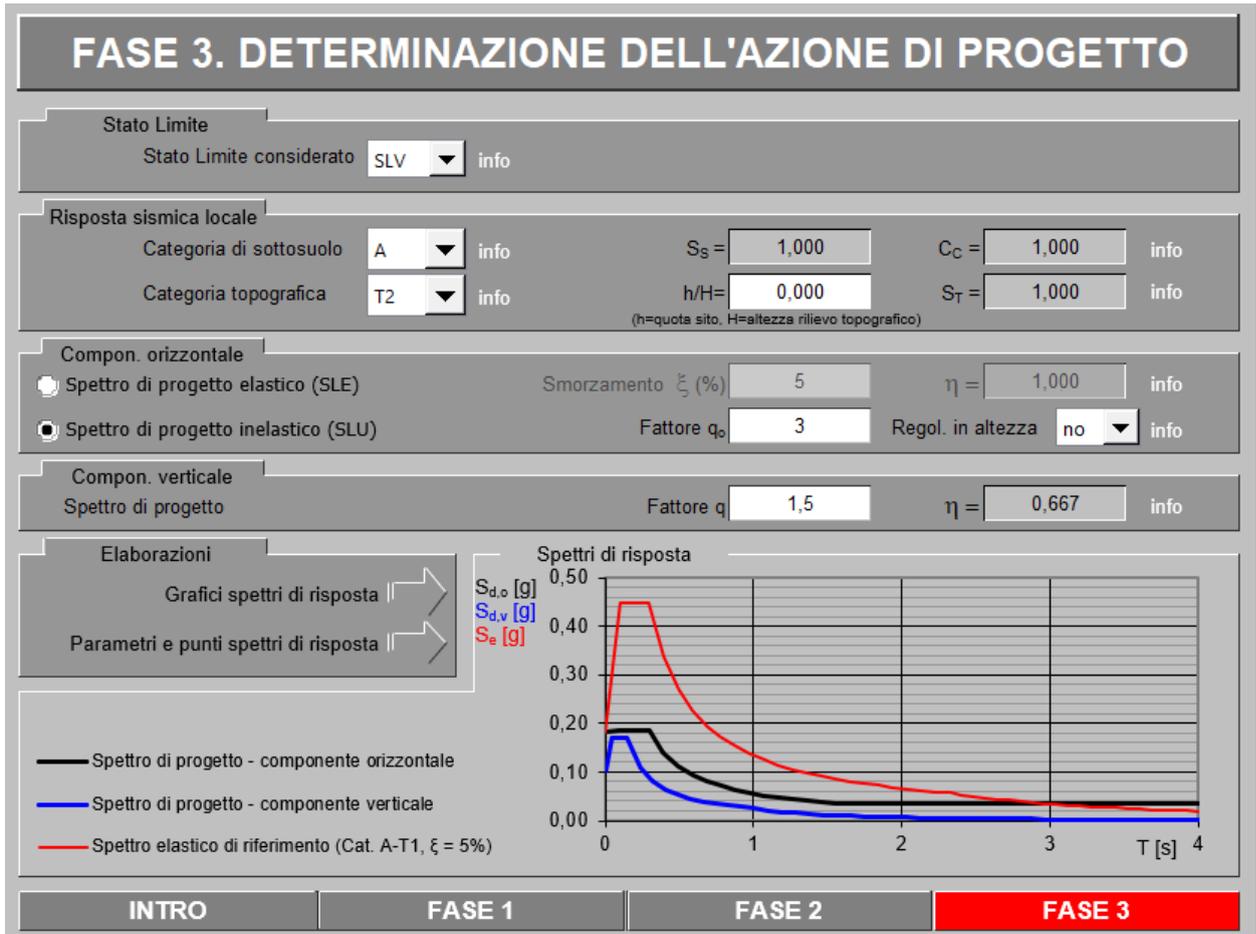


Figura 40: Cat. Sottosuolo A, Cat. Topografica: T2

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_0	0,181 g
F_0	2,468
T_C^*	0,298 s
S_S	1,000
C_C	1,000
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,000
η	0,417
T_B	0,099 s
T_C	0,298 s
T_D	2,324 s

Figura 41: a_0 , T_C^* e F_0 . Cat. Sottosuolo A, Cat. Topografica: T2

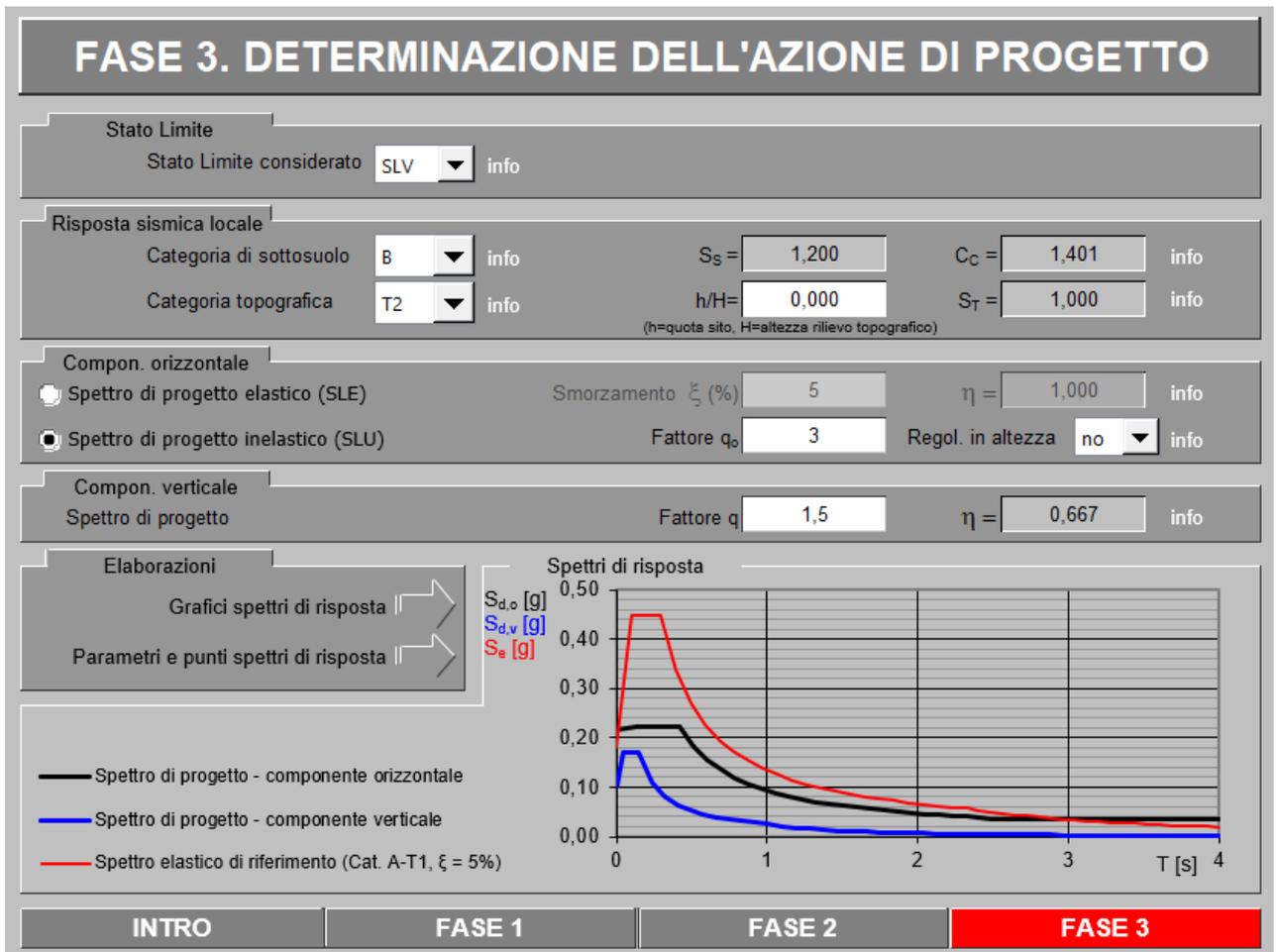


Figura 42: Cat. Sottosuolo A, Cat. Topografica: T2

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,181 g
F_0	2,468
T_C^*	0,298 s
S_S	1,200
C_C	1,401
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,200
η	0,417
T_B	0,139 s
T_C	0,418 s
T_D	2,324 s

Figura 43: a_g , T_C^* e F_0 . Cat. Sottosuolo B, Cat. Topografica: T2

Infine in Hugin Researcher, software utilizzato per creare la rete bayesiana, viene creato un database con tutte le variabili.

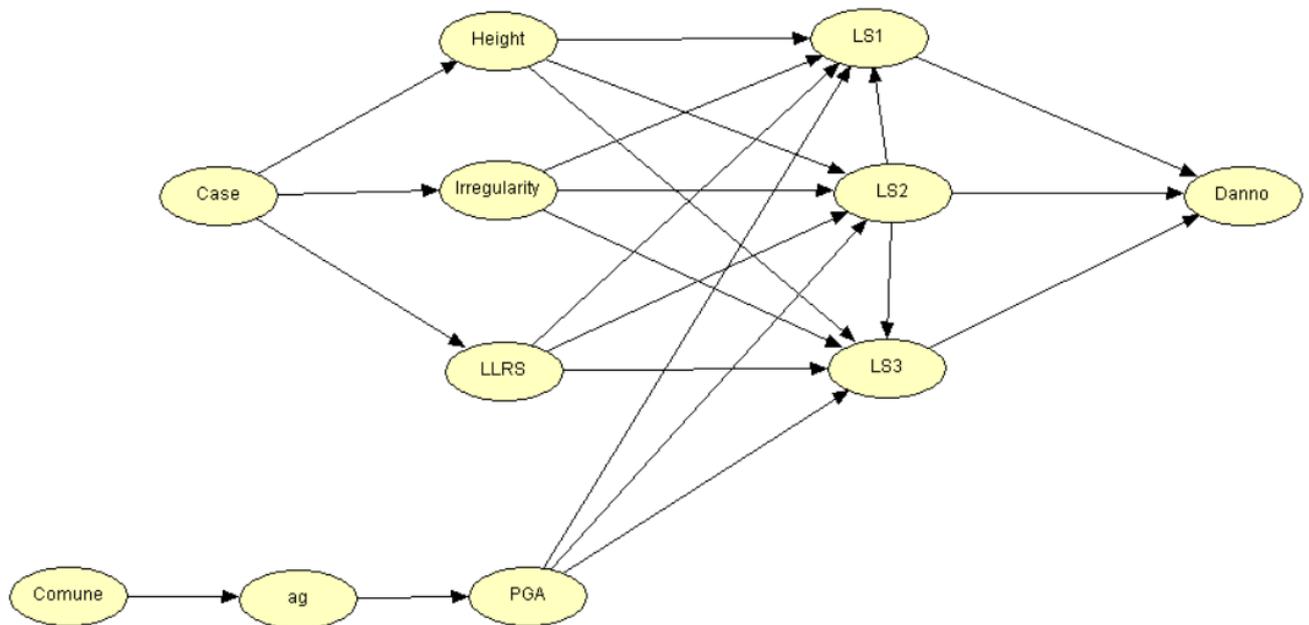


Figura 44: schema in Hugin

Dove:

- Comune: indica il comune in cui ci troviamo
- Ag: accelerazione al suolo ricavata per ogni singolo comune marchigiano, come da decreto NTC 2018
- Case: identificativo degli studi utilizzati
- LLRS: sistema di resistenza al carico laterale (cornice momento, non duttile), come definito dal GEM
- Irregularity: irregolarità strutturale, come definito dal modello GEM
- Height: altezza in pianta
- LS: livelli di danno leggero, significativo e collasso, come definito dal modello GEM
- Danno: intersezione delle curve di fragilità con una curva di rischio attesa, come definito dal modello GEM

Una volta fatto il run, otteniamo questo risultato:

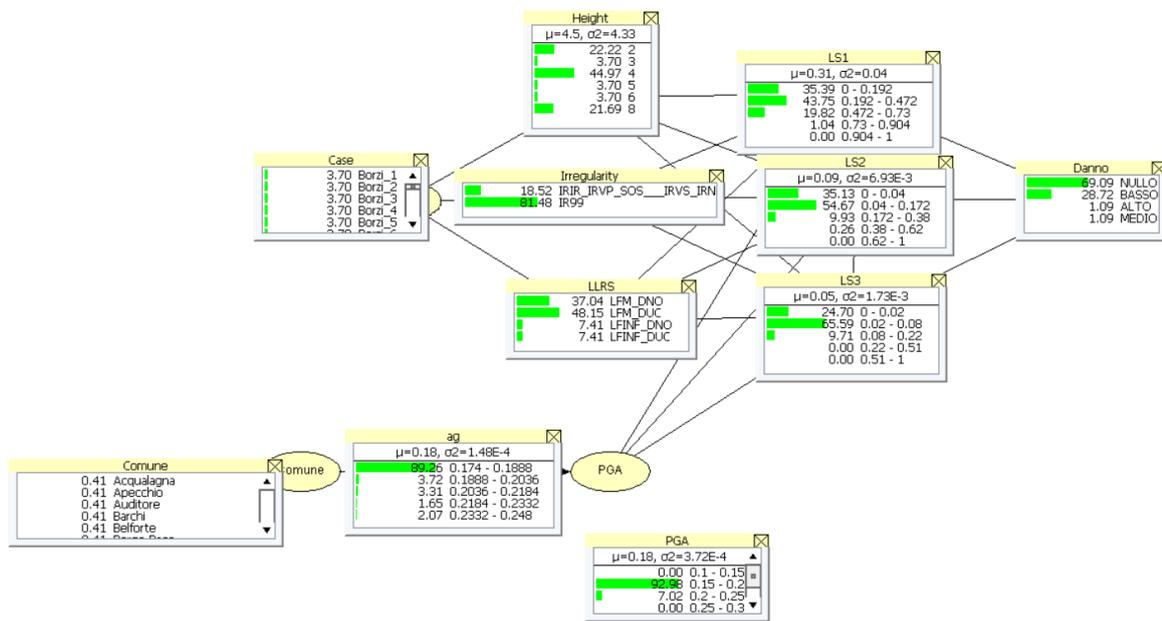


Figura 45

Introduciamo ora il comune di Civitanova Marche:

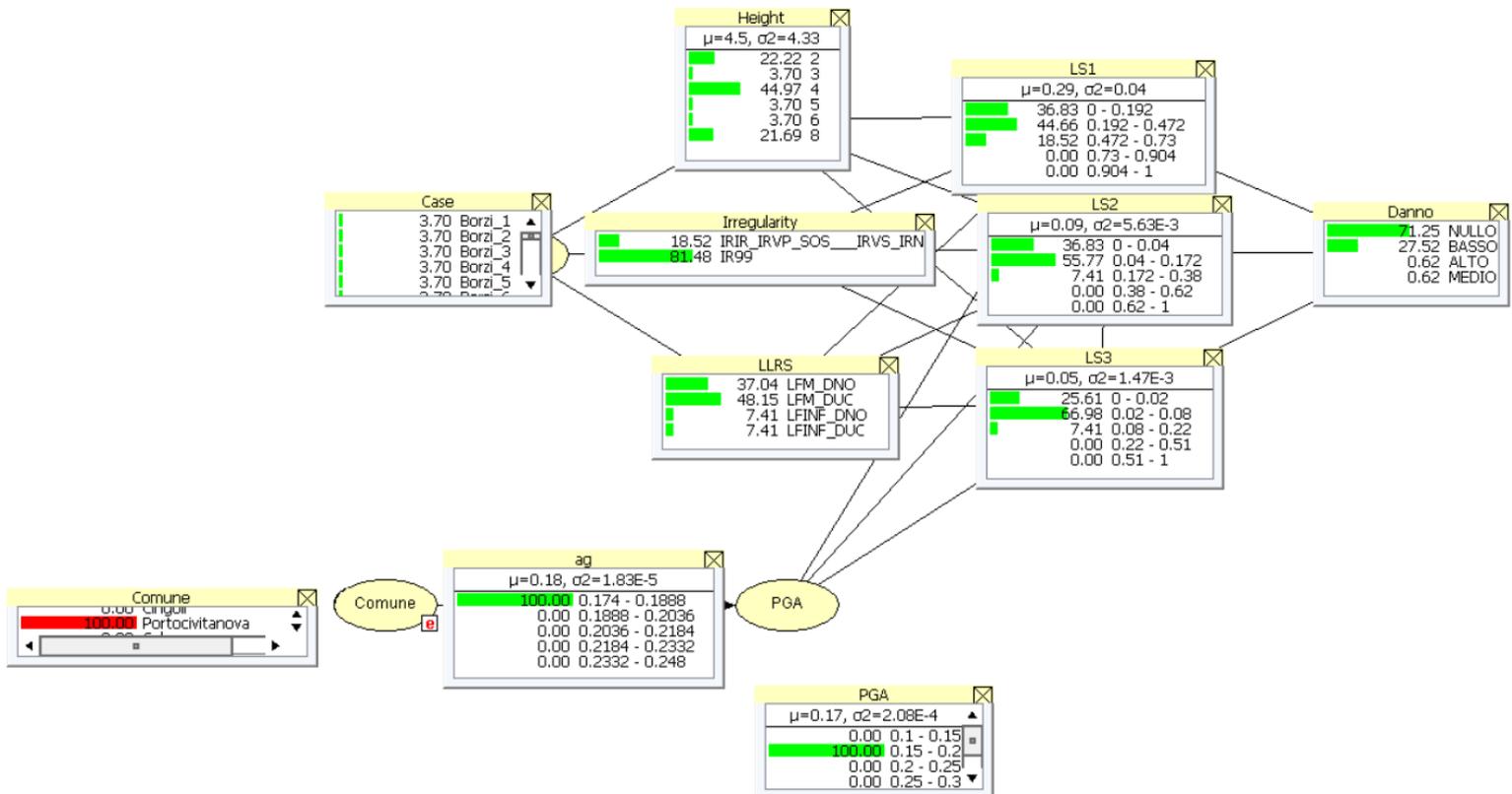


Figura 46

Il software ci restituisce l'ag e la PG compresa in un determinato intervallo che è stato discretizzato. Ciò grazie al database creato.

Successivamente introduciamo l'altezza dell'edificio, che è un edificio di 3 piani:

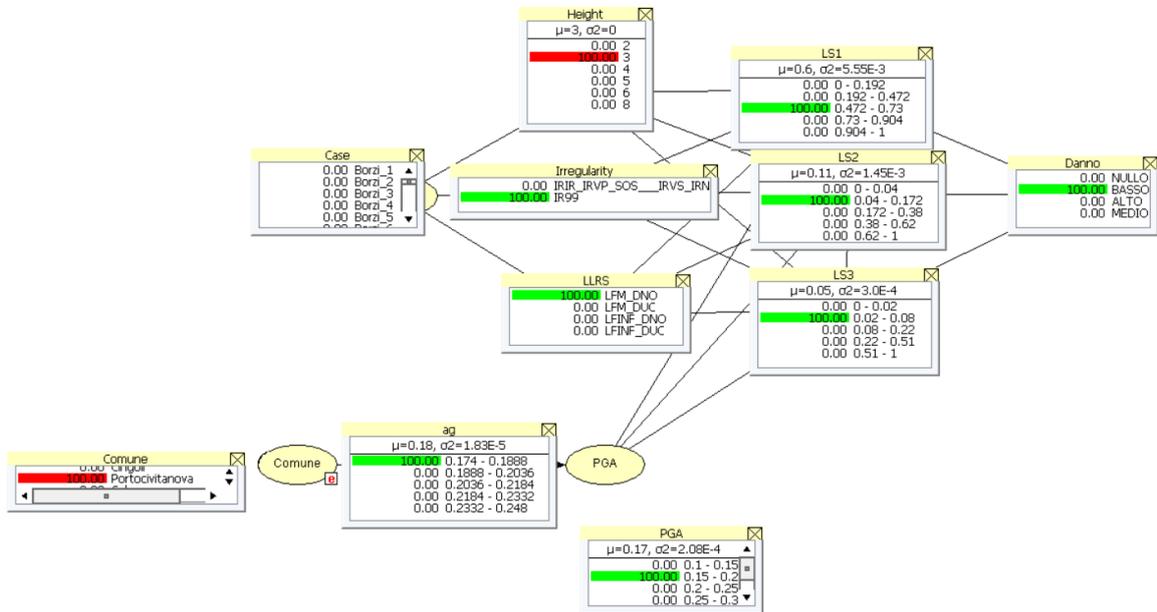


Figura 47

Infine scegliamo il sistema di resistenza al carico laterale, che in questo caso è una cornice momento non duttile, secondo lo schema GEM, ed otteniamo le probabilità di danno finali, che risultano BASSE:

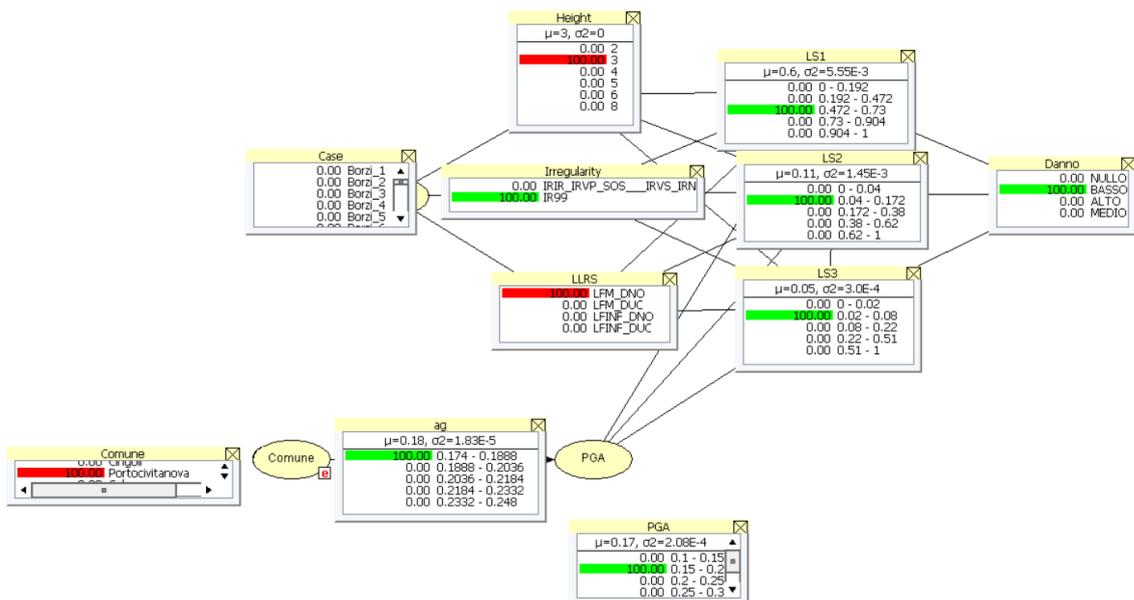


Figura 48

La rete può permettere anche valutazioni all'indietro: ovvero è possibile analizzare le caratteristiche tecniche che sono necessarie per raggiungere un livello di danno BASSO e in particolari comuni.

6.3 Ambito Energetico

Come già descritto nel Capitolo 5 viene applicato il Case Based Reasoning che unisce le inferenze della rete bayesiana, ciò creerà una combinazione di inferenza che permette di estendere il dominio anche con informazioni non strutturate.

È una rapida valutazione su quali possono essere le potenzialità di risparmio energetico dell'abitazione. Riprendiamo ora la rete bayesiana:

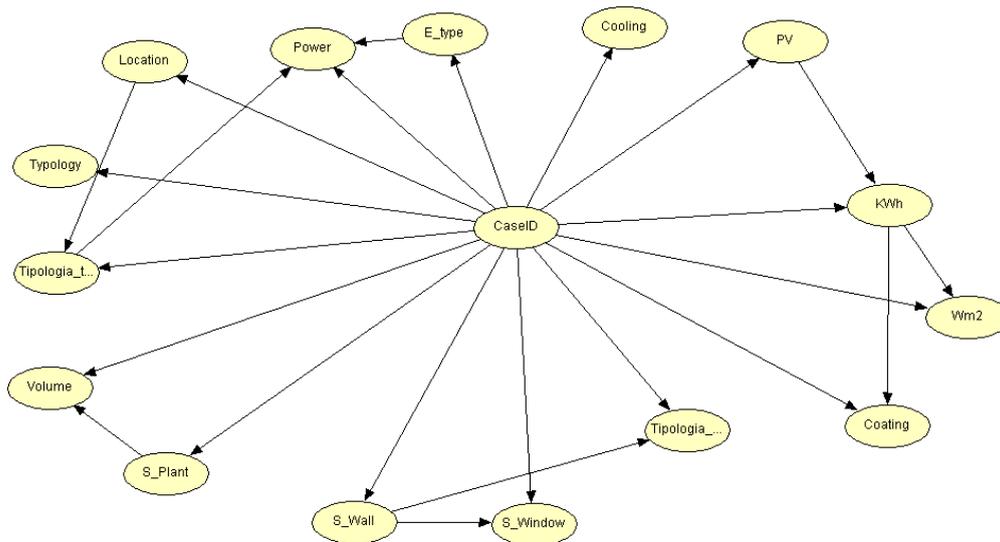


Figura 49

Possiamo notare diversi parametri, i principali che ci interessano e che andremo a mettere sono:

- Volume: volume dell'abitazione
- S_Window: superficie finestrata
- Power: potenza dell'impianto
- Tipo di Energia: gas o elettrico
- PV: presenza o assenza di pannelli fotovoltaici

In più abbiamo altri parametri da poter inserire, quali:

- Type: tipologia edilizia analizzata (abitazione monofamiliare, medio condominio e a schiera)
- Location: luogo in cui è situato l'immobile oggetto dell'analisi
- Cooling: se c'è raffrescamento
- Tipologia_tetto: tipo di tetto, se a falde o piano
- Tipologia muraria: descrive brevemente il tipo di pacchetto costruttivo caratterizzante l'edificio in oggetto.

Si tratta ovviamente di una stima, visto che i casi in esame sono ridotti, senza effettuare misurazioni, il che permette di guadagnare tempo e di farsi un'idea, in che classe energetica si può posizionare l'edificio.

Cominciamo ora ad inserire i parametri, il primo è il volume. L'abitazione ha un volume di circa 210 mc, inserito quindi nel range tra 0 e 359 mc.

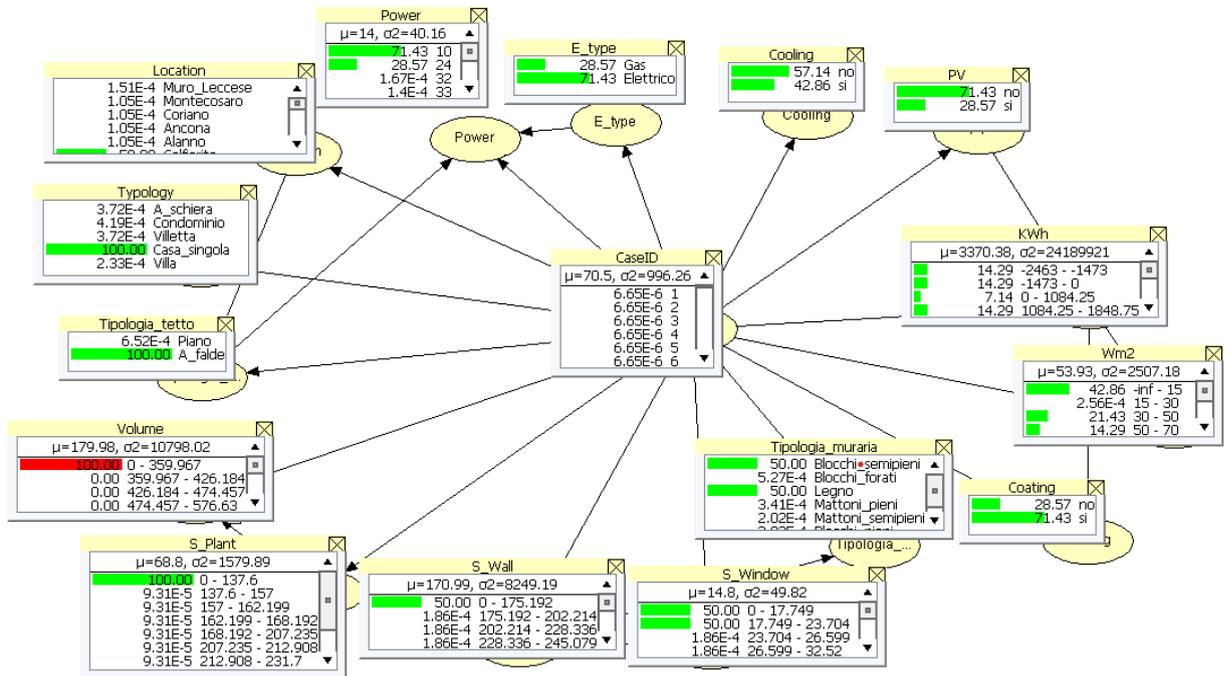


Figura 50

Andiamo ora ad inserire la superficie vetrata. La superficie vetrata risulta di circa 13 mq, quindi verrà inserito il range tra 0 e 17,749 mq:

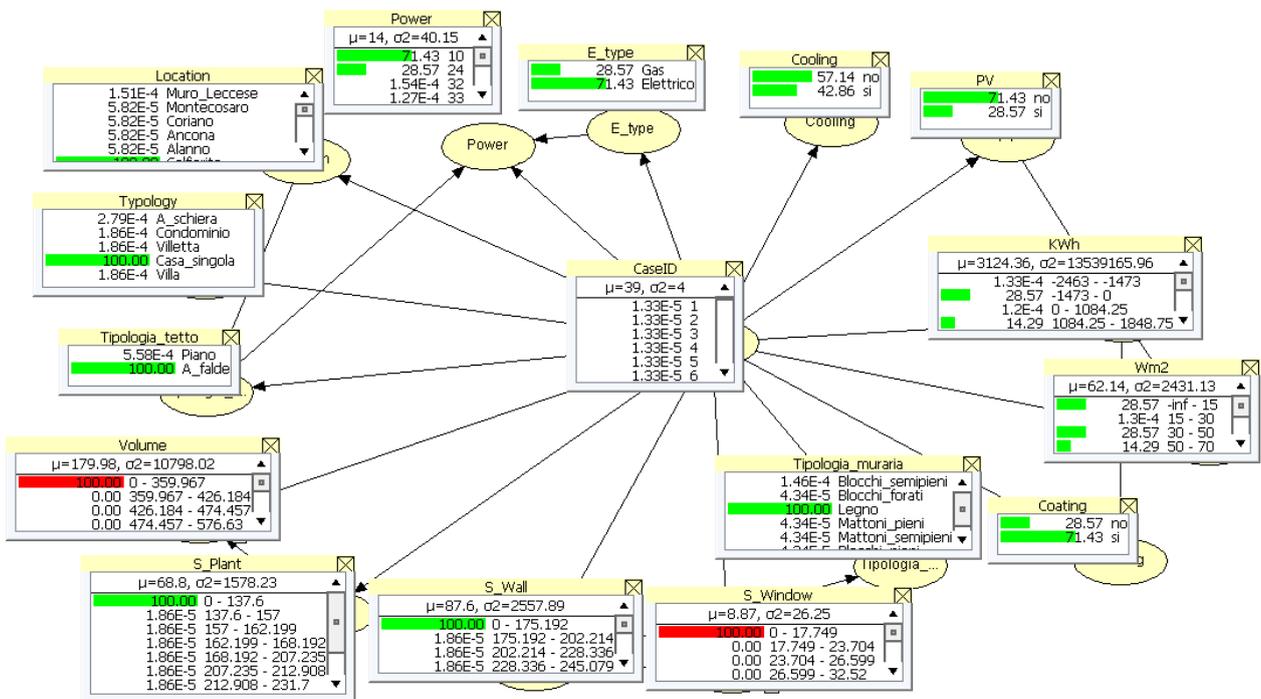


Figura 51

Inseriamo la potenza della caldaia, che è di 24 kW:

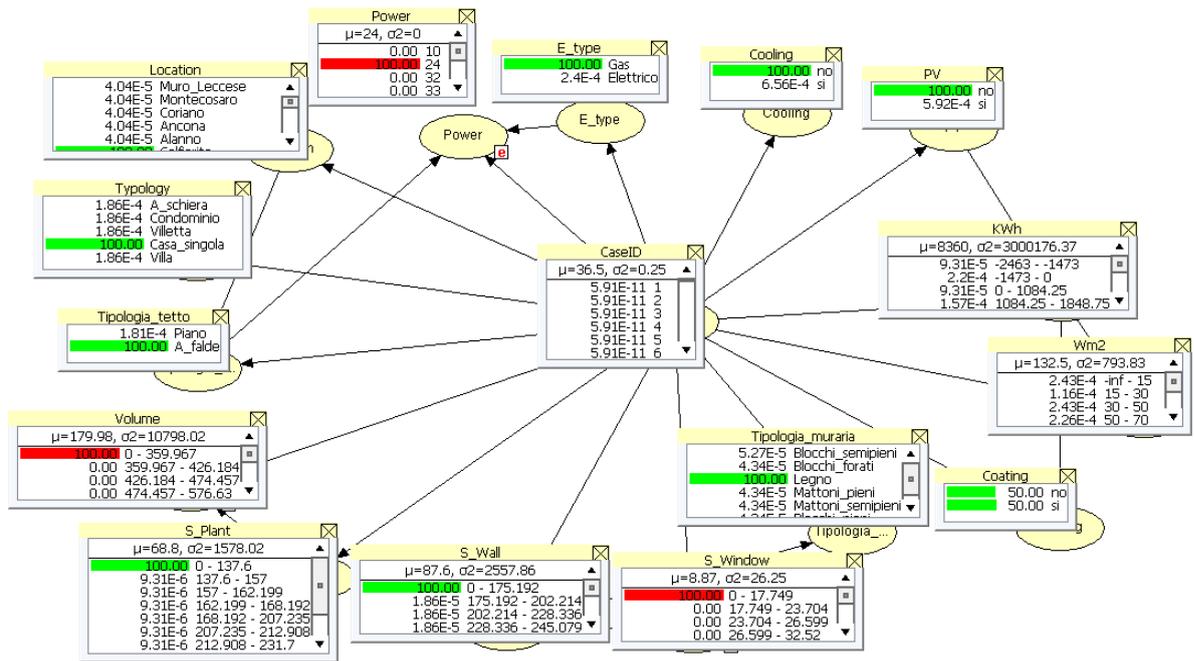


Figura 52

Il tipo di energia primaria, ovvero pompa di calore:

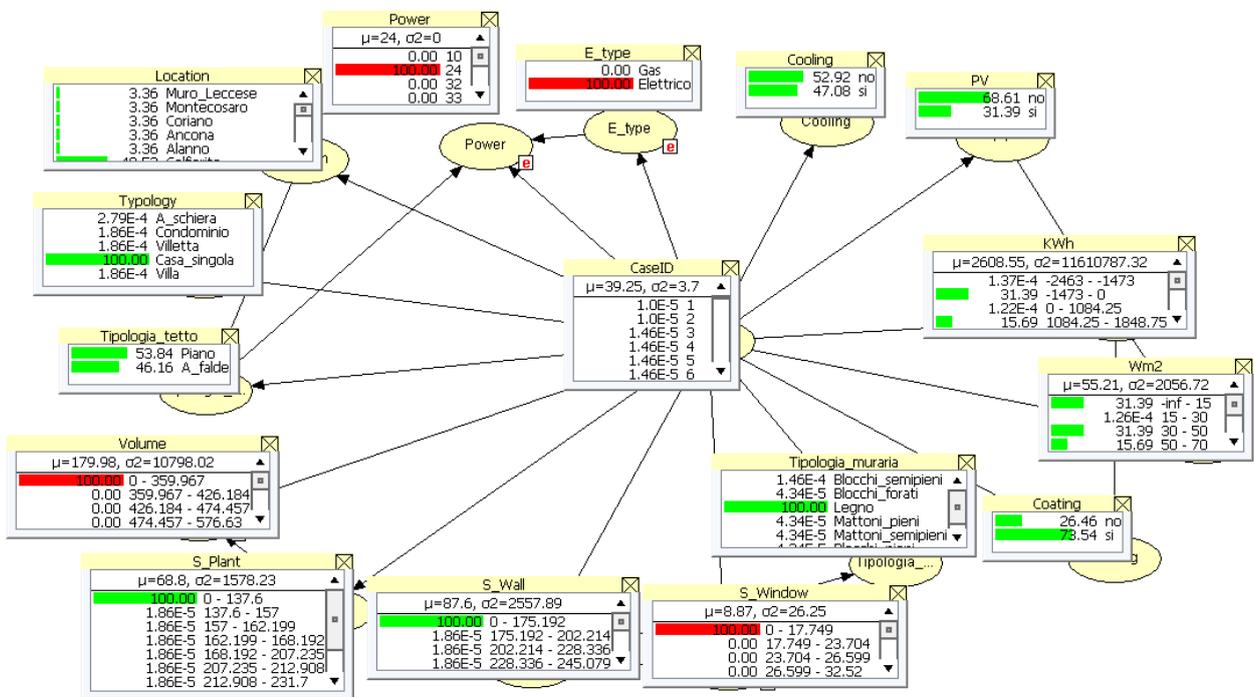


Figura 53

Ed infine viene aggiunta la presenza dei pannelli fotovoltaici:

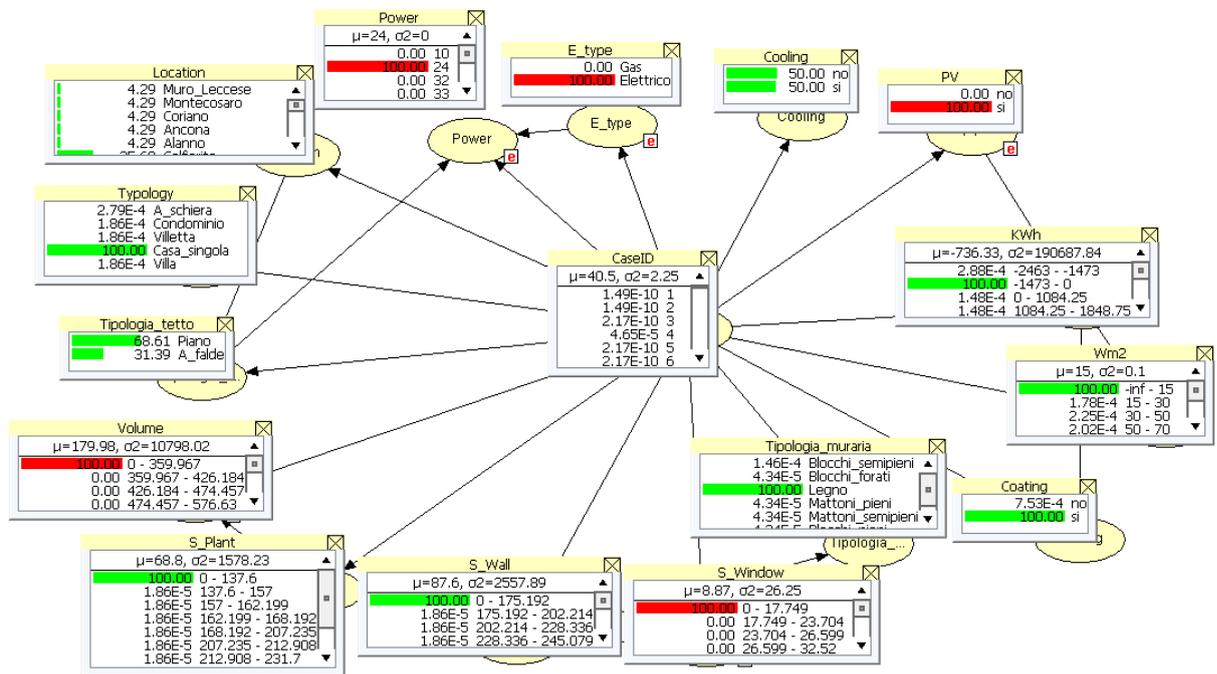


Figura 54

Ciò che otteniamo, è la classe che è visibile in W/m2 (in questo caso, siamo in classe A, visto che l'abitazione è stata ristrutturata. Il dato è attendibile visto che si è raggiunta la classe A3 con tutte le modifiche apportate nella realtà da Gumpab).

7. Conclusioni

In questa tesi si è presentata l'organizzazione della Gumpab, azienda in forte crescita di Ancona, con tutti i suoi ruoli, il Workflow e come l'azienda investe nel mercato immobiliare, descrivendo le scelte strategiche e di mercato che l'azienda opera.

Si è cercato poi di creare un sistema di supporto alle decisioni per ovviare a delle perdite di tempo che l'azienda ha, e che vuole risolvere, quali:

- 1- Ambito Strutturale
- 2- Ambito Energetico

Descrivendo le reti bayesiane e illustrando il Case Based Reasoning, si è creato un foglio di Hugin in cui è possibile stimare in ambito energetico il rischio di danno che la struttura può avere, semplicemente inserendo dei dati molto semplici da reperire e così da capire quasi ad 'occhio' se vale la pena investire in quella struttura.

La stessa cosa è stata fatta per l'Ambito Energetico, in cui sempre tramite una rete bayesiana e pochi e semplici dati è stato possibile stimare la classe energetica che può raggiungere un'abitazione.

Il sistema può essere usato a ritroso, cioè conoscendo la classe che voglio raggiungere, torno a ritroso per capire cosa posso mettere e cosa no, per raggiungere quella determinata classe.

Il tutto è stato applicato ad una struttura realmente esistente, in via Trieste 59 a Civitanova Marche (MC), dove, avendo i dati alla mano, è stato possibile creare una rete reale per la struttura esistente.

Si è anche presentata la soluzione che la Gumpab ha creato, illustrando il progetto e tutte le scelte tecniche ed economiche adottate.

Serviranno studi più approfonditi per riuscire a tarare bene il sistema. Le reti bayesiane funzionano bene quando si ha un database molto ampio, così che i risultati siano molto precisi e molto reali.

Bibliografia

- 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
- Learning Dynamic Bayesian Networks: Algorithms and Issues - Alex Black, Kevin Korb, Ann Nicholson Clayton School of Information Technology, Monash University
- <https://www.globalquakemodel.org/openquake>
- Sistemi di supporto 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 strutturale, Laura Strozzi, UnivPM, Luglio 2021