



**Università degli Studi di Palermo**  
**Scuola Politecnica**

**Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico in**  
**Ingegneria Edile - Architettura**  
**A.A. 2017/18**

***LINEE GUIDA PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL***  
***CENTRO STORICO DI ALCAMO***

**Tesi di Laurea di:**  
Santo Vinciguerra

**Relatori:**  
Prof. Giuseppe Trombino  
Prof. Lidia La Mendola  
Prof. Piero Colajanni

*Ai miei genitori e a mia sorella,  
costante punto di riferimento...*

## **INDICE**

### **PREMESSA**

### **PARTE PRIMA**

#### **1. Analisi delle caratteristiche strutturali e di vulnerabilità dell'edilizia storica**

##### 1.1 Conoscenza del territorio italiano e del Rischio Sismico

###### 1.1.1 Pericolosità Sismica

###### 1.1.2 Vulnerabilità

###### 1.1.3 Esposizione

##### 1.2 Analisi di vulnerabilità a scala urbana

###### 1.2.1 La scheda CARTIS di primo livello

###### 1.2.2 Suddivisione in comparti del territorio di Alcamo

###### 1.2.3 Caratteristiche delle tipologie strutturali nel territorio di Alcamo

##### 1.3 Analisi di vulnerabilità a scala edilizia

### **BIBLIOGRAFIA**

### **SITOGRAFIA**

### **PARTE SECONDA**

#### **2. Progetto di recupero strutturale di un edificio campione nel territorio di Alcamo (TP)**

##### **2.1 Normativa e metodo di analisi delle strutture in muratura**

###### 2.1.1 Prescrizioni normative per edifici in muratura

###### 2.1.2 Metodi di analisi secondo la normativa italiana: Analisi Statica non lineare

###### 2.1.2.1 Definizione della curva di capacità del sistema reale

###### 2.1.2.2 Definizione del sistema equivalente ad un solo grado di libertà

###### 2.1.2.3 Valutazione del sistema bilineare equivalente

###### 2.1.2.4 Valutazione della capacità e della domanda di spostamento

###### 2.1.2.5 Combinazioni di carico

###### 2.1.2.6 Punto di controllo

###### 2.1.2.7 Stati Limite da analizzare

#### 2.1.2.8 Novità introdotte dal D.M. 17/01/2018

### 2.1.3 Sisma Bonus

#### 2.1.3.1 Introduzione Normativa del Sisma Bonus

#### 2.1.3.2 La procedura per l'applicazione del Sisma Bonus

#### 2.1.3.3 Attribuzione della classe di rischio

#### 2.1.3.4 Metodo convenzionale

#### 2.1.3.5 Metodo semplificato

#### 2.1.3.6 Interventi e relativo passaggio di classe di rischio

## **2.2 Conoscenza e studio di un edificio in muratura nel centro storico di**

### **Alcamo**

#### 2.2.1 Generalità

#### 2.2.2 Inquadramento territoriale

#### 2.2.3 Descrizione del manufatto sito in Alcamo

#### 2.2.4 Rilievo geometrico

#### 2.2.5 Rilievo materico costruttivo e stato di conservazione

#### 2.2.6 Caratterizzazione meccanica dei materiali

#### 2.2.7 Definizione dei livelli di conoscenza e dei conseguenti fattori di confidenza

## **2.3 Modellazione e analisi strutturale dell'edificio**

#### 2.3.1 Il software di calcolo

#### 2.3.2 Fase di modellazione e caratterizzazione dei materiali

#### 2.3.3 Analisi strutturale

#### 2.3.4 Classificazione sismica (PAM e IS-V) dello stato di fatto

## **2.4 Progetto di recupero e relativa variazione della Classe di Rischio**

#### 2.4.1 Criteri e tipi di intervento

#### 2.4.2 Consolidamento della muratura con iniezioni di miscele leganti

#### 2.4.3 Rinforzo delle pareti tramite FRP

#### 2.4.4 Progetto e verifica del solaio in legno-calcestruzzo al primo livello

#### 2.4.5 Nuova classificazione sismica

2.4.6 Valutazioni economiche e stima dei costi degli interventi

2.4.7 Confronto tra metodo convenzionale e metodo semplificato

2.4.8 Ipotesi di progetto

**CONCLUSIONI**

**BIBLIOGRAFIA**

**SITOGRAFIA**

**RINGRAZIAMENTI**



## **PREMESSA**

Il presente lavoro di tesi si inserisce all'interno di un protocollo di collaborazione siglato tra il comune di Alcamo e il Circes della Università di Palermo finalizzato alla definizione di Linee guida per la riqualificazione del centro storico di Alcamo.

Nell'ambito di tale iniziativa si colloca tra l'altro la attivazione di un Laboratorio di Laurea per gli studenti del Corso di Laurea in Ingegneria edile architettura.

Il Laboratorio, coordinato dal prof. Giuseppe Trombino, si avvale della collaborazione di docenti di diverse aree disciplinari: proff. Lidia La Mendola e Piero Colajanni per l'analisi ed il progetto strutturale, la prof. Campisi per l'analisi dei materiali e delle tecniche costruttive storiche, la prof. Peri per gli aspetti energetici.

Al Laboratorio hanno partecipato, oltre agli scriventi autori della presente tesi, altri studenti dello stesso corso di Laurea, alcuni dei quali laureati nella precedente sessione di laurea.

La tesi assume come ambito di analisi e progetto il centro storico di Alcamo, coincidente con le zone A1 e A2 del vigente PRG.

Lo svolgimento del lavoro di tesi è stato notevolmente agevolato dai rapporti di collaborazione con l'Amministrazione comunale che ha consentito di reperire facilmente molte e importanti informazioni in possesso del Comune, e allo stesso tempo ha costituito un forte stimolo ad affrontare tale tema nel modo più completo possibile, essendovi la prospettiva di una concreta applicazione degli strumenti e delle metodologie definiti nell'ambito della corrente tesi.

La collaborazione della disciplina urbanistica con quella sismico-strutturale insieme all'utilizzo di sistemi informatici avanzati, quali il supporto dei software GIS, hanno condotto, sia l'analisi che la pianificazione, ad almeno due principali risultati: la realizzazione della base di un Sistema Informativo Territoriale e la redazione di uno strumento urbanistico che comprenda anche

prescrizioni di natura sismico strutturale. Lo studio multidisciplinare del centro storico, riguardante tanto gli aspetti storici e architettonici quanto quelli urbanistici e di vulnerabilità sismica, ha fornito un quadro completo del bene oggetto di interesse. Il prodotto finale, quindi, è uno strumento urbanistico completo integrato da un supporto informatico dinamico.

La conservazione ed il recupero del centro storico, scopi principali del presente lavoro, sono stati perseguiti analizzando su più livelli i vari aspetti che lo caratterizzano.

La tesi ha affrontato tutte le tematiche che sono coinvolte nel processo di progettazione di un piano di riqualificazione.

In dettaglio, dopo una parte introduttiva riguardante la descrizione del contesto normativo ed urbanistico di riferimento, la tesi ha preso in esame le caratteristiche storiche, morfologiche, tipologiche del centro storico, approfondendo in modo particolare l'analisi delle tecniche costruttive storiche. Una attenzione del tutto particolare è stata dedicata, come detto prima, alle caratteristiche strutturali del patrimonio edilizio, del quale è stata svolta una approfondita analisi di vulnerabilità sismica. Sono stati quindi rilevati tutti i dati sulle caratteristiche del patrimonio edilizio esistente, attraverso la schedatura di ciascuna delle unità edilizie costituenti l'area storica. Tutte le informazioni sono state organizzate in un unico database redatto su cartografie georeferenziate.

Completano il quadro conoscitivo le analisi demografiche e della condizione abitativa.

L'insieme di queste informazioni ha consentito infine di comporre un progetto di intervento strutturato nella forma di un piano particolareggiato di recupero urbanistico. All'interno di tale piano è stata sviluppata una progettazione di dettaglio che ha preso in considerazione gli aspetti funzionali, strutturali, energetici e che ha riguardato edifici tipologicamente rappresentativi del contesto.



***PARTE PRIMA***

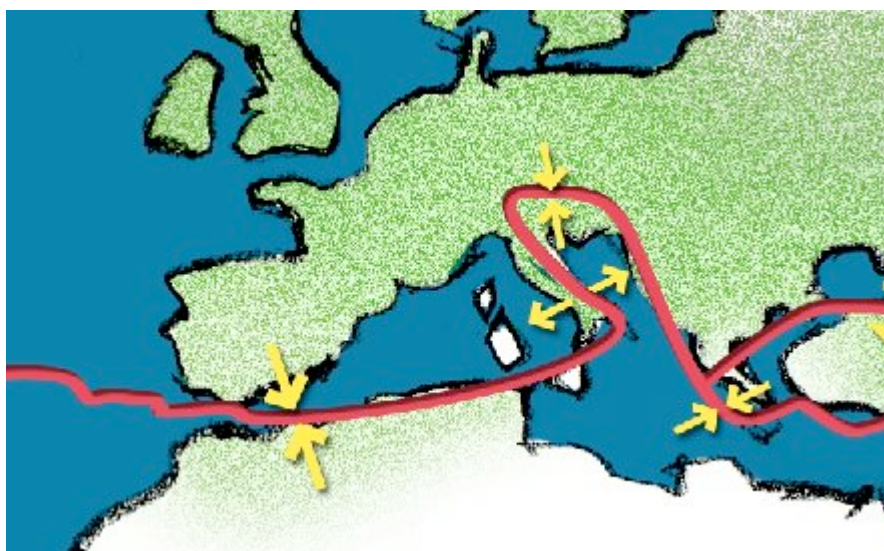
***1. Analisi delle caratteristiche strutturali e di vulnerabilità  
dell'edilizia storica***



## 1.1 Conoscenza del territorio italiano e del Rischio Sismico

L'Italia è un territorio quasi per intero a rischio sismico e idrogeologico, localmente anche vulcanico. Il rischio sismico nel Paese è legato essenzialmente all'orogenesi alpina ed appenninica, due giganteschi eventi tettonici avvenuti in epoche diverse (le Alpi circa 100 milioni di anni fa e l'Appennino circa 20 milioni) che hanno letteralmente accavallato quelle che un tempo erano delle zone di pianura o di mare producendo i sistemi montuosi che oggi conosciamo.

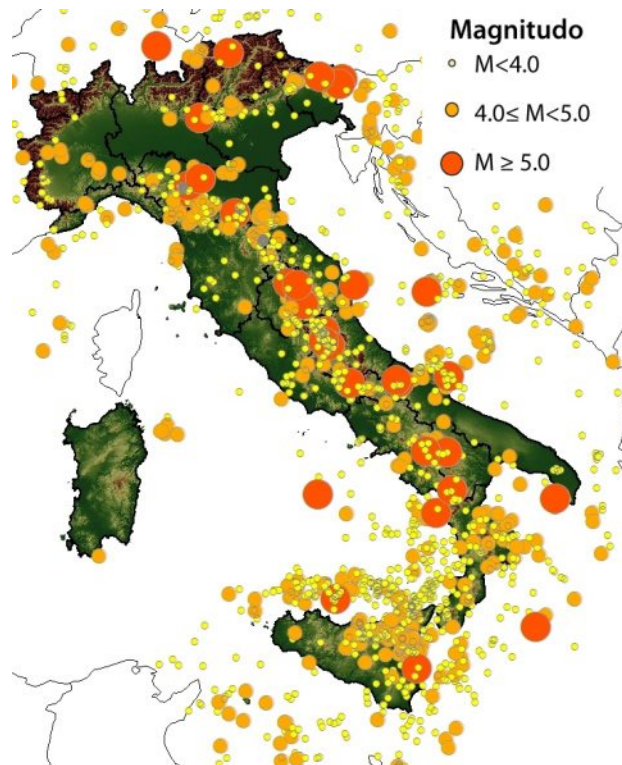
La Penisola italiana è soggetta a forti spinte compressive, che causano l'accavallamento dei blocchi di roccia a causa della sua particolare posizione geografica, collocata nella zona tra la placca africana e quella eurasiatica. Quindi l'elasticità meccanica delle placche consente l'accumulo di energia che viene liberata una volta raggiunte le tensioni di rottura, manifestandosi sotto forma di terremoti.



*Figura 1.1\_1 - Le placche tettoniche nel Bacino del Mediterraneo*

Dai dati statistici è stato constatato che l'Italia percuote più di 30.000 terremoti di media e di significativa intensità al IV-V grado della scala Mercalli e da circa 560 eventi sismici di intensità uguale o superiore all'VIII grado della scala

Mercalli. Solo nel XX secolo sono stati segnati sette terremoti con magnitudo uguale o superiore all'VIII, considerata una delle sismicità più elevate nella parte centro-meridionale della penisola.



*Figura 1.1\_2 - Sismicità in Italia dal 1981 al 2011*

È necessario quantificare il danno atteso di un evento sismico per stabilire un parametro ingegneristico fondamentale, che è dato dal Rischio Sismico strettamente connesso alle perdite complessive (vite umane, beni economici, valori culturali, volume edilizio) che a causa delle azioni di un evento sismico potranno interessare, in un dato periodo di tempo, una determinata area. In altre parole, per rischio si intende la probabilità che venga raggiunto un prefissato livello di perdita in un certo intervallo di tempo. Tale perdita è identificata solitamente nel costo da sostenere per riportare il sistema danneggiato alle condizioni che esso aveva prima dell'evento sismico. La valutazione in un'area dell'esistenza di condizioni di rischio sismico è legata alla stima di tre parametri fondamentali:

- la Pericolosità Sismica,

- la Vulnerabilità,
- l'Esposizione.

L'equazione che nasce mettendo in relazione i tre parametri: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione che esprimono il Rischio Sismico può essere espressa nel modo seguente:

$$\underline{Rischio\ Sismico = Pericolosità\ Sismica\ x\ Vulnerabilità\ x\ Esposizione}$$

Per valutare la relazione precedentemente scritta, è opportuno specificare i vari termini che la compongono, descritti nei seguenti paragrafi.

### **1.1.1 Pericolosità Sismica**

La Pericolosità Sismica viene definita dalla frequenza e dalla intensità dell'evento sismico atteso e rappresenta una misura delle potenzialità distruttive del terremoto legata ad un fenomeno naturale tipicamente casuale, che si basa sulle caratteristiche geologiche dell'area nella quale l'evento si manifesta. In questo modo la conoscenza della Pericolosità Sismica di un'area diventa uno strumento di previsione in grado di valutare la severità dei terremoti attesi, misurata utilizzando delle scale strumentali (che misurano in modo oggettivo la forza del sisma) o delle scale macroscopiche (che valuta in modo soggettivo gli effetti prodotti dal sisma). Le prime, si basano su parametri relativi al moto del suolo quali: il picco di accelerazione massima PGA ( Peak Ground Acceleration), la magnitudo locale o magnitudo di Richter, la velocità spettrale; ed hanno il vantaggio di essere grandezze meccaniche di più immediato utilizzo ai fini ingegneristici, tuttavia non si hanno un riscontro con i terremoti passati a causa della recente disponibilità strumentale. Le seconde, sono meno accurate ma hanno il vantaggio di offrire una stima dell'intensità media in una zona colpita partendo direttamente dal danneggiamento osservato e possono essere associate ai terremoti del passato, grazie alla sismicità storica che utilizza un considerevole bagaglio di notizie che possono essere utilizzate.

Per la valutazione della Pericolosità Sismica esistono due tipi di approcci: il primo di tipo deterministico e il secondo di tipo probabilistico.

Il metodo deterministico si basa sullo studio dei danni osservati a causa degli eventi sismici che storicamente hanno interessato un luogo preciso, e la ricostruzione degli scenari per stabilire la frequenza con la quale si sono ripetute nel tempo le scosse di uguale intensità.

Il metodo probabilistico, invece, per la valutazione della Pericolosità Sismica è fondato sulle informazioni fornite dalla storia sismica di un'area e determina la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo (t) si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità (I), magnitudo o accelerazione di picco (PGA) di nostro interesse.

Il metodo probabilistico più utilizzato e conosciuto è quello di Cornell, proposto nel 1968 in America, e prevede che vengano individuate nel territorio le zone responsabili degli eventi sismici, che sia quantificato il loro grado di attività e che si calcolino gli effetti provocati da tali aree in relazione alla distanza dall'epicentro. Di seguito vengono riportate le varie fasi del metodo proposto da Cornell:

1. Individuazione delle zone sismogenetiche, dove conoscendo l'andamento delle strutture geologiche superficiali e profonde, i movimenti recenti, la distribuzione degli eventi sismici e la ricostruzione del tipo di movimento che ha dato origine al terremoto, è possibile individuare e delimitare delle aree omogenee dal punto di vista della sismicità.
2. Definizione di una legge di occorrenza per ciascuna zona. Viene determinata una relazione tra il numero di eventi e l'intensità, definita legge di Gutenberg-Richter:  $\log(N) = a - bI$ , con N numero di eventi, I è l'intensità macrosismica, a e b invece dipendono dal territorio considerato.

3. Definizione di una legge di attenuazione. Per il territorio oggetto di studio viene creato un modello che rappresenta la variazione dell'intensità macrosismica con la distanza dall'epicentro.
4. Calcolo della pericolosità. Viene determinato il valore della pericolosità sommando il contributo della sismicità prodotta da ogni zona sismogenetica, tenendo conto della legge di attenuazione.
5. Realizzazione di una carta di pericolosità. Sulla base dei valori di pericolosità ottenuti utilizzando il programma di calcolo, si costruisce una carta della pericolosità sismica, che permette di individuare le zone dove, in un certo intervallo di tempo (convenzionalmente 50 anni), sono attesi i valori più elevati del parametro scelto per descriverla. I parametri utilizzati sono, generalmente: l'intensità macrosismica (I), l'accelerazione orizzontale di picco del terreno (PGA), la velocità orizzontale di picco del terreno (PGV), lo spostamento orizzontale di picco del terreno (PGD) o anche i corrispondenti spettri di risposta, parametri, questi ultimi, particolarmente utili alla definizione delle azioni sismiche ai fini della progettazione antisismica delle costruzioni.

Affinché il metodo sia valido, bisogna assumere che i terremoti avvengano nel tempo in modo casuale e che la probabilità che si verifichino all'interno di una data zona sismogenetica, sia la stessa in ogni punto. Inoltre la pericolosità è normalmente valutata rispetto a condizioni di sito ideale (roccia con superficie orizzontale) e quindi non si tiene conto delle condizioni locali, che possono modificare anche sensibilmente il livello dei danni.

## 1.1.2 Vulnerabilità Sismica

La vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità. Una delle cause principali di morte durante un terremoto è il crollo degli edifici. Per ridurre la perdita di vite umane, è necessario rendere sicure le strutture edilizie. Oggi, le norme per le costruzioni in zone sismiche prevedono che gli edifici non si danneggino per terremoti di bassa intensità, non abbiano danni strutturali per terremoti di media intensità e non crollino in occasione di terremoti forti, pur potendo subire gravi danni.

La vulnerabilità sismica si può distinguere in diretta, indotta e differita.

- Vulnerabilità diretta, definibile in rapporto alla crisi del singolo elemento, dove subisce dei danni per effetto di un terremoto.
- Vulnerabilità indotta, definibile in rapporto agli effetti di crisi generati indirettamente dal collasso di uno degli elementi.
- Vulnerabilità differita, che definisce gli effetti che si manifestano nelle fasi successive all'evento sismico e alla prima emergenza.

Per valutare la vulnerabilità degli edifici è sufficiente rilevare i danni provocati, associandoli all'intensità della scossa. Più complessa è invece la valutazione della vulnerabilità degli edifici prima che si verifichi un evento sismico. Per questo motivo sono state messe a punto diverse metodologie per la stima della vulnerabilità e la relativa classificazione, dove si possono distinguere in base al loro risultato in metodi diretti, indiretti e convenzionali.

- Metodi diretti
- Metodi indiretti
- Metodi convenzionali

Per poter valutare la vulnerabilità degli edifici su tutto il territorio nazionale è necessario, dunque, ricorrere a tali metodi che utilizzino dati omogenei sulle caratteristiche degli edifici



### **1.1.3 Esposizione Sismica**

Nell'ambito di una procedura di valutazione del Rischio Sismico di un'area, l'analisi dell'Esposizione Sismica rappresenta un passo fondamentale dopo lo studio della pericolosità e della vulnerabilità. Con lo studio dell'esposizione si mette in evidenza la quantità e l'estensione di tutti gli elementi antropici a rischio a rischio che, ricadendo in un ambito territoriale di accertata pericolosità, possono essere suscettibili di danneggiamento a causa del sisma. Pertanto, la stima dell'esposizione si traduce nella quantificazione dei manufatti, dei beni antropici e della popolazione che saranno presumibilmente coinvolti dall'evento sismico. L'analisi dell'esposizione tende a valutarne i diversi livelli di concentrazione; tanto più alta sarà la concentrazione degli elementi a rischio in una determinata area del territorio, maggiore sarà il livello di Esposizione Sismica in quell'area.

Per descrivere l'insieme degli elementi che concorrono a definire il rischio sismico a cui una comunità è esposta, è necessario analizzare in primo luogo la distribuzione della popolazione insediata, dato che sono i principali elementi a rischio che possono rimanere uccise o ferite, o comunque trovarsi in condizioni disagiate. La categoria della popolazione, infatti, può essere considerata semplicemente da un punto di vista "statico" con riferimento alla residenza nel territorio studiato, oppure anche come soggetto "dinamico" nell'ambito delle attività socio-economico dell'area.

Per quanto riguarda i manufatti, si intendono tutte le opere realizzate dall'uomo nell'ambito territoriale di studio ed in particolare: gli edifici, le infrastrutture di trasporto (strade, ferrovie, ponti) e tutti gli altri sistemi a rete (condotte del gas, reti idriche). Particolare attenzione deve essere rivolta a tutti gli elementi strategici distribuiti sul territorio, fondamentali in una situazione di emergenza per garantire soccorso e servizi di assistenza.

Nell'ultima categoria, quella dei beni, si deve valutare l'esposizione sismica di tutte le risorse necessarie per lo svolgimento delle normali attività dei sistemi antropici distribuiti su tutto il territorio studiato.

In conclusione l'analisi dell'Esposizione Sismica dovrà, dunque, evidenziare e fare emergere le diverse parti funzionali di un territorio e la diversa distribuzione di popolazione ed attività all'interno dei diversi periodi di tempo.

## **1.2 Analisi di vulnerabilità a scala urbana**

Le analisi di rischio a larga scala (nazionale e regionale) nei riguardi di fenomeni naturali quali eventi sismici, vulcanici ed idrogeologici necessitano della valutazione qualitativa e quantitativa degli elementi esposti (popolazione, edifici, infrastrutture, ecc.). Esse costituiscono il fondamento per la messa a punto di politiche razionali di mitigazione dei rischi. Un esempio di utilizzazione delle analisi di rischio a livello nazionale lo si ritrova nei criteri di distribuzione dei fondi tra le regioni per la prevenzione del rischio sismico, stanziati dall'art.11 della Legge 77/2009. Le metodologie attualmente in uso per la valutazione della vulnerabilità degli edifici utilizzano diversi approcci (osservazionali, meccanici, ibridi), e possono essere applicate a basi di dati di esposizione degli edifici che contengono informazioni di diverso livello di dettaglio sulle caratteristiche costruttive che possono influire sulla vulnerabilità fisica degli edifici. A livello nazionale l'inventario del patrimonio edilizio è riferito essenzialmente alla base di dati del censimento dell'ISTAT, le cui informazioni sulle suddette caratteristiche sono estremamente scarse (periodo di costruzione, numero di piani e materiale strutturale). Le incertezze sulle stime della vulnerabilità sismica, e quindi del rischio, sono perciò molto elevate, sia per la povertà delle informazioni disponibili, sia per la complessità del problema della valutazione, per la cui soluzione si ricorre, come detto, ad approcci diversi. Nel corso degli ultimi anni si è rafforzata l'esigenza da parte del Dipartimento della Protezione Civile (DPC) di migliorare le stime di

vulnerabilità e rischio riferite ad ambiti più o meno estesi, fino alla scala Nazionale. In questa prospettiva si collocano, nell'ambito del Progetto triennale ReLUIS 2014-2016, svolto dal consorzio "Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica" e finanziato dal DPC, le attività di studio e ricerca in corso della Linea "Inventario delle tipologie strutturali ed edilizie esistenti", dell'Area Tematica "Temi territoriali". La linea di ricerca suddetta ha come obiettivi: lo sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale sulla base delle caratteristiche tipologico-strutturali degli edifici ordinari; la messa a punto di una banca dati (contenente informazioni di carattere tipologico- strutturale degli edifici ordinari italiani) a disposizione dei ricercatori allo scopo di approfondire le conoscenze sulla vulnerabilità sismica, innanzitutto, e nei confronti di altri fenomeni naturali, quali eruzioni vulcaniche ed eventi idrogeologici. Il concetto fondamentale che si vuole porre in essere è l'utilizzazione delle notevoli conoscenze tecniche presenti sul territorio e derivanti dalla pratica professionale. Tali conoscenze, purtroppo, restano patrimonio esclusivo dei singoli tecnici e non contribuiscono alla crescita delle conoscenze comuni, e quindi anche al miglioramento degli strumenti operativi quali le analisi di vulnerabilità e di rischio. Purtroppo tali conoscenze non sono facilmente estraibili e omogeneizzabili, così da potere essere tradotte in basi di dati consultabili ed elaborabili, se non attraverso un meticoloso processo di estrazione e omogeneizzazione non automatizzabile. Una prima messa a punto di una procedura di estrazione delle informazioni sulle caratteristiche edilizie a livello locale per gruppi di edifici ovvero comparti del territorio comunale fu fatto attraverso il protocollo di intervista descritto in Dolce et al. (2002). Metodologie analoghe sono state poi applicate in diversi progetti pilota, così da testarne la validità e la praticabilità (VALDASO, 2010). Gli obiettivi anzidetti sono perseguiti, nel Progetto ReLUIS, attraverso le seguenti successive fasi:

1. messa a punto di una scheda di 1° livello, denominata CARTIS (e del relativo manuale per la compilazione), finalizzata al rilevamento delle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone comunali o sub-comunali (dette "comparti), caratterizzate da omogeneità del tessuto edilizio per età di primo impianto e/o tecniche costruttive e strutturali;
2. sviluppo dell'architettura di un software (client web application) per l'immissione dei dati contenuti nella scheda CARTIS in apposito database di studio in cui archiviare le informazioni raccolte per consentire l'esecuzione delle future elaborazioni da parte dei ricercatori ReLUIIS;
3. attività di raccolta dati, attraverso la compilazione della scheda CARTIS, per un campione rappresentativo dei comuni italiani;
4. popolamento del database atto a conservare in modo organizzato le informazioni ottenute dalla compilazione della scheda CARTIS;
5. sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale sulla base delle caratteristiche tipologico-strutturali degli edifici ordinari (ottenute dall'attività di compilazione della scheda CARTIS) e dei dati ISTAT;
6. definizione di una tassonomia delle tipologie edilizie rappresentative per ambiti geografici;
7. prime analisi per la definizione di un inventario delle curve di vulnerabilità esistenti in letteratura o derivanti da nuovi studi, associabili alla tassonomia di cui al punto precedente;
8. eventuale proseguimento delle attività di raccolta dati attraverso la compilazione della scheda CARTIS.

Lo studio di caratterizzazione tipologico- strutturale nasce con l'intento di indagare sul panorama costruttivo nazionale, individuando sotto il profilo qualitativo caratteristiche costruttive locali. Sull'intero territorio nazionale, infatti, le tecniche costruttive si sono differenziate nel corso dei secoli, in ragione di culture e condizionamenti locali, che in taluni casi hanno notevolmente inciso sulle caratteristiche e sulla qualità della costruzione,

determinando sostanziali differenze anche in termini di risposta nei riguardi dei fenomeni naturali. I dati raccolti attraverso la scheda CARTIS consentono, attraverso opportune elaborazioni, di fornire indicazioni per una regionalizzazione delle funzioni di vulnerabilità sismica attualmente impiegate indifferentemente su tutto il territorio nazionale. Inoltre essi possono consentire anche la valutazione di funzioni di vulnerabilità nei riguardi di ulteriori fenomeni naturali, quali eventi idrogeologici e/ o eruzioni vulcaniche.

### **1.2.1 La scheda CARTIS di primo livello**

La scheda di primo livello CARTIS è finalizzata al rilevamento delle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone comunali o sub-comunali, nel seguito denominate Comparti, caratterizzate da omogeneità del tessuto edilizio per età di primo impianto, tecniche costruttive e strutturali.

La scheda CARTIS si riferisce ai soli edifici ordinari, quali quelli, prevalentemente per abitazioni o servizi, oggetto della scheda AeDES (Agibilità e Danno dell'Emergenza Sismica) e del relativo manuale. Si tratta per lo più, di edifici multipiano, caratterizzati da una struttura in muratura o in calcestruzzo armato intelaiato o a setti, altezze interpiano e interasse tra elementi strutturali contenuti. Sono, perciò, escluse dalla caratterizzazione tipologie riconducibili a edifici storici o beni monumentali. La scheda è stata sviluppata nell'ambito del progetto triennale ReLUIS 2014-2016, nella Linea "Sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale sulla base delle caratteristiche tipologico/strutturali degli edifici", come frutto di diverse esperienze condotte dal Servizio Sismico Nazionale, oggi Ufficio Rischio Sismico e Vulcanologico del Dipartimento della Protezione Civile (DPC), in collaborazione con l'Unità di ricerca Università degli Studi di Napoli Federico II (Centro Studi PLINVS/LUPT).

La scheda costituisce uno strumento per la diversificazione delle tipologie strutturali presenti sul territorio nazionale, nelle caratteristiche legate

all'epoca d'impianto e alla tradizione costruttiva locale. Un'analisi di questo tipo consente di valutare la qualità e le condizioni che caratterizzano le diverse tipologie, e può vantare svariati ambiti e modalità di applicazione, tra i quali, in particolare, la determinazione della risposta sismica dei diversi ambiti urbani nazionali. Attualmente infatti è in corso, ad opera dei ricercatori del settore, uno studio finalizzato alla definizione di un inventario del patrimonio edilizio nazionale che, tramite Matrici di Probabilità di Danno (DPM) caratterizzate per ristretti ambiti territoriali omogenei, possano dare indicazioni sulla risposta strutturale del costruito attesa in caso di evento sismico.

Per la compilazione delle schede si fa riferimento al “Manuale per la compilazione della Scheda CARTIS”, in cui sono espresse le finalità, analizzate le varie fasi di lavoro ed esemplificati i concetti necessari anche con l'ausilio di relative tabelle, al fine di rendere chiara e univoca l'intera procedura.



















La Sezione 0 riguarda le informazioni di carattere generale e va compilata una sola volta per il Comune esaminato; è suddivisa in due parti, A e B.

La parte A raccoglie le seguenti informazioni:

- Dati di localizzazione: Regione, Provincia, Comune, Municipalità / Frazione / Località;
- dati generali del Comune: numero di residenti, anno di prima classificazione sismica, anno di adozione dell'ultimo Piano Regolatore Generale o del Programma di Fabbricazione, presenza di Piano Particolareggiato per il Centro Storico, numero di abitazioni e di edifici;
- numero di comparti, ovvero le zone sub comunali in cui il territorio è stato suddiviso; la quantità di questi varia in funzione dell'estensione del centro urbano e dell'omogeneità del tessuto edilizio, ed è consigliabile siano almeno due, in modo tale da distinguere “Centro Storico” (con numerazione progressiva a partire da questo) e “Zona di espansione”;
- dati identificativi dell'Unità di Ricerca (UR) ReLUIS, e del compilatore, con relativi recapiti telefonici e di posta elettronica;
- dati identificativi del tecnico intervistato, per i quali è possibile riferirsi a due diversi soggetti, con relativi recapiti telefonici e di posta elettronica;
- planimetria del centro urbano con perimetrazione dei comparti e numerazione degli stessi.

La parte B riguarda la definizione dei comparti, e raccoglie le seguenti informazioni:

- codice comparto (C01, C02, etc);
- denominazione comparto;
- epoca di primo impianto del comparto;
- numero di residenti del comparto;

- numero di edifici e metri quadri di superficie coperta;
- numero di abitazioni del comparto;
- tipologie presenti nel comparto, delle quali vanno indicate le percentuali di distribuzione nel comparto;
- Affidabilità dell'informazione, definita come bassa, media o alta.

La Sezione 1 ha l'obiettivo di identificare ciascuna delle tipologie prevalenti individuate all'interno di ciascun comparto; va quindi compilata per ognuna di esse, e lo stesso avviene per le sezioni successive. Le informazioni contenute in questa parte sono:

- Codice tipologia, ovvero MUR1, MUR2, MUR3 o MUR4 per le strutture in muratura e CAR1, CAR2, CAR3 o CAR4 per le strutture intelaiate in calcestruzzo armato;
- Codice identificativo della tipologia nel comparto, ovvero una stringa alfanumerica di quindici campi che definisce in maniera univoca la tipologia in esame, ed è costituita dalla successione ordinata dei seguenti codici: ISTAT Regione, ISTAT Provincia, ISTAT Comune, comparto, tipologia;
- Posizione tipologia nel contesto urbano, distinta tra isolata ed in aggregato, ed in questo caso ulteriormente classificata come in adiacenza nel caso di strutture staticamente indipendenti o in connessione nel caso di strutture interagenti;

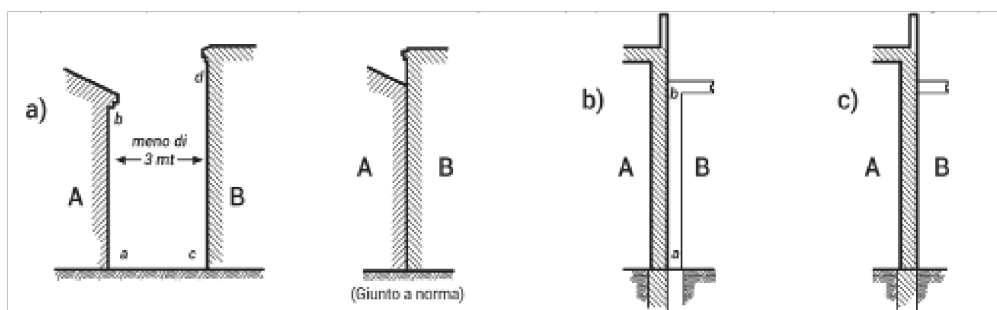


Figura 1.2.1\_9 - Posizione tipologia nel contesto urbano, Manuale Scheda CARTIS; a) isolata, b) in adiacenza (staticamente indipendenti), c) in connessione (strutture interagenti)



- Fotografia tipologia, ovvero la fotografia di un edificio rappresentativo della tipologia in esame;
- Pianta e sezione, ovvero una pianta ed una sezione di un edificio rappresentativo della tipologia in esame, non necessariamente relativi all'edificio fotografato.

La Sezione 2 ha l'obiettivo di descrivere le caratteristiche generali degli edifici rappresentati dalla tipologia in esame; le informazioni raccolte sono le seguenti:

- Piani totali compresi interrati;
- Altezza media di piano;
- Altezza media di piano terra;
- Piani interrati;
- Superficie media di piano;
- Età della costruzione;
- Uso prevalente

La Sezione 3 ha l'obiettivo di caratterizzare gli elementi strutturali della tipologia in esame; si divide in tre parti:

- 3.1 A, relativa esclusivamente agli edifici in muratura;
- 3.1 B, relativa esclusivamente agli edifici in calcestruzzo armato;
- 3.2, validità sia per gli edifici in muratura sia per quelli in calcestruzzo armato.

La parte 3.1A, Caratterizzazione tipologica muratura, raccoglie le seguenti informazioni:

- Caratteristiche muratura: si richiede di indicare il tipo di apparecchio murario all'interno di tre macro classi, quali: muratura irregolare (con pietra arrotondata o grezza, con o senza ricorsi), muratura sbazzata (con pietra lastriforme o pseudo-regolare, con o senza ricorsi), muratura regolare (con pietra squadrata, con o senza ricorsi, o mattoni);

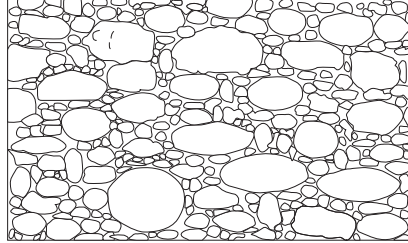
- Presenza di muratura a Sacco;
- Presenza di Catene o Cordoli, indicandone la percentuale nella tipologia;
- Collegamento trasversale, costituito dalla presenza di diatoni o semidiatoni;
- Presenza di Speroni/Contrafforti;
- Spessore medio prevalente Pareti Piano Terra, espresso in cm;
- Interasse medio prevalente Pareti, espresso in m;
- Caratteristiche Solai: si richiede di indicare un massimo di due tipi di solaio prevalenti all'interno di tre macro classi, quali soletta deformabile, semirigida o rigida;

**A1: Pietra arrotondata**

Costituita prevalentemente da elementi con superficie liscia e forma arrotondata, o da ciottoli di fiume di piccole e medie dimensioni; si presenta tanto con tessitura ordinata quanto disordinata.

**Senza Ricorsi (S.R.)**

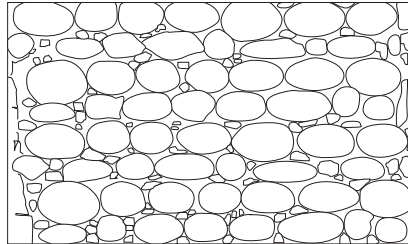
**A1.1**



- Senise (PZ) -  
Ciottoli con tessitura  
disordinata.



**A1.2**

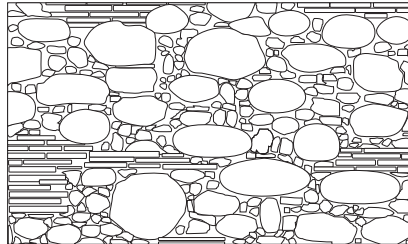


- Assisi -  
Ciottoli di varia natura  
con tessitura ordinata.



**Con Ricorsi (C.R.)**

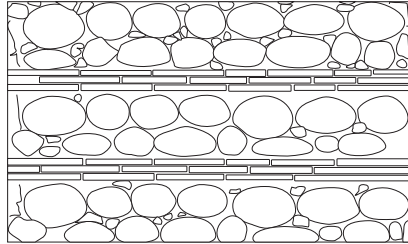
**A1.3**



- Sassuolo (MO) -  
Ciottoli e mattoni.



**A1.4**



- Castel dei Sauri (FG) -  
Muratura di pietrame  
con ricorsi laterizi.



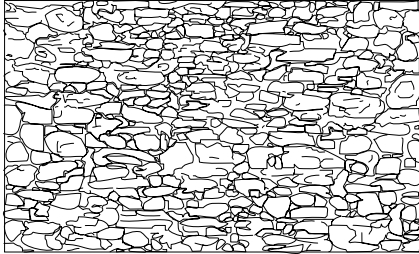
*Figura 1.2.1\_10 - Abaco delle murature A1 (pietra arrotondata), Manuale Scheda  
CARTIS*

**A1: Pietra grezza**

Costituita prevalentemente da pietra grezza, generalmente non lavorata o di difficile lavorazione: elementi di forma irregolare o di varie dimensioni come scapoli di cava o spezzoni di pietre.

**Senza Ricorsi (S.R.)**

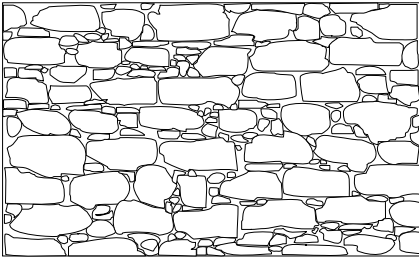
**A2.1**



- Benevento -  
Pietrame a tessitura  
piuttosto ordinata.



**A2.2**

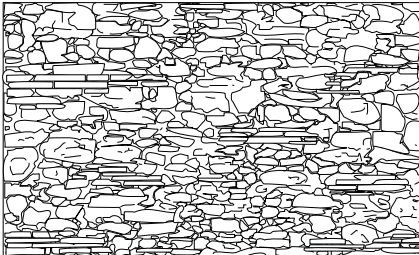


- S. Angelo Limosano -  
Pietrame con tessitura  
disordinata.



**Con Ricorsi (C.R.)**

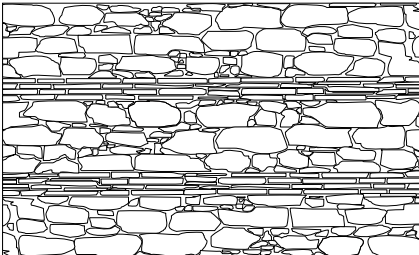
**A2.3**



- Alia (PA) -  
Muratura disordinata  
con embrici e calcare.



**A2.4**



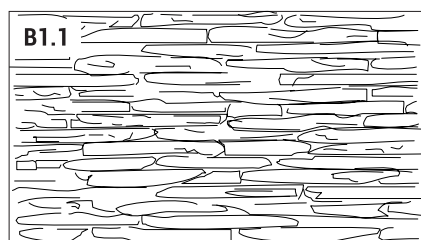
- Benevento -  
Muratura disordinata  
con ricorsi laterizi.



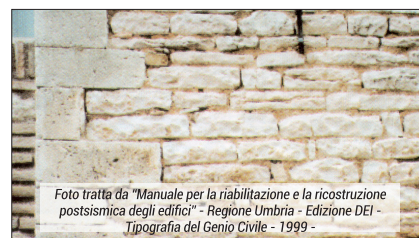
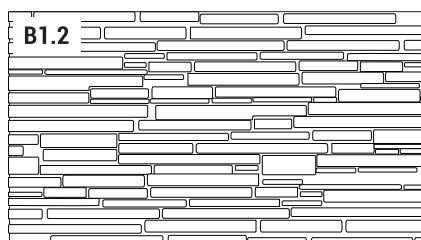
Figura 1.2.1\_11 - Abaco delle murature A2 (pietra grezza), Manuale Scheda CARTIS

**B1: Pietra lastriforme**

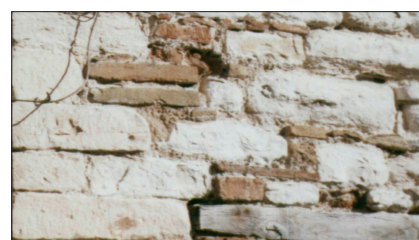
Costituita prevalentemente da elementi semilavorati, lastriformi (pietra a soletti) ottenute da rocce di scarsa potenza che tendono a sfaldarsi lungo il loro piano orizzontale. La forma quasi regolare degli elementi esclude quasi sempre la tessitura disordinata.

**Senza Ricorsi (S.R.)**

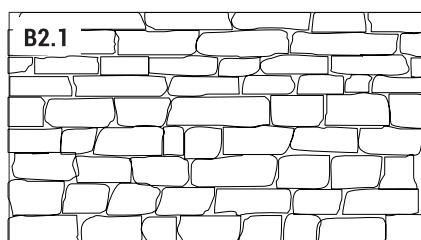
- Nocera Umbra (PG) -

**Con Ricorsi (C.R.)**

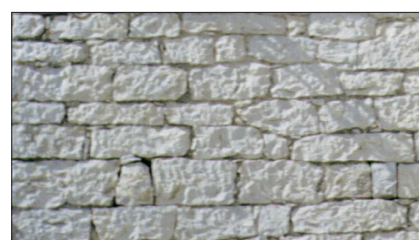
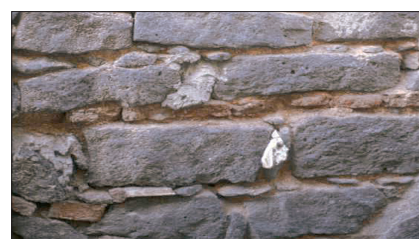
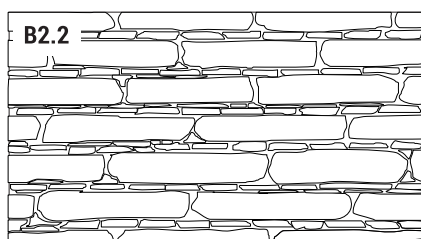
- Isola del Piano (PS) -

**B2: Pietra pseudo regolare**

Costituita da pietra semilavorata quasi regolare e di dimensioni maggiori rispetto alla precedente. La pseudo-regolarità degli elementi esclude la tessitura disordinata.

**Senza Ricorsi (S.R.)**

- Cerchiara (CS) -  
Pietra calcarea  
semilavorata.

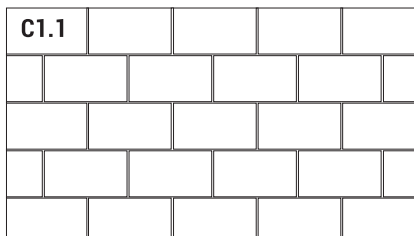
**Con Ricorsi (C.R.)**

*Figura 1.2.1\_12 - Abaco delle murature B1 (pietra lastriforme) e B2 (pietra pseudo regolare), Manuale Scheda CARTIS.*

**C1: Pietra squadrata**

Costituita da pietre squadrate di forme prestabilite. La regolarità degli elementi esclude la tessitura disordinata.

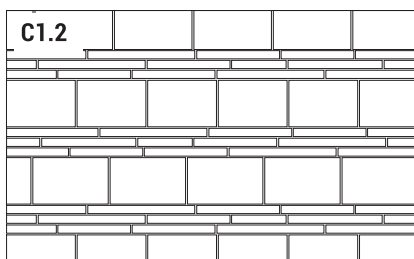
Senza Ricorsi (S.R.)



- Benevento -  
Tufo vulcanico.



Con Ricorsi (C.R.)

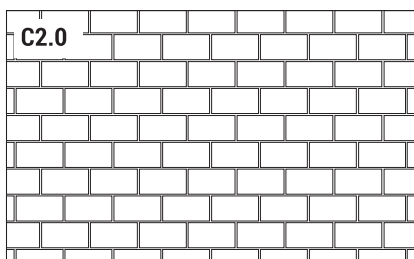


- Napoli -  
Tufo vulcanico  
e mattoni.

**C2: Mattoni**

Costituita da elementi laterizi che, per la loro regolarità, escludono la tessitura disordinata.

Senza Ricorsi (S.R.)



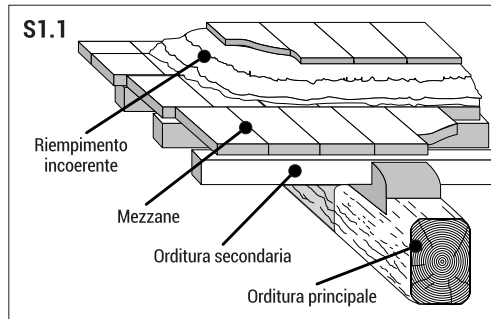
- Nocera Umbra (PG) -



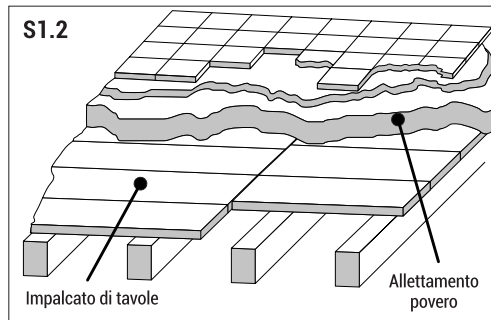
*Figura 1.2.1\_13 - Abaco delle murature C1 (pietra squadrata) e C2 (mattoni), Manuale Scheda CARTIS.*

#### 4: Pietra lastriforme

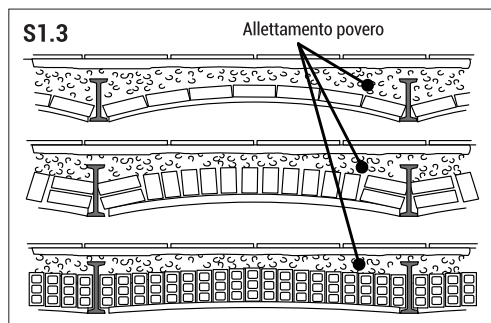
Solai in legno a semplice o doppia orditura (travi e travicelli) con tavolato ligneo semplice o elementi laterizi (mezzane), eventualmente finito con caldana in battuto di lapillo o materiali di riuscita (cretonato). Solai in putrelle e voltine realizzate in mattoni, pietra o conglomerati. In entrambi i casi, se è stato realizzato un irrigidimento, mediante tavolato doppio o, meglio ancora, soletta armata ben collegata alle travi, tali solai potrebbero intendersi rigidi o semirigidi, in base al livello di collegamento tra gli elementi.



Solaio in legno con mezzane



Solaio in legno con tavolata a semplice orditura.

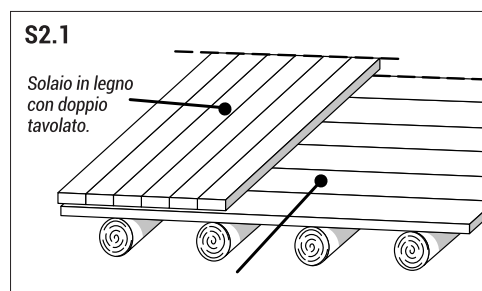


Solaio con travi di ferro a voltine.

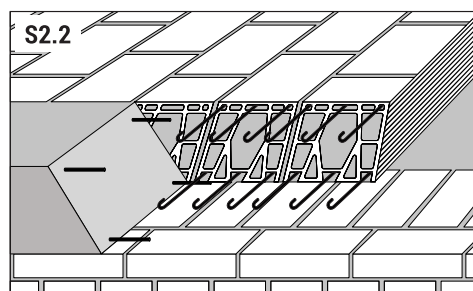
Figura 1.2.1\_14 - Abaco delle strutture orizzontali deformabili, Manuale Scheda CARTIS.

### 5: Travi con soletta semirigida

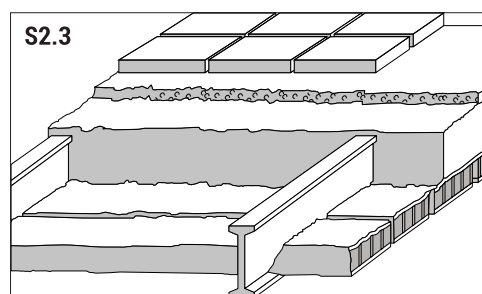
Solai in legno con doppio tavolato incrociato eventualmente finito con una soletta di ripartizione in cemento armato. Solai in putrelle e tavelloni ad intradosso piano. Solai laterizi prefabbricati tipo Sap.



Solaio in legno con doppio tavolato.



Solaio in prefabbricato del tipo SAP.

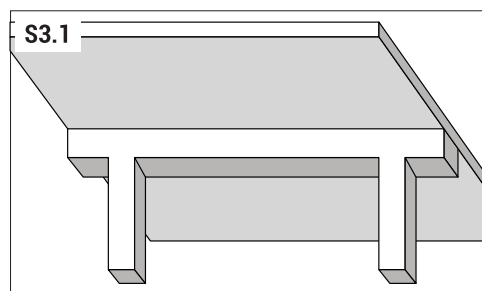


Solaio in ferro e tavelloni.

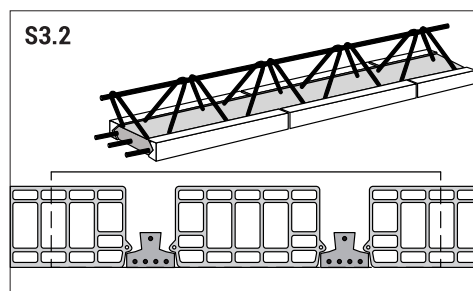


### 6: Travi con soletta rigida

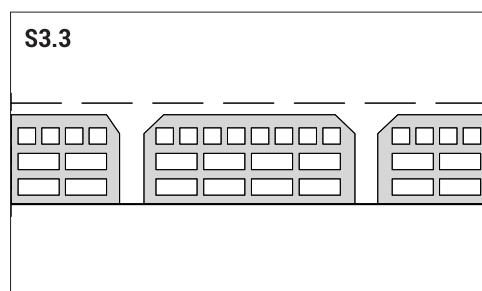
Solai in cemento armato a soletta piena. Solai in latero-cemento con elementi laterizi e travetti in opera prefabbricati.



Solaio in cemento armato a soletta piena.



Solaio in cemento armato a travetti prefabbricati.



Solaio in laterocemento gettato in opera.



Figura 1.2.1\_15 - Abaco delle strutture orizzontali semirigide e rigide, Manuale Scheda CARTIS.

- Caratteristiche Volte: si richiede di indicare un massimo di due tipi di volte (a botte, a botte con lunette, a botte con teste a padiglione, a specchio/schifo,



a padiglione, a crociera, a vela, a imbuto o ventaglio su pianta quadrata) presenti più spesso nella tipologia e le relative percentuali;

- Strutture miste: si richiede di indicare l'eventuale tipologia di struttura mista (e la relativa percentuale di diffusione nella tipologia) se presente, quale struttura intelaiata su muratura, muratura su struttura intelaiata, muratura con ampliamento in pianta in c.a., muratura perimetrale e pilastri interni o esterni in c.a., muratura confinata;
- Tipologia malta: si richiede di indicare un massimo di due tipi di malta impiegata (calce, gesso, argilla, calce idraulica, calce pozzolanica, malta bastarda, cemento portland), le relative percentuali di diffusione nella tipologia e le condizioni quali buone, medie o cattive.
- Presenza di portici, logge e cavedi, e le relative percentuali di diffusione nella tipologia;
- Ulteriori elementi di vulnerabilità per le murature, e le eventuali relative percentuali di diffusione nella tipologia.

La parte 3.1 B, Caratterizzazione tipologica cemento armato, raccoglie le seguenti informazioni:

- Qualifica della struttura in cemento armato: si richiede di indicare il tipo di struttura prevalente nella tipologia in esame, selezionando una tra sette categorie predefinite, quali prevalenza di telai tamponati con murature consistenti (senza grosse aperture, di materiali resistenti e ben organizzate), prevalenza di telai con travi alte e tamponature poco consistenti (con aperture di grosse dimensioni e diffuse, materiali poco resistenti), prevalenza di telai con travi in spessore di solaio e tamponature poco consistenti o assenti, prevalenza di telai con travi alte sul perimetro con tamponature poco consistenti o assenti e travi in spessore di solaio all'interno, presenza contemporanea di telai con travi alte e nuclei in c.a. interni; prevalenza di setti; presenza contemporanea di telai con travi a spessore e nuclei/setti in cemento armato interni;

- Giunti di separazione, per i quali si richiede di indicare se si tratti di giunti a norma o giunti fuori norma, e la relativa percentuale di diffusione: la presenza di giunti a norma identifica edifici isolati, viceversa l'assenza di giunti a norma è da riferirsi a tipologie in aggregato staticamente ma non dinamicamente indipendenti;
- Bow windows strutturali, per le quali si richiede di indicare se siano assenti, presenti ed inferiori a 1,50 m o presenti e superiori a 1,50 m, e l'eventuale relativa percentuale di diffusione: per "bow window" si intende un elemento strutturale con vetrate sporgenti o parzialmente tamponato dal corpo di fabbrica, realizzato con struttura aggettante rispetto all'allineamento dei pilastri;



*Figura 1.2.1\_16 - Esempi di bow window, Manuale Scheda CARTIS.*

- Telai in una sola direzione, e l'eventuale relativa percentuale di diffusione;
- Elementi tozzi, per i quali si richiede di indicare se siano assenti o presenti per finestre a nastro, travi a ginocchi/piani sfalsati o per altre cause;
- Tamponature Piano Terra, per le quali si richiede di indicare se abbiano disposizione regolare, irregolare o se siano del tutto assenti, e l'eventuale presenza di piani soffici ai livelli intermedi: tale informazione mira a valutare l'eventuale dissimmetria delle tamponature al piano terra, fattore che da luogo ad un cosiddetto "piano soffice";

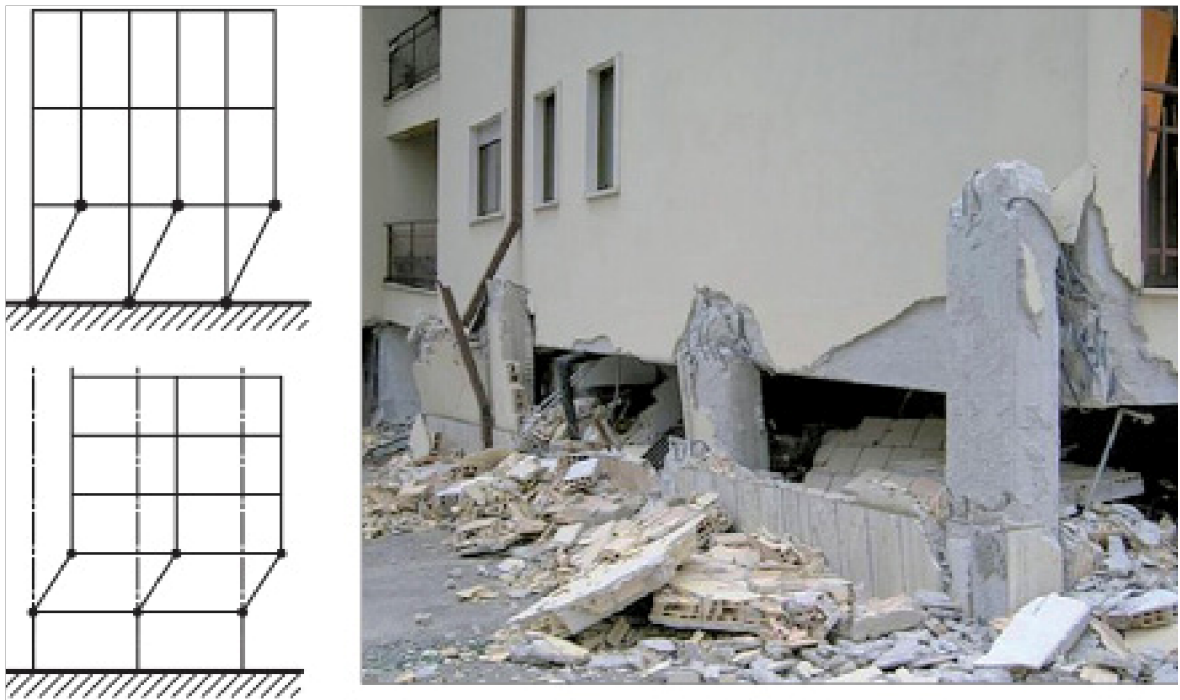


Figura 1.2.1\_17 - Esempi di formazione di piano soffice, Manuale Scheda CARTIS.

Posizione della tamponatura rispetto al telaio, per la quale si richiede di indicare (scegliendo anche più di un'opzione) se si tratti di tamponatura inserita nel telaio, tamponatura non inserita nel telaio, pilastri arretrati, cortina esterna non inserita nel telaio;

- Dimensione pilastri piano terra, per i quali si richiede di indicare la dimensione media, scegliendo tra d.m. < 25 cm, 25 < d.m. < 45 cm e d.m. > 45 cm, indicando la relativa percentuale di diffusione;
- Armature pilastri, per i quali si richiede di indicare la percentuale di armatura longitudinale, l'interasse in cm tra le staffe dei pilastri, il diametro in mm delle staffe dei pilastri, la lunghezza d'ancoraggio in multipli di  $\Phi$  ed il tipo di armature (scegliendo tra liscia o ad aderenza migliorata);
- Maglia strutturale, per la quale si richiede di indicare l'interasse medio, scegliendo tra  
i.m. < 4,5 m, 4,5 < i.m. < 6 m e i.m. > 6 m;
- Presenza solai SAP o assimilabili, e l'eventuale relativa percentuale di diffusione: i solai SAP, ovvero "Senza Armatura Provvisoria",

costituiscono una tipologia di solaio brevettato, a travetti prefabbricati di laterizio e cemento armato;

- i travetti sono preparati preventivamente nella lunghezza richiesta e con laterizi di adeguato spessore, collegati tra loro tramite tondini in acciaio e murati con malta di cemento, vengono poi collocati in opera e fissati con un getto di conglomerato cementizio negli interstizi; viene spesso gettata una soletta superiore di 2-3 cm eventualmente armata.

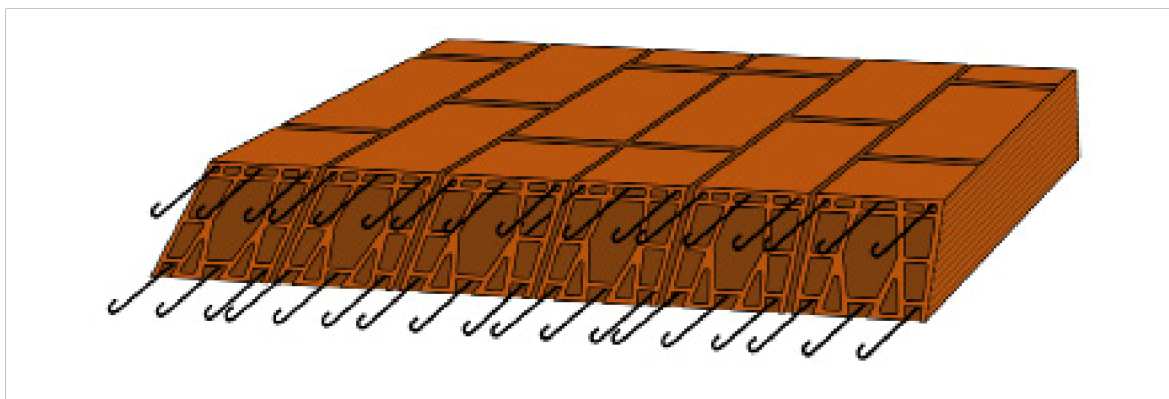


Figura 1.2.1\_18 - Esempio di solaio realizzato con travetti SAP, Manuale Scheda CARTIS.

La parte 3.2, Altre informazioni, comprende:

- Copertura: è possibile analizzare un massimo di due tipologie di coperture prevalenti, in particolare in termini di forma (singola falda, falde inclinate, terrazzo praticabile, terrazzo non praticabile, volte), tipo (leggera o pesante), materiale (legno, acciaio, cemento armato, muratura) ed eventuale effetto spingente;
- Aperture in facciata: si richiede di valutare la percentuale di superficie occupata da aperture, e eventualmente quella relativa alla sottofinestra in cui lo spessore di muratura si riduce sensibilmente;
- Regolarità in pianta, descritta come regolare, mediamente regolare ed irregolare: va indicata la relativa percentuale di distribuzione; i parametri che determinano irregolarità in pianta sono: assenza di assi di simmetria ortogonali, disposizione eccentrica di elementi quali nucleo scala e/o blocco ascensore, irregolarità strutturali, distribuzione disomogenea delle masse;


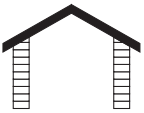
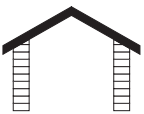


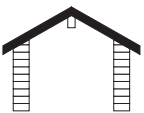
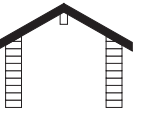
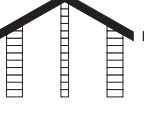

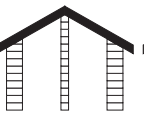
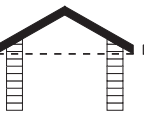
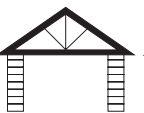
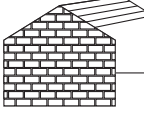

COPERTURA	CONFIGURAZIONE STATICA	NOTE	
 <b>SPINGENTE</b>	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE		
	 ① ② ③ ④ ⑤ PRESENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE		
 <b>COPERTURA CON SPINTA DIPENDENTE DA VINCOLI</b>   <b>COPERTURA GENERALMENTE NON SPINGENTE</b>	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE PRESENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE	<p><i>Il carattere più o meno spingente di questo schema dipende dalla rigidità della trave di colmo; travi snelle non consentono di limitare efficacemente l'azione spingente, pertanto, a vantaggio di sicurezza, si propone per questo schema la definizione spingente. Tuttavia se al colmo i travetti sono ben collegati alla trave rigida di colmo e al cordolo, la copertura può considerarsi non spingente.</i></p> <p><i>Vanno verificate le condizioni di vincolo al contorno (esistenza di efficaci collegamenti tra elementi) in modo che le travi trasmettono alle pareti di sostegno solo carichi verticali</i></p>	
	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO PRESENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE		
	 ① ② ③ ④ ⑤ PRESENZA DI CORDOLO PRESENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE		
 <b>COPERTURA NON SPINGENTE</b>	 ① ② ③ ④ ⑤ PRESENZA DI CORDOLO PRESENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE		
	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA PRESENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO ASSENZA DI CAPRIATE		
	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO PRESENZA DI CAPRIATE		
	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO PRESENZA DI CAPRIATE	<p><i>Orditura principale disposta longitudinalmente all'inclinazione della falda e poggiate tra due muri perimetrali o tra due capriate a spinta eliminata.</i></p>	
	 ① ② ③ ④ ⑤ ASSENZA DI CORDOLO ASSENZA DI MURO DI SPINA ASSENZA DI CATENE ASSENZA DI TRAVE RIGIDA DI COLMO PRESENZA DI CAPRIATE	<p><i>Copertura piana (presenza di travi orizzontali).</i></p>	

Figura 1.2.1\_19 - Abaco delle coperture, valutazione della spinta, Manuale Scheda  
 CARTIS

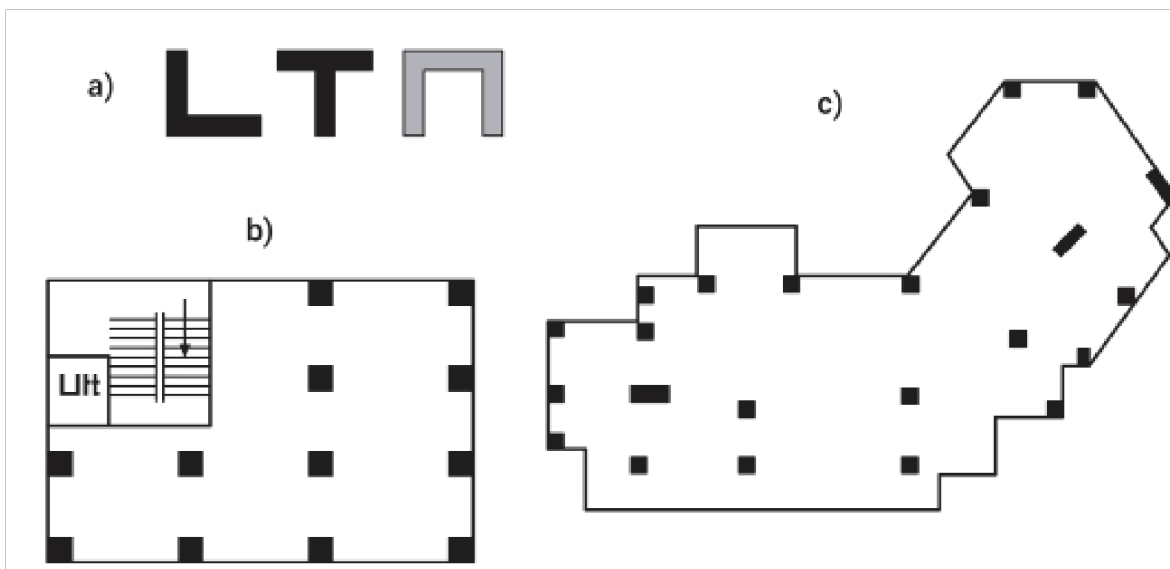


Figura 1.2.1\_20 - Esempi di irregolarità in pianta, Manuale Scheda CARTIS

Regolarità in elevazione, descritta come regolare, mediamente regolare ed irregolare: va indicata la relativa percentuale di distribuzione; i parametri che determinano irregolarità in elevazione sono: macroscopiche variazioni della superficie dei piani (circa pari al 30%) che creano significative sporgenze o rientranze, irregolarità di rigidezza e di massa tra diversi piani, soprattutto se ciò determina un aumento della rigidezza di un piano rispetto a quello inferiore;

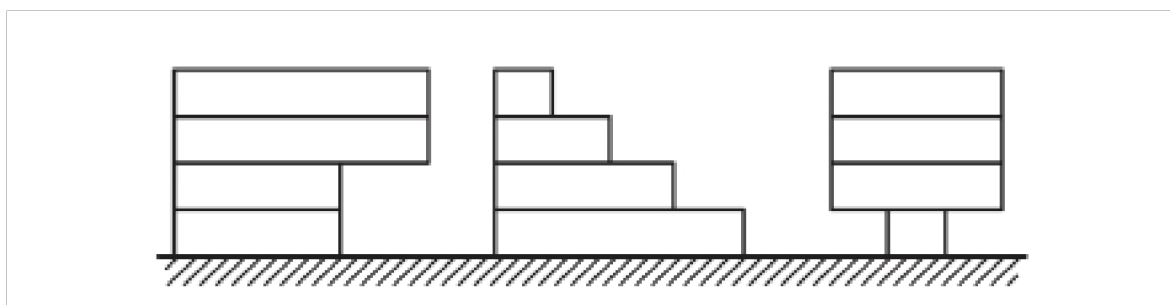


Figura 1.2.1\_21 - Esempi di irregolarità in alzato, Manuale Scheda CARTIS

Interventi strutturali della tipologia: si richiede di indicare le percentuali di edifici eventualmente sottoposti ad interventi strutturali di rafforzamento, miglioramento sismico e adeguamento sismico;

Aperture Piano Terra (PT): si richiede di valutare la percentuale della superficie relativa al piano terra occupata da aperture;

Stato di Conservazione (SdC): si richiede di valutare lo stato di conservazione (come scadente, medio o buono) d'insieme, delle strutture verticali, delle strutture orizzontali e degli elementi non strutturali;

Tipologia scale: si richiede di indicare la tipologia di scale maggiormente ricorrente, scegliendo tra scale a soletta rampante, scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo, scale con gradini a sbalzo, scale in legno, scale su volta rampante;

Elementi non strutturali vulnerabili: si richiede di specificare l'eventuale presenza di elementi non strutturali vulnerabili (e le relative percentuali di distribuzione) quali tramezzi, manto di copertura, comignoli ed altri aggetti verticali, balconi, cornicioni, parapetti, controsoffitti leggeri, controsoffitti pesanti, false volte pesanti (di mattoni in foglio), false volte leggere (ad esempio incannucciate);

- Fondazioni: è possibile analizzare un massimo di due tipologie di fondazioni prevalenti che caratterizzino almeno l'80% degli edifici della tipologia in esame, esprimendo per ciascun caso la percentuale di diffusione: in particolare si richiede di specificare che si tratti di fondazioni superficiale o profonda, continua o discontinua, ed individuare un massimo di due tra le undici tipologie predefinite, quali fondazione superficiale continua in pietrame o blocchi squadrati, fondazione profonda in pietrame o blocchi squadrati, fondazione su archi rovesci, plinti isolati senza travi di collegamento, plinti isolati con travi di collegamento, travi rovesce, reticolo di travi rovesce, platee, plinti su pali, travi rovesce su pali, platee su pali.

### **1.2.2 Suddivisione in comparti del territorio di Alcamo**

Il primo passaggio da effettuare, per la compilazione della scheda Cartis di primo livello, è la suddivisione del territorio comunale, incluse eventuali frazioni o località, in compartiomogenei. La fase preliminare è, quindi, perimetrare su mappa i comparti tracciandone i confini e progressivamente

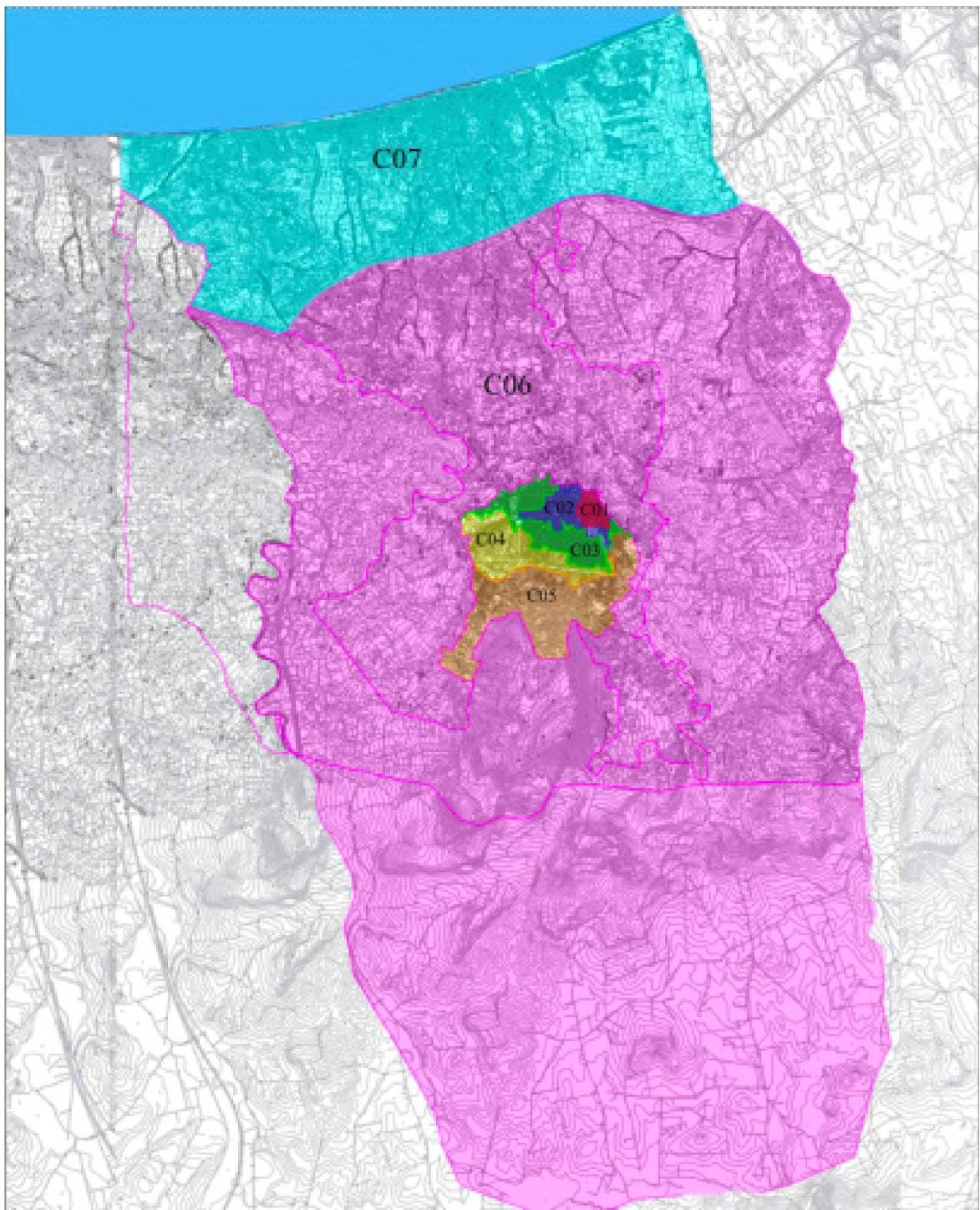
numerati. I Comparti sono aree omogenee che si caratterizzano per la presenza, al loro interno, di edifici omogenei dal punto di vista tipologico strutturale e per età di costruzione. Ciascun Comparto può essere caratterizzato con un numero massimo di 8 tipologie (4 in muratura e 4 in c.a.), ma ai fini pratici vengono descritte le tipologie edilizie più rappresentative del Comparto. Dopo un attento studio del territorio alcamese e dopo aver visionato il PRG del Comune, la cartografia comunale di base CTR e l'ortofoto di tutto il territorio, sono stati individuati sette.

I Comparti vengono di seguito denominati:

- C01: Centro storico, la città murata;
- C02: Centro storico, gli antichi quartieri;
- C03: Zona edificata con morfologia a spina;
- C04: Zona di recupero con morfologia a cortina;
- C05: Zona edificata di completamento;
- C06: Zona di edilizia diffusa con tipologia di casa isolata;
- C07: Zona di residenza stagionale con tipologia di casa isolata.

Per ogni Comparto sono state individuate da uno a sette tipologie strutturali, per un totale di ventisette tipologie.





*Figura 1.2.2\_1 - Planimetria del centro urbano con perimetrazione dei comparti e relativa numerazione*

Si riporta di seguito l'elenco dei comparti e per ciascuno la relativa denominazione, l'epoca di primo impianto, le tipologie presenti e le rispettive percentuali di distribuzione nel comparto.

Una più dettagliata descrizione di ciascuna tipologia sarà riportata nel successivo paragrafo.

Codice	Nome del comparto	Primo impianto	Tipologie presenti	% distribuzione
C01	Centro storico: la città murata	XIV - XV	MUR1	30%
			MUR2	25%
			MUR3	10%
			CAR1	22%
			CAR2	13%
C02	Centro storico: gli antichi quartieri	XIII	MUR 1	25%
			MUR2	20%
			MUR3	10%
			CAR1	30%
			CAR2	15%
C03	Zona edificata con morfologia a spina	XIX - XX	MUR1	10%
			MUR2	6%
			MUR3	14%
			CAR1	8%
			CAR2	52%
			CAR3	10%
			MUR1	15%

C04	Zona di recupero con morfologia a cortina	XIX- XX	CAR1	20%
			CAR2	30%
			CAR3	35%
C05	Zona edificata di completamento	XX	CAR1	70%
			CAR2	30%
C06	Zona di edilizia diffusa con tipologia di casa isolata	XIX-XX	CAR1	25%
			CAR2	35%
			CAR3	40%
C07	Zona di residenza stagionale con tipologia di casa isolata	XVII- XX	CAR1	76%
			CAR2	24%

Il Comparto C01, costituito prevalentemente da edifici in muratura, caratterizza il centro storico delimitato nella zona A1. Questo Comparto vede la sua origine nel XIV secolo, ha un'estensione di 109.280 m<sup>2</sup> con un numero di unità edilizie di 1366. All'interno del Comparto C01 vengono distinte tre tipologie di muratura e due di calcestruzzo armato, rispettivamente:

- MUR1, tipologia edilizia costituita da muratura sbazzata, pseudo regolare senza ricorsi;
- MUR2, tipologia edilizia simile al MUR1 che differisce per numero di elevazioni;
- MUR3, tipologia edilizia costituita da muratura irregolare con tessitura disordinata nel paramento;
- CAR1, tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura;
- CAR2, tipologia edilizia simile a CAR1 che differisce per numero di elevazioni.

Il Comparto C02, all'interno della zona A2 con un'area complessiva di 398.700 m<sup>2</sup>, è costituito prevalentemente da edifici in muratura. Ha un'epoca di impianto risalente al XVI secolo e al suo interno si distinguono le seguenti tipologie:

- MUR1, tipologia edilizia costituita da muratura sbozzata, pseudo regolare senza ricorsi;
- MUR2, tipologia edilizia simile al MUR1 che differisce per numero di elevazioni;
- MUR3, tipologia edilizia costituita da muratura irregolare con tessitura disordinata nel paramento;
- CAR1, tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura;
- CAR2, tipologia edilizia simile a CAR1 che differisce per numero di elevazioni.

Il Comparto C03, con impianto risalente al XVIII secolo, riguarda l'espansione del centro storico verso nord-ovest. Il sistema residenziale presenta una zona edificata con morfologia a spina e si estende per una superficie di 629.566 m<sup>2</sup> con un numero di unità edilizie di 6.627.

Il Comparto presenta le seguenti tipologie:

- MUR1, tipologia edilizia composta da muratura regolare in pietra squadrata;
- MUR2, tipologia edilizia costituita da muratura sbozzata pseudo regolare;
- MUR3, tipologia edilizia costituita da una muratura irregolare con pietrame disordinato nel paramento;
- CAR1; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 2-3 piani

- CAR2; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 6-7 piani;
- CAR3; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 4-5 piani.

Il Comparto C04, riguarda l'espansione del territorio nel XIX secolo e presenta una zona edificata con morfologia a cortina. Il Comparto si estende 242.630 m2 con un numero di edifici pari a 2.554. all'interno del perimetro della zona omogenea possiamo distinguere le varie tipologie:

- MUR1, tipologia edilizia costituita da muratura sbazzata costituita da pietra pseudo regolare;
- CAR1; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 5-6 piani;
- CAR2; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 3-4 piani;
- CAR3; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 1-2 piani

Il Comparto C05 comprende edifici multipiano, con struttura intelaiata in calcestruzzo armato risalenti alla prima metà del XX secolo. Le tipologie prevalenti sono:

- CAR1; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 2-3 piani;
- CAR2; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponamenti in muratura e un numero di elevazioni 4-5 piani;

Il comparto C06, caratterizzato da un impianto edilizio realizzato tra 1950 e il 1970, si estende su una superficie di 386.400 m2. È composto da un sistema residenziale di 3.680 unità edilizie, prevalentemente isolate e con un numero di abitazioni di 2.400. Il Comparto presenta:

- CAR1; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponatura poco consistente e un numero di elevazioni 1-2 piani;
- CAR2; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponatura consistente e un numero di elevazioni 3-4 piani;
- CAR3; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con con tamponatura consistente e un numero di elevazioni 5-6 piani

Il Comparto C07, composto da un impianto edilizio di casa isolata realizzate dopo il 1970, comprende la zona di Alcamo marina. Ha un'estensione di 238.000 m<sup>2</sup>, in cui sono presenti le seguenti tipologie:

- CAR1; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponatura consistente e un numero di elevazioni 1-2 piani;
- CAR2; tipologia edilizia costituita da intelaiatura in C.A. con tamponatura consistente e un numero di elevazioni 3-4 piani;

### **1.2.3 Caratteristiche delle tipologie strutturali individuate nel territorio di Alcamo**

CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 3 piani, con superficie media di piano di 100 mq, costruiti tra il 1972 ed il 1975; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media inferiore a 30 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (87%) ed il tetto a singola falda (13%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.

CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 3 piani, con superficie media di piano di 180 mq, costruiti recentemente; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici in adiacenza staticamente indipendenti, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 30x45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (25%) ed il tetto a falde inclinate (75%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.







mq, costruiti tra il 1300 ed il 1400; i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero-cemento gettato in opera (soletta rigida); i tipi di malta utilizzati sono di gesso o di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, la presenza di aperture in prossimità della linea di colmo della copertura, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegate, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a singola falda (25%) e a falde inclinate (75%), generalmente non spingente (100%); le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 20-29%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

- MUR2: edifici in muratura in pietra sbozzata, in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 70-80 mq, costruiti prima del 1860; i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero-cemento gettato in opera (soletta rigida); il tipo di malta utilizzata è di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria

dovuta alla presenza di nicchie, la presenza di aperture in prossimità della linea di colmo della copertura, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegate, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; la tipologia di copertura è a falda inclinata (100%), in legno, generalmente non spingente (60%); le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 35-50%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

- MUR3: edifici in muratura irregolare in pietra arrotondata con tessitura disordinata nel paramento, senza ricorsi, con assenza di diatoni, in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 70-100 mq, costruiti prima del 1860; i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero- cemento gettato in opera (soletta rigida); il tipo di malta utilizzata è di calce, di condizioni medie; (elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidità flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, la presenza di aperture in prossimità della linea di colmo della copertura, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegate, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità

della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piccoli corpi aggiunti di differente rigidità, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a singola falda (70%) ed il tetto a falda inclinata (30%), in legno, generalmente non spingente; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 30-40%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

## SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

IDT

### a. CODICE TIPOLOGIA

<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MUR 1	MUR 2	MUR 3	MUR 4	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CAR 4

### b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

19	081	001	C01	MUR1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

### c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO

	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	
		<i>In adiacenza</i> (strutture staticamente indipendenti)	<i>In connessione</i> (strutture interagenti)
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %

### d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA



### d. PIANTA E SEZIONE

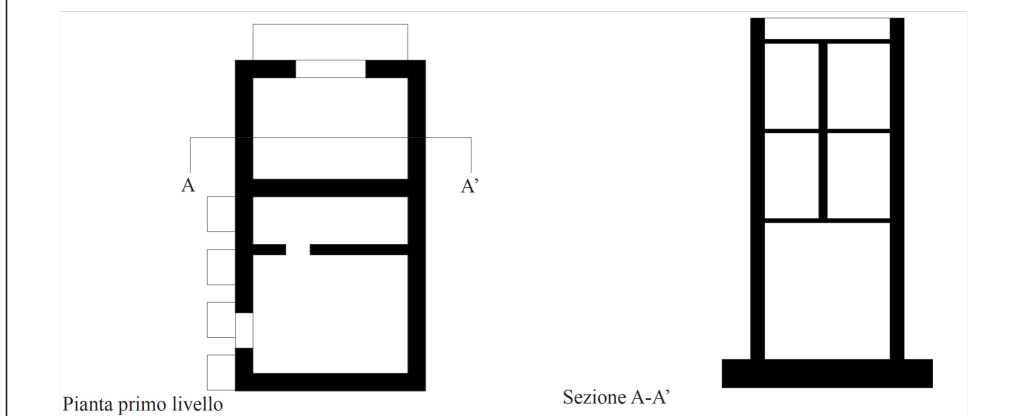


Figura 1.2.3\_3 - Scheda di identificazione tipologica MUR1, Comparto C01

## SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

IDT

### a. CODICE TIPOLOGIA

<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MUR 1	MUR 2	MUR 3	MUR 4	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CAR 4

### b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

1 9	0 8 1	0 0 1	C 0 1	MUR 2
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

### c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO

ISOLATA  
IN AGGREGATO

%

IN AGGREGATO

%

*In adiacenza*  
(strutture staticamente indipendenti)

%

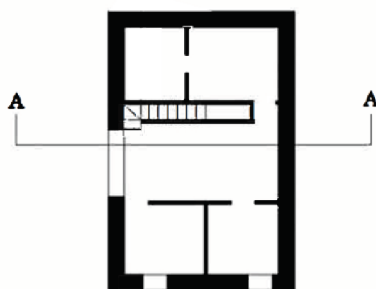
*In connessione*  
(strutture interagenti)

%

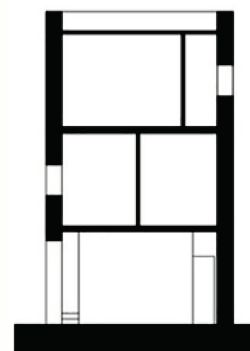
### d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA



### d. PIANTA E SEZIONE



Pianta primo livello



Sezione A-A'

Figura 1.2.3\_4 - Scheda di identificazione tipologica MUR2, Comparto C01



Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C02 sono le seguenti:

- CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 100 mq, costruiti tra il 1992 ed il 1996; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (20%) ed il tetto a falda inclinata (80%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.
- CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 4-5 piani, con superficie media di piano di 100-130 mq, costruiti tra il 1976 ed il 1981; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici in adiacenza staticamente indipendenti, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi (50%) relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (30%) ed il tetto a falde inclinate (70%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in







con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in ferro e tavelloni (soletta semirigida); sono presenti volte sia al piano terra che ai piani intermedi, in genere del tipo a botte (20%) o a botte con testa a padiglione (10%); i tipi di malta utilizzati sono di gesso o di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidità flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, la presenza di aperture in prossimità della linea di colmo della copertura, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegate, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a singola falda (30%) o a falda inclinata (70%), in legno, generalmente non spingente (60%); le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 35-50%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

- MUR2: edifici in muratura regolare in pietra sbazzata pseudo regolare senza ricorsi, in media di 1-2 piani, con superficie media di piano di 70-100 mq, costruiti prima del 1860, i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero-cemento gettato in opera (soletta rigida); i tipi di malta utilizzati sono di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta

rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegate, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a singola falda (70%) ed il tetto a falde inclinate (30%), in legno, generalmente spingente (30%); le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 35-50%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o regolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

- MUR3: edifici in muratura irregolare in pietra arrotondata con tessitura disordinata nel paramento, senza ricorsi, con assenza di diatoni, in media di 1-2 piani, con superficie media di piano di 70-100 mq, costruiti prima del 1860; i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero- cemento gettato in opera (soletta rigida); il tipo di malta utilizzata è di calce, di condizioni medie; (elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, la presenza di aperture in prossimità della linea di colmo della copertura, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegati, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni

a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piccoli corpi aggiunti di differente rigidità, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a singola falda (70%) ed il tetto a falda inclinata (30%), in legno, generalmente non spingente (75%); le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 30-40%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

## SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

IDT

### a. CODICE TIPOLOGIA

<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MUR 1	MUR 2	MUR 3	MUR 4	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CAR 4

### b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

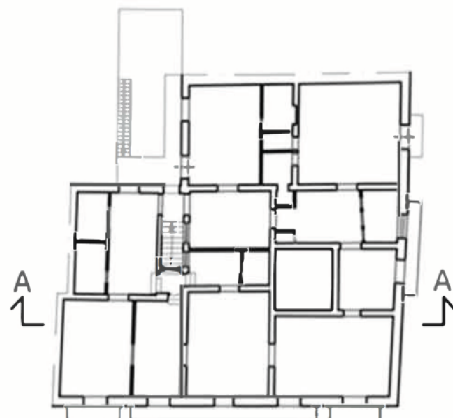
119	081	001	002	MUR1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	
		<i>In adiacenza</i> (strutture staticamente indipendenti)	<i>In connessione</i> (strutture interagenti)
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %

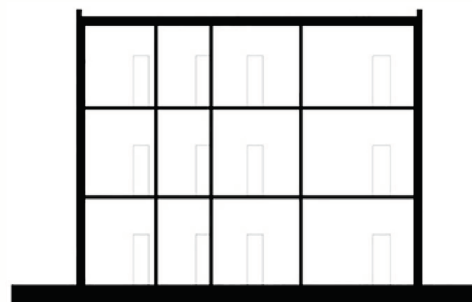
### d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA



### d. PIANTE E SEZIONE



Pianta primo livello



Sezione A-A'

Figura 1.2.3\_8 - Scheda di identificazione tipologica MUR1, Comparto C02



## SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

IDT

### a. CODICE TIPOLOGIA

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MUR 1	MUR 2	MUR 3	MUR 4	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CAR 4

### b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

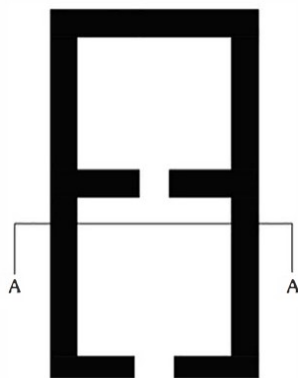
119	0181	0101	C02	MUR13
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %	
	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %	In adiacenza (strutture staticamente indipendenti)	In connessione (strutture interagenti)
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %

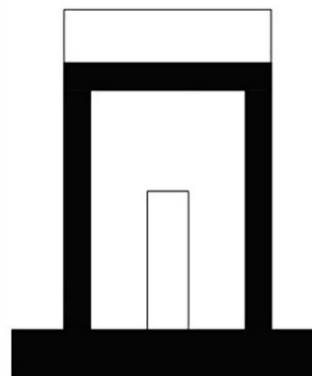
### d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA



### d. PIANTE E SEZIONE



Pianta



Sezione A-A'

Figura 1.2.3\_10 - Scheda di identificazione tipologica MUR3, Comparto C02



Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C03 sono le seguenti:

- CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 100-120 mq, costruiti tra il 1982 ed il 1986; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (75%) ed il tetto a falde inclinate (25%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.
- CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 6-7 piani, con superficie media di piano di 100-120 mq, costruiti tra il 1992 ed il 1996; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi (60%) relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 30-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (80%) ed il tetto a falde inclinate (20%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 50-70% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.

- CAR3: edifici residenziali in c.a., in media di 4-5 piani, con superficie media di piano di 100-110 mq, costruiti recentemente; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (85%) ed il tetto a falde inclinate (15%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 50-70% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.







Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C03 sono le seguenti:

- MUR1: edifici in muratura regolare in pietra squadrata senza ricorsi, in media di 1-2 piani, con superficie media di piano di 100 mq, costruiti prima del 1860; i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero-cemento gettato in opera (soletta rigida); i tipi di malta utilizzati sono di gesso o di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidità flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, la presenza di aperture in prossimità della linea di colmo della copertura, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegate, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono il falda singola (40%) ed il tetto a falda inclinata (60%), in legno, generalmente non spingente (70%); le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 30-40%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.
- MUR2: edifici in muratura regolare in pietra sbozzata senza ricorsi, in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 70-100 mq, costruiti prima del 1860, i tipi di solaio principali sono quelli in legno con tavolato

singolo (soletta deformabile) e quello in latero-cemento gettato in opera (soletta rigida); i tipi di malta utilizzati sono di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidità flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegati, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a falde inclinate (75%) e il terrazzo praticabile (25%), in legno, generalmente spingente (30%); le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 35-50%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o regolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.

- MUR3: edifici in muratura irregolare in pietra arrotondata con tessitura disordinata nel paramento, senza ricorsi, con assenza di diatoni, in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 70-100 mq, costruiti prima del 1860; i tipi di solaio principali sono quello in legno con tavolato singolo (soletta deformabile); il tipo di malta utilizzata è di calce, di condizioni medie; (elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidità flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegati, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni

a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a singola falda (35%) ed il tetto a falda inclinata (65%), in legno, generalmente non spingente; le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 30-45%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o irregolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.



**SEZIONE 1: Identificazione Tipologia**

IDT

**a. CODICE TIPOLOGIA**

<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
MUR 1	MUR 2	MUR 3	MUR 4	CAR 1	CAR 2	CAR 3	CAR 4

**b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)**

119	081	001	C03	MUR1
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

<b>c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO</b>	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	<i>In adiacenza</i> (strutture staticamente indipendenti)	<i>In connessione</i> (strutture interagenti)

**d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA**



**d. PIANTA E SEZIONE**

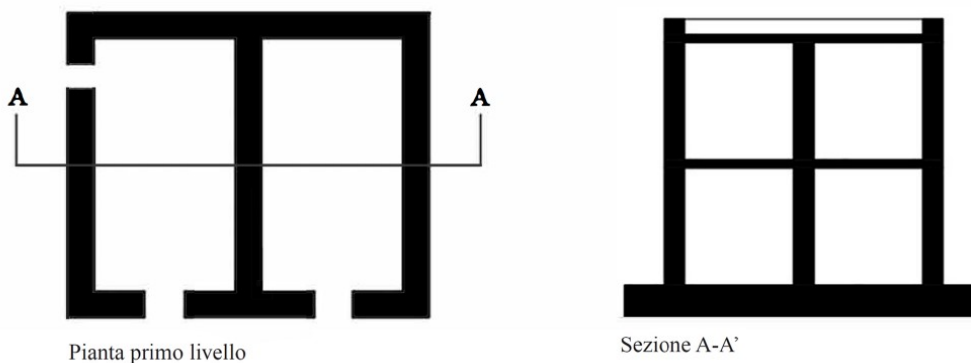


Figura 1.2.3\_14 - Scheda di identificazione tipologica MUR1, Comparto C03





Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C04 sono le seguenti:

- CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 5-6 piani, con superficie media di piano di 120 mq, costruiti tra il 1972 ed il 1975; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (75%) ed il tetto a falde inclinate (25%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.
- CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 3-4 piani, con superficie media di piano di 120-150 mq, costruiti tra il 1997 ed il 2000; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 30-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (70%) ed il tetto a falde inclinate (30%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 60-70% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 70%; la conformazione degli edifici è mediamente

regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.

- CAR3: edifici residenziali in c.a., in media di 1-2 piani, con superficie media di piano di 180-220 mq, costruiti tra il 1982 ed il 1986; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (90%) ed il tetto a falde inclinate (10%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 60%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.



## SEZIONE 1: Identificazione Tipologia

IDT

a. CODICE TIPOLOGIA

<input type="radio"/> MUR 1	<input type="radio"/> MUR 2	<input type="radio"/> MUR 3	<input type="radio"/> MUR 4	<input type="radio"/> CAR 1	<input checked="" type="radio"/> CAR 2	<input type="radio"/> CAR 3	<input type="radio"/> CAR 4
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--	-----------------------------	-----------------------------

b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)

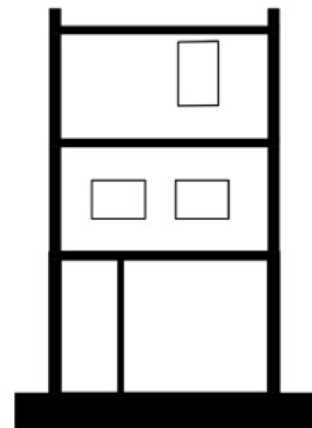
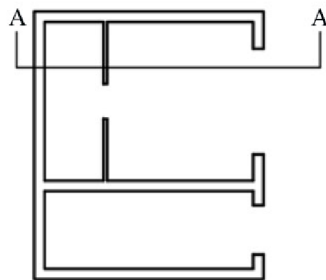
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="C04"/>	<input type="text"/>
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	Codice Comparto	Codice Tipologia

c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		<input type="text"/> %	
		<i>In adiacenza</i> (strutture staticamente indipendenti)	<i>In connessione</i> (strutture interagenti)
	<input type="text"/> %	<input type="text"/> %	<input type="text"/> %

d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA



d. PIANTE E SEZIONE



Sezione A-A

Figura 1.2.3\_18 - Scheda di identificazione tipologica CAR2, Comparto C04





mq, costruiti prima del 1860, i tipi di solaio principali sono quelli in legno con tavolato singolo (soletta deformabile) e quello in latero-cemento gettato in opera (soletta rigida); i tipi di malta utilizzati sono di calce idraulica, di condizioni medie; elementi di vulnerabilità sono la mancanza di ammorsamenti tra le pareti ortogonali, la presenza di architravi con ridotta rigidità flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio, la riduzione localizzata della sezione muraria dovuta alla presenza di nicchie, l'elevata percentuale di aperture di vani al piano terra, la presenza di strutture di copertura rigide e mal collegati, la mancanza di connessione tra parete e muratura, la presenza di orizzontamenti e mal collegati alle pareti, l'inadeguatezza delle fondazioni a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma, l'irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna, la presenza di piani sfalsati tra edifici contigui nell'aggregato; le tipologie di copertura sono a falde inclinate (33%) e singola falda (67%), in legno, generalmente spingente; le aperture in facciata costituiscono il 20-29% della superficie totale e quelle relative al piano terra il 35-50%; la conformazione degli edifici è irregolare in pianta, e mediamente regolare o regolare in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono il manto di copertura, i balconi ed i cornicioni.



Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C05 sono le seguenti:

- CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 2-3 piani, con superficie media di piano di 120-100 mq, costruiti tra il 1982 ed il 1986; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (90%) ed il tetto a falde inclinate (10%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.
- CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 4-5 piani, con superficie media di piano di 100-130 mq, costruiti tra il 1987 e il 1991; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi (70%) relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 30-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (60%) ed il tetto a falde inclinate (40%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 50-70% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 70%; la conformazione degli edifici è mediamente





Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C06 sono le seguenti:

- CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 1-2 piani, con superficie media di piano di 120-180 mq, costruiti tra il 1972 ed il 1975; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (60%) ed il tetto a falde inclinate (40%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio.
- CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 3-4 piani, con superficie media di piano di 150-220 mq, costruiti tra il 1997 e il 2001; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi (70%) relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 30-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (70%) ed il tetto a falde inclinate (30%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 40%; la conformazione degli edifici è mediamente

regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.

- CAR3: edifici residenziali in c.a., in media di 5-6 piani, con superficie media di piano di 180-220 mq, costruiti tra il 1987 ed il 1991; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi (30%) relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (80%) ed il tetto a falde inclinate (20%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 50-70% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 60%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.









Le tipologie strutturali individuate all'interno del comparto C07 sono le seguenti:

- CAR1: edifici residenziali in c.a., in media di 1-2 piani, con superficie media di piano di 130-130 mq, costruiti tra il 1972 ed il 1976; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; i pilastri hanno dimensione media di 25-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (70%) ed il tetto a falde inclinate (30%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono a soletta rampante; le aperture in facciata costituiscono il 30-50% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.
- CAR2: edifici residenziali in c.a., in media di 3-4 piani, con superficie media di piano di 100-130 mq, costruiti tra il 1982 e il 1986; la tipologia in relazione al contesto urbano è di edifici interclusi o d'angolo, con giunti fuori norma; le tamponature sono consistenti, inserite nel telaio, distribuite con disposizione regolare al piano terra ed assenza di piani soffici ai livelli intermedi; vi sono elementi tozzi relativi alla presenza di travi a ginocchio; i pilastri hanno dimensione media di 30-45 cm e sono disposti ad un interasse inferiore a 4,5 m; le tipologie di copertura sono il terrazzo praticabile (85%) ed il tetto a falde inclinate (15%), in ogni caso in cemento armato; le scale sono con travi a ginocchio e gradini a sbalzo; le aperture in facciata costituiscono il 50-70% della superficie totale e quelle relative al piano terra superano il 50%; la conformazione degli edifici è mediamente

regolare sia in pianta che in elevazione; lo stato di conservazione è medio; elementi non strutturali vulnerabili sono i balconi ed i cornicioni.



## CARTIS 2014



SEZIONE 1: Identificazione Tipologia			
IDT <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
a. CODICE TIPOLOGIA		b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)	
<input type="radio"/> MUR 1	<input type="radio"/> MUR 2	<input type="radio"/> MUR 3	<input type="radio"/> MUR 4
<input checked="" type="radio"/> CAR 1	<input type="radio"/> CAR 2	<input type="radio"/> CAR 3	<input type="radio"/> CAR 4
<input type="checkbox"/> Codice ISTAT Regione	<input type="checkbox"/> Codice ISTAT Provincia	<input type="checkbox"/> Codice ISTAT Comune	<input type="checkbox"/> Codice Comparto
		<b>C07</b>	
		<input type="checkbox"/> Codice Tipologia	
c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO	ISOLATA IN AGGREGATO	IN AGGREGATO	
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %	
		In adiacenza (strutture staticamente indipendenti)	In connessione (strutture interagenti)
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> %
d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA			
d. PIANTA E SEZIONE			

Figura 1.2.3\_26 - Scheda di identificazione tipologica CAR1, Comparto C07

**SEZIONE 1: Identificazione Tipologia**

IDT

**a. CODICE TIPOLOGIA**

<input type="radio"/> MUR 1	<input type="radio"/> MUR 2	<input type="radio"/> MUR 3	<input type="radio"/> MUR 4	<input type="radio"/> CAR 1	<input checked="" type="radio"/> CAR 2	<input type="radio"/> CAR 3	<input type="radio"/> CAR 4
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--	-----------------------------	-----------------------------

**b. CODICE IDENTIFICATIVO DELLA TIPOLOGIA NEL COMPARTO (IDT)**

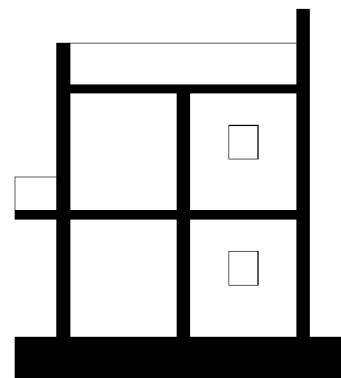
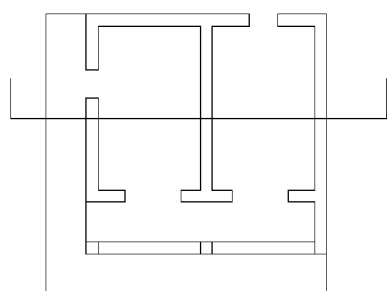
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Codice ISTAT Regione	Codice ISTAT Provincia	Codice ISTAT Comune	C07	Codice Tipologia

<b>c. POSIZIONE TIPOLOGIA NEL CONTESTO URBANO</b>	<b>ISOLATA IN AGGREGATO</b>	<b>IN AGGREGATO</b>	
		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	
		<i>In adiacenza</i> (strutture staticamente indipendenti)	<i>In connessione</i> (strutture interagenti)
		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> %

**d. FOTOGRAFIA TIPOLOGIA**



**d. PIANTA E SEZIONE**



*Figura 1.2.3\_27 - Scheda di identificazione tipologica CAR2, Comparto C07*

Come detto in precedenza, per lo studio della vulnerabilità del territorio sono state utilizzate due diverse analisi. La prima riguardava lo studio della vulnerabilità a scala urbana, con la suddivisione del territorio in comparti omogenei, la seconda analisi invece, riguarda lo studio delle singole unità edilizie. Viene quindi proposto un nuovo approccio che conserva la compatibilità con il precedente metodo, e consente di utilizzare un diverso livello di approfondimento.

È possibile effettuare un'analisi più dettagliata utilizzando la scheda CARTIS-EDIFICIO. In seguito si allegano due esempi.







### 1.3 Analisi di vulnerabilità a scala edilizia

Il pericolo sismico, problema accentuato dalle condizioni geomorfologiche del Paese e dalla elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio, induce alla necessità di coniugare tecniche speditive e metodologie accurate, al fine di individuare le criticità strutturali e i rispettivi rischi sismici a cui le strutture sono soggette. Dunque, per ottenere un'analisi accurata, ci si avvale dell'ausilio delle schede CARTIS, che rappresentano un valido strumento in grado di fornire i dati necessari per la valutazione della vulnerabilità sismica.

Di seguito si illustrano le metodologie utilizzate per la caratterizzazione costruttiva, il rilievo e l'analisi di vulnerabilità condotte sul territorio del Comune di Alcamo (TP). Successivamente, si integrano i risultati ottenuti dalle CARTIS con un'analisi di maggior dettaglio, i cui risultati sono inseriti su un Sistema Informativo Territoriale. I dati ricavati sono utilizzati per la valutazione della vulnerabilità sismica, condotta attraverso il metodo macrosismico proposto da Lagomarsino e Giovinazzi. I risultati ottenuti permettono di ricavare delle mappe di vulnerabilità distinte per comparto, evidenziando le zone più vulnerabili del territorio.

Il metodo macrosismico, proposto da Giovinazzi e Lagomarsino, fornisce un approccio unitario per la valutazione della vulnerabilità sismica, sulla base della caratterizzazione tipologica del costruito, in relazione alla qualità dei dati a disposizione e dell'estensione del territorio.

Questo metodo riunisce due approcci distinti dei metodi GNDT:

- **Approccio di I livello**, precisa la relazione tra input sismico e danno per mezzo delle DPM, per ognuna delle tre classi di vulnerabilità (A,B,C ordinate secondo la vulnerabilità decrescente) alle quali si riconducono le tipologie edilizie individuate attraverso le schede di I livello GNDT.
- **Approccio di II livello**, definisce per “il singolo edificio” la relazione tra il fattore di danno, cioè il rapporto tra il costo dell'intervento di

riparazione e il valore dell'opera, e l'accelerazione di picco attesa PGA, attraverso un indice di vulnerabilità IV che caratterizza la propensione al danneggiamento della struttura, valutato con le schede di II livello GNDT.

Il metodo proposto da Giovinazzi e Lagomarsino, invece, definisce la relazione tra la distribuzione del danno e l'input sismico per mezzo di un indice di vulnerabilità, che può essere ottenuto assegnando ad ogni classe di vulnerabilità il relativo indice, se si segue un approccio tipologico di I livello, oppure valutandolo direttamente con le schede di II livello GNDT.

La metodologia proposta fa riferimento alla scala macrosismica EMS-98 per la qualità e il dettaglio con i quali sono definite le tipologie costruttive, i gradi di danno e le quantità.

Questa scala macrosismica, dunque, contiene al suo interno, seppur in modo non esplicito, matrici di probabilità di danno per le singole tipologie edilizie attribuibili alle tradizionali classi di vulnerabilità A, B e C degli edifici ordinari costruiti senza espliciti controlli di resistenza sismica e delle classi D, E e F di edifici con livelli di protezione crescente, fornendo così un quadro concettuale per valutazioni su larga scala della vulnerabilità sismica del costruito.

Il passaggio dalla EMS-98 alle matrici di probabilità di danno avviene attraverso una formulazione di tipo binomiale, la quale mostra una buona correlazione con le previsioni di danno medio ottenibili con il metodo di II livello del GNDT quando si assuma pari a 60 il valore di IV per la classe A e decrementi costanti pari a 20 per le classi di minore vulnerabilità da B ad F (Figura 1.3\_1).

Classe EMS 98	A	B	C	D	E	F
Iv (medio)	60	40	20	0	-20	(-40)

Tabella 1.3\_1 - Correlazione Classe EMS 98 con classi di vulnerabilità tradizionali.

Inoltre, le stesse matrici binomiali di probabilità di danno, mostrano una discreta correlazione anche con il metodo di I livello, rappresentato con le DPM delle classi A, B e C proposte da Braga Dolce e Liberatore, basate sui rilievi di danno osservato dopo il terremoto dell'Irpinia (1980) riferite alla scala macrosismica MSK.

Per quanto riguarda la definizione delle classi di vulnerabilità, l'approccio della scala EMS98 permette di superare le limitazioni dei due metodi GNDT. Il metodo di I livello GNDT individua, dalla combinazione tra le caratteristiche delle strutture orizzontali e verticali 13 tipologie edilizie, di cui 12 in muratura e 1 per edifici in c.a., successivamente ricondotte a tre classi di vulnerabilità (A, B e C), mentre il metodo di II livello GNDT definisce la vulnerabilità della struttura (singola) attraverso il parametro indice di vulnerabilità IV.

Il primo metodo distingue quindi il costruito in sole 13 tipologie, insufficienti a descrivere compiutamente il patrimonio edilizio esistente. Inoltre, questo metodo attribuisce la classe di vulnerabilità dell'edificio in funzione della sola tipologia edilizia, non consentendo di distinguere più livelli di vulnerabilità all'interno di una stessa classe tipologica.

Viceversa, il metodo di II livello GNDT consente di individuare diversi livelli di vulnerabilità per una data classe tipologica per mezzo di un'analisi focalizzata, però sulla singola struttura.

I due approcci vengono integrati nella metodologia proposta da Giovinazzi e Lagomarsino, che consente di attribuire, per ciascuna tipologia edilizia, una classe di vulnerabilità in funzione delle caratteristiche costruttive che ne modificano il comportamento.

La classificazione delle tipologie edilizie della scala EMS-98, presa come riferimento per il metodo, è stata parzialmente modificata, introducendo nuove classi tipologiche.

In particolare, è stata aggiornata la classificazione della scala per gli edifici in muratura e c.a., introducendo, rispettivamente, una nuova tipologia per le

strutture in muratura adeguate simicamente con interventi che ne hanno modificato sensibilmente il comportamento, e una nuova tipologia per le strutture in c.a. relativa agli edifici su pilotis, mentre per le strutture prefabbricate e in acciaio è stata adottata la classificazione proposta nel metodo Hazus. Si riporta di seguito la classificazione tipologica proposta.

<i>Tipologie</i>		<i>Descrizione</i>
MURATURA	M1	Pietra grezza (ciottoli, pietrame, mista)
	M2	Casa in terra o con mattoni crudi
	M3	Pietre sbazzate o a spacco
	M4	Pietre squadrate
	M5	Mattoni
	M6	Muratura non armata (pietra lavorata, laterizi o blocchi di cemento) con solai in c.a.
	M7	Muratura armata o confinata
	M8	Costruzioni antiche sottoposte ad interventi di rinforzo complessivo
CEMENTO ARMATO	RC1	Telaio in c.a. (in assenza di progetto antisismico)
	RC2	Telaio in c.a. (con progetto antisismico a bassa duttilità)
	RC3	Telaio in c.a. (con progetto antisismico elevato)
	RC4	Pareti di taglio (in assenza di progetto antisismico)
	RC5	Pareti di taglio (con progetto antisismico a bassa duttilità)
	RC6	Pareti di taglio (con progetto antisismico elevato).
	RC7	Telaio in cemento armato con <i>pilotis</i>
PRE FABBR.	PC1	Edificio prefabbricato a setti portanti in c.a.
	PC2	Telaio in cemento armato prefabbricato con pareti di taglio in c.a.
ACCIAIO	S1	Edificio in acciaio con telaio a nodi rigidi
	S2	Edificio in acciaio con telaio rinforzato da controventi
	S3	Edificio con telaio in acciaio e tamponature in muratura non rinforzata
	S4	Telaio in acciaio con pareti di taglio in cemento armato gettate in opera
LEGNO	W1	Strutture in legno

Tabella 1.3\_2 - *Classificazione tipologica e descrizioni*

Per l'attribuzione della classe tipologica alle sei classi di vulnerabilità (A, B, C, D, E e F) si fa riferimento all'approccio della scala EMS-98, che assegna a ciascuna tipologia edilizia la classe di vulnerabilità più probabile, possibile e poco probabile come riportato in Figura 1.3\_3.

Tipologie		CLASSI DI VULNERABILITÀ					
		A	B	C	D	E	F
MURATURA	M1	■					
	M2	■	●				
	M3	○	■				
	M4		●	■	○		
	M5	○	■	○			
	M6		●	■	○		
	M7			●	■	○	
	M8	●	■	●	○		
CEMENTO ARMATO	RC1	○	●	■	○		
	RC2		○	●	■	●	
	RC3			○	●	■	●
	RC4		○	■	●		
	RC5			○	■	●	
	RC6				○	■	●
	RC7	○	■	●	○		
PRE FABBR.	PC1			○	■	●	
	PC2		○	■	●		
ACCIAIO	S1	○	●	■	○		
	S2			○	●	■	○
	S3		○	●	■	○	
	S4				○	■	●
LEGNO	W1		○	●	■	●	

Situazioni: ■ Classe più probabile; ● Classe possibile; ○ Classe poco probabile (casi eccezionali)

Tabella 1.3\_3 - *Attribuzione delle classi di vulnerabilità alle classi tipologiche*

Individuata quindi la tipologia del manufatto, a essa viene attribuita la classe di vulnerabilità più probabile e l'indice di vulnerabilità IV associato (Figura 1.3\_4), mentre se i dati disponibili consentono ulteriori suddivisioni tra gli edifici della stessa tipologia, si attribuisce a essi la classe di vulnerabilità e l'indice IV in funzione di specifici modificatori di comportamento

Tipologie		I <sub>v</sub>	intervallo	Tipologie		I <sub>v</sub>	intervallo
MURATURA	M1	60	50 ÷ 70	CEMENTO ARMATO	RC1	20	0 ÷ 60
	M2	60	35 ÷ 70		RC2	0	-25 ÷ 40
	M3	40	30 ÷ 60		RC3	-20	-45 ÷ 20
	M4	20	0 ÷ 45		RC4	20	-5 ÷ 40
	M5	40	20 ÷ 60		RC5	0	-25 ÷ 20
	M6	20	0 ÷ 45		RC6	-20	-45 ÷ 0
	M7	0	-20 ÷ 25		RC7	40	0 ÷ 60
	M8	40	-20 ÷ 65	ACCIAIO	S1	20	0 ÷ 60
PRE FABBR.	PC1	0	-25 ÷ 20		S2	-20	-40 ÷ 20
PC2	20	-5 ÷ 40	S3		0	-20 ÷ 40	
LEGNO	W1	0	-25 ÷ 40		S4	-20	-45 ÷ 0

Tabella 1.3\_4 - *Valori degli indici di vulnerabilità IV e possibili intervalli di variazione*

I modificatori consentono di rendere più precisa la valutazione della risposta sismica dell'edificio, soprattutto per una valutazione a scala territoriale della vulnerabilità sismica. Lo studio sulla consistenza del patrimonio abitativo sulla

base dei dati del censimento della popolazione ISTAT '91, ha permesso di individuare i valori degli indici IV per le classi tipologiche nonché i valori dei modificatori da attribuire in relazione all'epoca di costruzione, al numero di piani, alla configurazione in aggregato, allo stato di manutenzione.

Di seguito si allegano le tabelle utili ai fini della determinazione dei punteggi e dell'indice di vulnerabilità ( $I_V$ ).

Categorie	Epoca		Tipologie EMS	$I_V$
1	antecedente al 1919		M1 – Pietra grezza (ciottoli, pietrame, mista) M3 – Pietre sbozzate o a spacco M5 – Mattoni	50
2	dal 1919 al 1945	zona urbana	M3 – Pietre sbozzate o a spacco M4 – Pietre squadrate M5 – Mattoni	35
		zona rurale	M1 – Pietra grezza (ciottoli, pietrame, mista) M3 – Pietre sbozzate o a spacco M5 – Mattoni	45
3	dal 1946 al 1971		M3 – Pietre sbozzate o a spacco M5 – Mattoni M6 – Muratura non armata (pietra lavorata, laterizi, blocchi di cemento) con solai in c.a.	30
4	dopo il 1971		M6 - Muratura non armata (pietra lavorata, laterizi, blocchi di cemento) con solai in c.a.	20

Tabella 1.3\_5 - Valori di  $I_V$  in funzione dell'epoca di costruzione per edifici in muratura

Categorie	Epoca	Tipologie EMS	$I_V$
5	prima della classificazione sismica	RC1 – Telaio in c.a. (pre-normativa) RC4 – Pareti di taglio (pre-normativa)	20
6	dopo la classificazione sismica	RC2 – Telaio in c.a. (bassa duttilità) RC5 – Pareti di taglio (bassa duttilità)	0
7	edificio a <i>pilotis</i>	RC7 – Telaio in cemento armato con <i>pilotis</i>	40

Tabella 1.3\_6 - Valori di  $I_V$  in funzione dell'epoca di costruzione per edifici in c.a.

Modificatori di comportamento	Indicatori ISTAT	Punteggio per le diverse categorie			
		<1919	19/45	46/71	>1971
Condizioni di manutenzione	Scarsa manutenzione	+6	+6	+6	-
Numero di piani (altezza)	Basso (1 o 2 piani)	-	-	-	-
	Medio (3, 4 o 5 piani)	+5	+5	+5	+5
	Alto (più di 5 piani)	+10	+10	+10	+10
Contesto strutturale	Edificio in aggregato	-	-	+6	+6

Tabella 1.3\_7 - Punteggi dei modificatori per gli edifici in muratura

Modificatori di comportamento	Indicatori ISTAT	Punteggio
Età di costruzione	Antecedente il 1971	+6
Numero di piani (altezza)	Basso (1 o 2 piani)	-6
	Medio (3, 4 o 5 piani)	0
	Alto (6 p più piani)	+6
Edifici adiacenti con giunti non sismici	Edificio in aggregato	+6*

\* solo per la categoria 5 - edifici precedenti alla classificazione sismica

Tabella 1.3\_8 - Punteggi dei modificatori di comportamento

Noto l'indice di vulnerabilità ( $I_V$ ), si può calcolare il valore del danno medio ( $d$ ) per ogni valore di intensità macrosismica per mezzo della correlazione proposta dagli autori espressa nella forma:

$$d = 0,5 + 0,45 \{ \arctan[0,55(I - 10,2 + 0,05 IV)] \} \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (1)$$

Questa formula è nata confrontando le curve di vulnerabilità, cioè la relazione tra danno

medio e intensità macrosismica, dei metodi GNDT di I e II livello con le curve delle estrapolate dai valori di danno medio ricavati dalla scala EMS-98.

Di seguito si riportano le tabelle con i relativi modificatori utilizzati nell'analisi della valutazione del rischio sismico e si effettua il confronto tra l'analisi di vulnerabilità a scala urbana con l'analisi di vulnerabilità a scala edilizia.

NUM.DI ELEVAZIONI FUORI TERRA comprese sopraelevazioni(PT=1, Pt+1Piano=2, ecc...)	
Rilevato (riportare numero di piani)	n

MODIFICATORE NUM. PIANI	
Basso (1 o 2 piani)	-0,04
Medio (3 o 4 piani)	0
Alto (più di 4 piani)	+0,04

NUM.DI SOPRAELEVAZIONI	
Non so	9
No	0
Si (n° piani)	n

STATO DI CONSERVAZIONE	
Fatiscente o rudere	C0
Buono	C1
Sufficiente	C2
Cattivo	C3
Lavori in corso	C4

MODIFICATORE STATO DI MANUTENZIONE	
Buona	-0,04
Sufficiente/Lavori in corso	0
Cattiva	+0,04
Fatiscente o rudere	+0,08

REGOLARITA' IN ELEVAZIONE	
Non so	0
Regolare	1
Mediamente regolare	2
Irregolare	3

TESSITURA MURARIA (colonna ORIG per nucleo originario, colonna SOPR per sopraelevazione)	
Intonaco (non si riesce ad individuare la tessitura)	0
MUR0 - Muratura a secco	1
MUR1 - Muratura irregolare, pietra grezza, senza ricorsi, tessitura disordinata nel paramento	2
MUR2 - Muratura sbazzata, pietra pseudo regolare, senza ricorsi	3
MUR3 - Muratura regolare con pietra squadrata senza ricorsi	4
MUR4 - Muratura regolare confinata	5
MUR5 - Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	6
CA - Telaio in c.a. (senza E.R.D.- senza livello di progetto antisismico)	71
CA - Telaio in c.a. (moderato E.R.D.- moderato livello di progetto antisismico)	72
CA - Telaio in c.a. (alto E.R.D.-alto livello di progetto antisismico)	73
Acciaio	8

STRUTTURE MISTE	
Non so	0
Non è misto	1
Presenza di sopraelevazioni di cui non si riesce a stabilire il tipo di muratura	2
C.A. (o altre strutture intelaiate) su muratura	3
Muratura su C.A.	4
Muratura perimetrale e pilastri interni in C.A.	5
Muratura perimetrale e pilastri esterni	6
Muratura scadente su muratura originaria	7
Muratura diversa da quella originaria	8

SOLAIO (due numeri, 1 solaio piano terra, 2 solaio piano più vulnerabile)	
Non so	0
Deformabile (legno tavolato singolo o ferro e voltine)	1
Semirigido (legno doppio tavolato o ferro e tavelloni)	2
Rigido (cemento armato)	3
Volta	4
Assente	5

DISPOSITIVI ANTISISMICI PROPRI DELLA COSTRUZIONE ORIGINARIA (2 numeri nel caso in cui siano presenti più presidi contemporaneamente)	
Non so	0
Non presenti	1
Catene storiche	2
Catene storiche in modeste quantità	3
Cordoli della struttura originaria	4
Ringrossi murari e/o archi di contropinta	5

MODIFICATORE IRREGOLARITA' ALTIMETRICA	
Regolare/Mediamente regolare	0
Irregolare	+0,02

INDICE DI VULNERABILITA' CARATTERISTICO	
M1 - Muratura a secco	0.873
M2 - Muratura irregolare	0.82
M3 - Muratura di pietra sbazzata	0.74
M5 - Muratura di mattoni e mur. con pietra squadrata	0.74
M6 - Muratura di mattoni e mur. con pietra squadrata con malta di buona resistenza e solai di rigidità elevata (c.a.)	0.616
M7 - Muratura confinata/ rinforzata	0.451
M4 - Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	0.616
RC1 - Telaio in c.a. (senza E.R.D.)	0.644
RC2 - Telaio in c.a. (moderato E.R.D.)	0.484
RC3 - Telaio in c.a. (alto E.R.D.)	0.324
S - Strutture in acciaio	0.324

MOD. STRUTTURE MISTE O SOPRAELEVAZIONE	
Non so /Non è misto	0
C.A. (o altre strutture intelaiate) su muratura	+0.03
Presenza di sopraelevazioni di cui non si riesce a stabilire il tipo di muratura	+0.04
Muratura su C.A.	+0.04
Muratura perimetrale e pilastri interni in C.A.	+0.03
Muratura perimetrale e pilastri esterni	+0.03
Muratura scadente su muratura originaria	+0.06
Muratura diversa da quella originaria	+0.04

MODIFICATORE SOLAI (IN ED. IN MURATURA A SECCO O PIETRA GREZZA)	
Semirigido (legno doppio tavolato o ferro e tavelloni)	-0.02
Rigido (cemento armato)	+0.06
Deformabile (legno tavolato singolo o ferro e voltine)	0
MODIFICATORE SOLAI (IN ED. IN MURATURA DI PIETRA SBOZZATA)	
Semirigido (legno doppio tavolato o ferro e tavelloni)	-0.02
Rigido (cemento armato)	+0.06
Deformabile (legno tavolato singolo o ferro e voltine)	0
MODIFICATORE SOLAI (IN ED. IN MURATURA DI PIETRA MASSICCIA)	
Deformabile (legno tavolato singolo o ferro e voltine)	+0.04
Rigido (cemento armato)	-0.04
Semirigido (legno doppio tavolato o ferro e tavelloni)	0
MODIFICATORE SOLAI (IN ED. IN MURATURA DI PIETRA SQUADRATA O DI MATTONI)	
Deformabile (legno tavolato singolo o ferro e voltine)	+0.04
Rigido (cemento armato)	0
Semirigido (legno doppio tavolato o ferro e tavelloni)	0

DISPOSITIVI ANTISISMICI PROPRI DELL'ARCHITETTURA STORICA	
Non so/ Non presenti	0
Catene storiche	-0.04
Catene storiche in modeste quantità	-0.02
Cordoli della struttura originaria	-0.04
Catene e cordoli	-0.04
Ringrossi murari, archi di contropinta	-0.04



APERTURE IN PROSSIMITÀ DELLA GRONDA	
Non presenti	0
Presenti	1

COPERTURA_ numero composto da due cifre (nel caso di "non so" il numero sarà composto da una sola cifra)	
Non so	0
Pesante	1
Intermedia	2
Leggera	3
Non spingente	1
Spingente	2

POSIZIONE IN AGGREGATO	
Isolata	1
Interclusa	2
D'angolo	3
Di testata	4

EDIFICI ADIACENTI CON ALTEZZA DIVERSA	
No, hanno stessa altezza	1
Edificio più basso su due lati	2
Edificio più basso su un lato	3
Edificio più alto su due lati	4
Edificio più alto su un lato	5
Edificio più alto da un lato e più basso dall'altro	6

PIANI SFALSATI	
I piani sono allineati	0
I piani sono sfalsati (differenza minima di 50 cm)	1

DISPOSITIVI ANTISISMICI PROPRI DELLA COSTRUZIONE ORIGINARIA (2 numeri nel caso in cui siano presenti più presidi contemporaneamente)	
Non so	0
Non presenti	1
Catene storiche	2
Catene storiche in modeste quantità	3
Cordoli della struttura originaria	4
Ringrossi murari e/o archi di controspinta	5

INTERVENTI DI RIPARAZIONE	
Non presenti	0
Presenza di cordoli in c/s insistenti su muratura di buona qualità	1
Presenza di tiranti metallici	2
Intervento di modifica della rigidezza dei paramenti murari non estesi all'intero edificio	3
Inserimento di coperture pesanti con cordoli di collegamento su muratura di scarsa qualità	4
Consolidamento delle murature	5
Interventi di miglioramento generici	6
Altri interventi di miglioramento	7

% FORATURA	
Piano terra	
Primo piano	
Ultimo piano	

MODIFICATORE COPERTURA	
Coperture spingenti	
Aperture in prossimità della gronda	+0,04
Coperture pesanti su murature di scarsa qualità	
Coperture non spingenti scarsamente collegate alle murature	

MODIFICATORE EDIFICI AGGREGATI	
Intercluso	-0,04
D'angolo	+0,04
Di testata	+0,06
Isolata	0

MODIFICATORE 'IRREGOLARITA' VERTICALI	
No, hanno stessa altezza	-0,04
Edificio più basso su due lati	-0,02
Edificio più basso su un lato	-0,02
Edificio più alto su due lati	+0,04
Edificio più alto su un lato	0
Edificio più alto da un lato e più basso dall'altro	+0,02

MODIFICATORE PIANI SFALSATI	
Piani allineati	0
Piani sfalsati	+0,04

DISPOSITIVI ANTISISMICI PROPRI DELL'ARCHITETTURA STORICA	
Non so/ Non presenti	0
Catene storiche	-0,04
Catene storiche in modeste quantità	-0,02
Cordoli della struttura originaria	-0,04
Catene e cordoli	-0,04
Ringrossi murari, archi di controspinta	-0,04

MODIFICATORE INTERVENTI DI RIPARAZIONE	
Non presenti	0
Presenza di cordoli in c/s insistenti su muratura di buona qualità	-0,04
Presenza di tiranti metallici	-0,04
Intervento di modifica della rigidezza dei paramenti murari non estesi all'intero edificio	+0,02
Inserimento di coperture pesanti con cordoli di collegamento su muratura di scarsa qualità	+0,06
Consolidamento delle murature	-0,04
Interventi di miglioramento generici	-0,02
Altri interventi di miglioramento	-0,02

DELTA V della % di foratura maggiore	
* $\Delta V = [(p_f - 0,4) * 0,1] / n^{\circ} \text{ piano}$ con $p_f$ percentuale di foratura	
<b>NUOVO INDICE DI VULNERABILITA'</b>	
* Dato dalla somma di tutti i modificatori, di $\Delta V$ e dell'indice di vulnerabilità caratteristico.	

Attraverso l'analisi delle tipologie presenti nella zona A2, in seguito chiamata comparto C02, si determina tramite l'utilizzo di modificatori il nuovo indice di vulnerabilità. Quest'ultimo tiene conto:

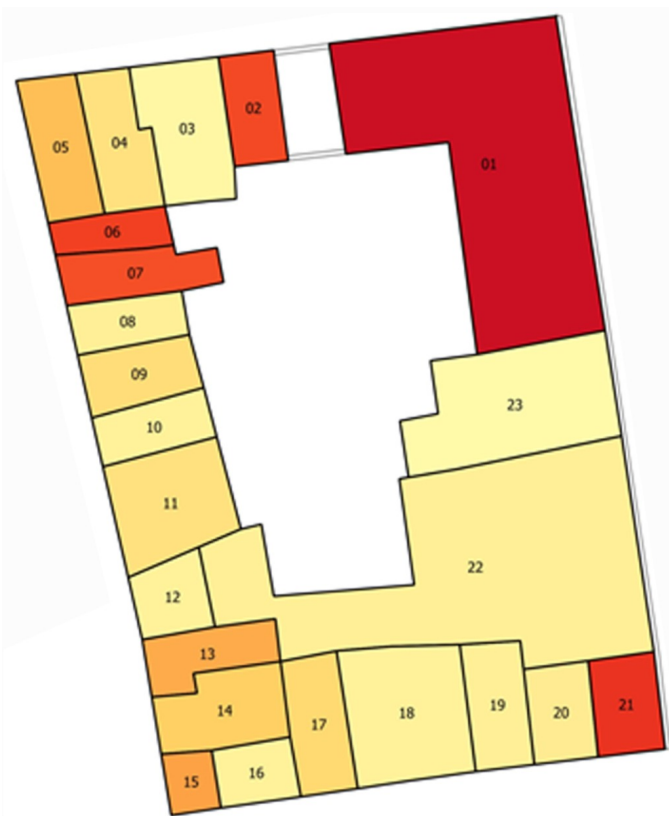
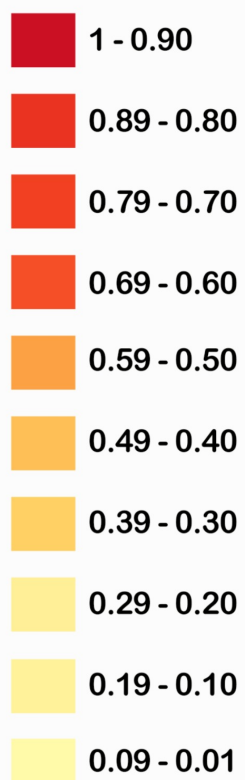
- dell'indice di vulnerabilità caratteristico relativo alla tessitura muraria,
- dei modificatori di ogni singola parte strutturale
- della percentuale di foratura presente nell'unità edilizia.

Successivamente dopo aver ottenuto i risultati dai due diversi livelli di analisi, si mette a confronto l'indice di vulnerabilità a scala urbana (attraverso la suddivisione del territorio in comparti omogenei), con l'indice di vulnerabilità a scala edilizia (metodo macrosismico).

In seguito alla determinazione dei parametri di vulnerabilità nelle due diverse scale di analisi, si procede al calcolo del danno medio (d) per un valore di intensità macrosismica, per mezzo della correlazione proposta dagli Autori espressa nella formula (1), riportando infine gli scenari di danno nei diversi livelli di intensità.

In seguito si mostra un esempio grafico estrapolato del software GIS, che caratterizza il nuovo indice di vulnerabilità calcolato.

**LEGENDA**



*Figura 1.3\_1 - Esempio Grafico estrapolato dal software GIS con il nuovo indice di vulnerabilità*



## Bibliografia

---

- Prof. G. Zuccaro, ing. D. De Gregorio, Prof. M. Dolce, arch. E. Speranza, ing. C. Moroni, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello per la caratterizzazione tipologico strutturale dei comparti urbani costituiti da edifici ordinari, in CARTIS 2014*
- a cura di, Carlo Baggio, Alberto Bernardini, Riccardo Colozza, Livio Corazza, Marianna Della Bella, Giacomo Di Pasquale, Mauro Dolce, Agostino Goretti, Antonio Martinelli, Giampiero Orsini, Filomena Papa, Giulio Zuccaro, *Manuale per la compilazione della scheda di primo livello di rivelamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post sismica (AeDES)*, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2014
- Dipartimento della protezione Civile, *Scheda di analisi della vulnerabilità dell'insediamento urbano*, Roma, 2012
- A. Badami, a cura di, *Alcamo. La città, il Territorio, la Storia. Guida agli Itinerari*, Soveria Mannelli, Catanzaro, novembre 2015

## Sitografia

---

- [https://www.unipa.it/centriinterdipartimentali/c.i.r.ce.s/.content/documenti/COLAJANNI\\_26-Novembre.pdf](https://www.unipa.it/centriinterdipartimentali/c.i.r.ce.s/.content/documenti/COLAJANNI_26-Novembre.pdf)
- [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/schede\\_tecniche.wp?contentId=SCT166](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/schede_tecniche.wp?contentId=SCT166)
- <http://sitr.comune.alcamo.tp.it:8090/webgisonline>
- <http://sitr.comune.alcamo.tp.it:8090/index.php>
- <http://www.comune.alcamo.tp.it/it>
- <https://www.tuttitalia.it/sicilia/91-alcamo/statistiche/popolazione-andamento-demografico/>
- <https://www.portaleabruzzo.com/nav/tabcomuni.asp?id=139>



***PARTE SECONDA***

***2. Progetto di recupero strutturale di un edificio campione nel  
territorio di Alcamo (TP)***





## **2.1 Normativa e metodo di analisi delle strutture in muratura**

### **2.1.1 Prescrizioni normative per edifici in muratura**

Il patrimonio edilizio italiano è caratterizzato dalla presenza di un grande numero di edifici in muratura. A causa degli eventi sismici, degli interventi antropici e del naturale invecchiamento, questi manufatti sono soggetti ad elevata vulnerabilità e necessitano, perciò, di adottare soluzioni efficaci ai fini della conservazione e del recupero di questa immensa ricchezza culturale a volte poco considerata.

Nasce quindi il problema della sicurezza delle costruzioni esistenti di fondamentale importanza per l'Italia, da un lato per l'elevata vulnerabilità, soprattutto rispetto alle azioni sismiche, dall'altro per il valore storico-architettonico del patrimonio edilizio.

Alle costruzioni esistenti vengono applicate le norme contenute nel capitolo 8 delle nuove NTC 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), la cui struttura sia completamente realizzata alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento. Inoltre, le disposizioni di carattere generale contenuti negli altri capitoli della NTC 2018, ove applicabili, sono anche di riferimento per le costruzioni esistenti.

La normativa, definisce la valutazione della sicurezza di una costruzione esistente come un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere, rispettando il livello minimo di sicurezza. Nell'effettuare la valutazione sarà opportuno tener conto delle informazioni derivanti dall'esame del comportamento di costruzioni simili, in particolar modo quando si effettuano verifiche di sicurezza rispetto alle azioni sismiche.

I requisiti di sicurezza definiti nel Cap.8 fanno riferimento allo stato di danneggiamento della struttura, mediante gli stati limite definiti al §2.2 delle

NTC 2018, per le combinazioni di carico non sismiche (Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio) e al §3.2.1 delle NTC 2018, per le combinazioni di carico che includono il sisma (Stato Limite di Collasso, Stato Limite di salvaguardia della Vita e Stato Limite di Esercizio, a sua volta distinto in Stato Limite di Danno e Stato Limite di Operatività).

Stati Limite	Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
	Stati Limite di Esercizio	SLO
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

*Tabella 2.1.1\_1 – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato*

Per le costruzioni soggette ad azioni sismiche si applica quanto riportato al §2.4 delle NTC, relativamente a vita nominale ( $V_N$ ), classi d'uso ( $C_U$ ) e periodo di riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ ).

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Per la definizione della classe d'uso si riporta il testo contenuto nel §2.4.2:

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 DM 5/11/2001, 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.

Infine si definisce il periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_R$ , come il prodotto della vita nominale dell'opera  $V_N$  per il coefficiente d'uso ricavato in base alla classe d'uso dell'edificio.

Di seguito viene riportata la Tabella 2.1.1\_2, contenente le indicazioni sulla vita nominale prevista dalla norma ed i corrispondenti periodi di riferimento dell'azione sismica per costruzioni con differenti classi d'uso ( $C_U$ ).

	Classe d'uso →	I	II	III	IV
		Coeff. C <sub>U</sub> →	0,70	1,00	1,50
TIPI DI COSTRUZIONE	V <sub>N</sub>	V <sub>R</sub>			
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10	35	35	35	35
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50	35	50	75	100
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100	70	100	150	200

*Tabella 2.1.1\_2 – Periodo di riferimento dell'azione sismica VR=VN CU (anni)*

Nella Tabella 2.1.1\_3 sono riportati i periodi di ritorno dell'azione sismica da considerare per le verifiche dei diversi Stati Limite: Stato Limite di Operatività (SLO), Stato Limite di Danno (SLD), Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e di Collasso (SLC). Nella stessa tabella, sono riportate anche le probabilità di superamento dell'azione sismica riferita ad un periodo di riferimento pari a 50 anni.

<b>OPERE con V<sub>N</sub>=10</b>									
CLASSE USO →		I	II	III	IV	I	II	III	IV
	P <sub>VR</sub> ↓	<b>T<sub>R</sub></b>				<b>P<sub>T=50</sub></b>			
SLO	0,81	21	21	21	21	91%	91%	91%	91%
SLD	0,63	35	35	35	35	76%	76%	76%	76%
SLV	0,1	332	332	332	332	14%	14%	14%	14%
SLC	0,05	682	682	682	682	7,1%	7,1%	7,1%	7,1%

<b>OPERE con <math>V_N=50</math></b>									
CLASSE USO →	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
	$P_{VR} \downarrow$	$T_R$				$P_{T=50}$			
SLO	0,81	21	30	45	60	91%	81%	67%	56%
SLD	0,63	35	50	75	100	76%	63%	48%	39%
SLV	0,1	332	475	712	949	14%	10%	7%	5%
SLC	0,05	682	975	1462	1950	7,1%	5,0%	3,4%	2,5%

<b>OPERE con <math>V_N=100</math></b>									
CLASSE USO →	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
	$P_{VR} \downarrow$	$T_R$				$P_{T=50}$			
SLO	0,81	42	60	90	120	69%	56%	43%	34%
SLD	0,63	70	100	150	200	51%	39%	28%	22%
SLV	0,1	664	949	1424	1898	7,3%	5,1%	3,5%	2,6%
SLC	0,05	1365	1950	2475	2475	3,6%	2,5%	1,7%	1,3%

*Tabella 2.1.1\_3 - Periodo di ritorno dell'azione sismica ( $T_R$ ) per i diversi Stati Limite e probabilità di superamento ( $P_{VR}$ ) nel periodo di riferimento ( $VR$ ) e probabilità di superamento dell'azione sismica ( $P_{T=50}$ ) riferito ad un periodo di  $VR=50$  anni*

All'interno della normativa vengono, per di più, definiti alcuni passaggi fondamentali per la valutazione della sicurezza e la redazione dei progetti, individuati: nell'analisi storico-critica dell'edificio oggetto di studio, ovvero svolgere uno studio sullo sviluppo storico dell'edificio cercando di acquisire più dati possibili; nel rilievo geometrico-strutturale che dovrà essere rappresentato attraverso piante prospetti e sezioni; nella caratterizzazione meccanica dei materiali attraverso prove di laboratorio e in sito; ed infine nella successiva definizione dei livelli di conoscenza e dei conseguenti fattori di confidenza.

Nella Normativa Italiana, per quanto riguarda i valori delle resistenze meccaniche dei materiali, sottolinea, che debbano essere valutati sulla base delle prove effettuate sulla struttura e prescindono dalle classi previste nelle

norme per le nuove costruzioni. In base al rilievo geometrico della costruzione, alle indagini visive, prove in sito o prove di laboratorio è possibile definire il Livello di Conoscenza della costruzione e di conseguenza il Fattore di Confidenza da adottare nell'analisi e nella verifica della costruzione.

Si riporta quanto indicato nell'Appendice al Capitolo 8 della Circolare Applicativa alla NTC del 2009:

- il livello di conoscenza LC3 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, quali i collegamenti solaio-elemento verticale, oppure i collegamenti tra pareti ortogonali, e indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali costruttivi presenti, quali malte, mattoni, pannelli in muratura disordinata, legno; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1$ ;
- il livello di conoscenza LC2 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali, ricordati poc'anzi; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1.2$ ;
- il livello di conoscenza LC1 si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali ricordati poc'anzi; il corrispondente fattore di confidenza è  $FC=1.35$ .

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i valori medi dei parametri meccanici possono essere definiti come segue:

- se è raggiunto il Livello di Conoscenza 1, per le resistenze dovranno essere usati i valori minimi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione, mentre per i moduli elastici i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta;
- se è raggiunto il Livello di Conoscenza 2, per le resistenze verranno usati i valori medi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia

muraria in considerazione, mentre per i moduli elastici i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta;

- se è raggiunto il Livello di Conoscenza 3 ci sono tre possibilità:

caso a), nel caso siano disponibili tre o più valori sperimentali di resistenza, per quanto riguarda le resistenze verrà usata una media dei risultati delle prove, e anche per i moduli elastici verrà usata una media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione;

caso b), nel caso siano disponibili due valori sperimentali di resistenza, per le resistenze, se il valore medio delle resistenze è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione si assumerà il valore medio dell'intervallo, se è maggiore dell'estremo superiore dell'intervallo si assume quest'ultimo come resistenza, se è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore medio sperimentale. Per i moduli elastici vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a);

caso c), nel caso sia disponibile un valore sperimentale di resistenza, nel caso delle resistenze, se il valore di resistenza è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione, oppure superiore, si assume il valore medio dell'intervallo, se il valore di resistenza è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore sperimentale. Per i moduli elastici vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

Si comprende quindi ancora meglio quanto siano problematiche l'analisi di edifici esistenti e eventuali conseguenti interventi di miglioramento/adequamento sismico, se non accompagnate da un adeguato Livello di Conoscenza e adeguate indagini conoscitive sugli elementi strutturali. Molto spesso però, è impossibile eseguire accurate indagini, sia per la ritrosia dei proprietari degli immobili a permettere indagini di tipo semi o interamente distruttive, sia per la valenza dei manufatti, quali chiese, edifici

storici di pregio architettonico. In assenza di un quadro dettagliato della consistenza del manufatto, si palesa la necessità, sottolineata dalla Normativa Italiana, ad eseguire sia analisi di tipo globale che analisi di tipo locale, soprattutto nel caso in cui le strutture studiate abbiano una geometria complessa o non siano presenti efficaci collegamenti tra elementi strutturali verticali e elementi strutturali orizzontali così come orizzontamenti sufficientemente rigidi. In tale contesto la Normativa consente di effettuare la verifica globale attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali, purché la totalità delle forze sismiche sia coerentemente ripartita sui meccanismi locali considerati e si tenga correttamente conto delle forze scambiate tra i sottosistemi strutturali considerati.

Si allega la Tabella C8A.2.1- Valori di riferimento dei parametri meccanici (/minimi e massimi) e peso specifico medio per le diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata;

$f_m$ = resistenza media a compressione della muratura;

$\tau_0$ = resistenza media a taglio della muratura;

E= valore medio del modulo elasticità normale;

G= valore medio del modulo di elasticità tangenziale, definito come:  $G=0,4E$ ;

w= peso specifico medio della muratura.



Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Tabella C8A.2.1 - valori di riferimento dei parametri meccanici per le diverse tipologie di muratura

Ai fini della definizione sismica di progetto, sarebbe necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante opportune analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica è possibile fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, come indicato nella Tabella 2.1.1\_4. Per il caso in esame si utilizzerà una categoria di sottosuolo B

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

*Tabella 2.1.1\_4 - Classi di sottosuolo*

Per le condizioni topografiche, invece si adotta la classificazione fornita dalla Tabella 2.1.1\_5. Nel caso in esame si utilizzerà una classe topografica T2

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

*Tabella 2.1.1\_5 - Classi topografiche*

### **2.1.2 Metodi di analisi secondo la normativa italiana: Analisi Statica non lineare**

Le NTC 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) hanno introdotto alcune importanti novità per quanto riguarda l'analisi statica non lineare (pushover). In una prima parte di questa trattazione si riporta la tecnica di calcolo prevista dalla precedente norma D.M. 14/01/2008 (NTC 2008).

I D.M. 14/01/2008 e 17/01/2018 consentono per il calcolo di edifici in muratura, sia metodi di tipo lineare (statica e dinamica) che metodi di tipo non lineare (statica e dinamica).

In particolare, anche se i metodi di analisi lineare sono di più facile applicazione, spesso è necessario tenere in adeguato conto delle capacità plastiche attraverso le analisi non lineari. L'analisi dinamica non lineare è molto complessa, sia dal punto di vista concettuale che computazionale, per cui conviene operare con quella statica non lineare (pushover). Su cui di seguito, si concentra l'attenzione. L'analisi statica non lineare si articola nelle seguenti fasi:

1. Individuazione delle parti resistenti della struttura muraria attraverso la definizione del telaio equivalente (maschi murari, fasce di piano e conci rigidi);
2. Valutazione della curva di capacità. Occorre determinare la curva del sistema reale (MDOF – sistema a più gradi di libertà);
3. Trasformazione del sistema a più gradi di libertà (MDOF) in quello ad un solo grado di libertà equivalente (SDOF) attraverso il coefficiente di partecipazione  $\Gamma$ ;
4. Valutazione del sistema bilineare equivalente di massa  $m^*$ , rigidezza  $k^*$  e periodo  $T^*$ ;
5. Valutazione della capacità di spostamento ( $u_{max}$ );
6. Valutazione della domanda di spostamento ( $d_{max}$ );
7. Confronto tra capacità di spostamento e domanda di spostamento.

L'esito della verifica si considera positivo quando è soddisfatta la seguente relazione:

$$u_{\max} \geq d_{\max}$$

In altre parole, in termini di coefficienti di sicurezza ( $s$ ), affinché l'esito della verifica sia positivo, deve essere soddisfatta la seguente disequazione, per tutte le combinazioni di carico effettuate:

$$s = \frac{u_{\max}}{d_{\max}} \geq 1$$

Oltre a quanto sopra detto, deve essere anche rispettata il seguente requisito e cioè il fattore di struttura  $q^*$  deve assumere un valore non maggiore di 3 (punto 7.8.1.6 del D.M 14/01/2008).

### **2.1.2.1 Definizione della curva di capacità del sistema reale**

Si valuta la curva di capacità del sistema reale (MDOF – sistema a più gradi di libertà). Nel piano contenente in ascissa lo spostamento  $d_c$  di un punto della struttura (detto punto di controllo) e in ordinata il tagliante alla base  $V_b$ . La curva si ottiene incrementando le forze orizzontali secondo determinate leggi, dette profili di carico. Partendo da carichi orizzontali nulli, si procede ad incrementare i suddetti carichi fino a raggiungere il collasso della struttura (il collasso si può verificare per il raggiungimento di un singolo elemento o per la formazione di un meccanismo di piano). Incrementando progressivamente i carichi orizzontali aumenta lo stato deformativo della costruzione (aumenta lo spostamento del punto di controllo ed il tagliante alla base). L'incremento dei carichi orizzontali non è indefinito, ma aumenta fino a quando non si verificano le condizioni di collasso. Tra l'inizio dell'incremento dei carichi orizzontali ed il collasso finale della struttura, diversi elementi strutturali

passano dalla fase elastica a quella plastica. Tale passaggio comporta la modifica del grado di vincolo del modello strutturale (per gli elementi plasticizzati, si passa dal vincolo incastro a quello cerniera). Per tale motivo, la curva di capacità assume andamento curvilineo (in assenza di plasticizzazioni, si otterrebbe un diagramma rettilineo).

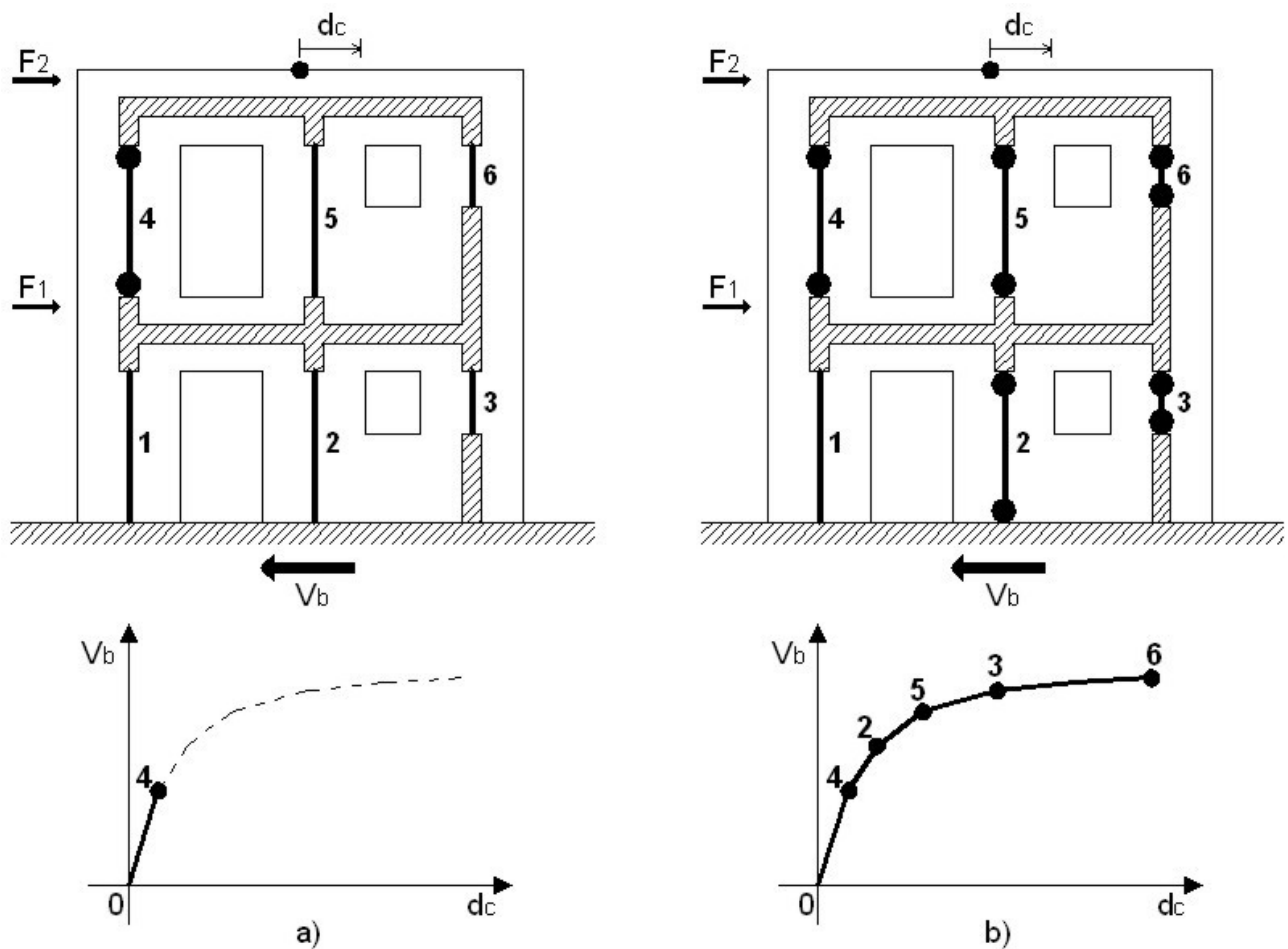


Figura 2.1.2.1\_1 - Definizione della curva di capacità

Nella fase iniziale dell'analisi, incrementando i carichi orizzontali (aumenta il taglio alla base  $V_b$ ), la struttura inizia a deformarsi (aumenta lo spostamento del punto di controllo " $d_c$ ") dando origine al primo ramo della curva di capacità. L'andamento di questo ramo iniziale è lineare in quanto tutti gli elementi sono

ancora in fase elastica. Nell'esempio riportato in figura 1 il primo elemento che si plasticizza è il "4". All'atto della plasticizzazione del suddetto elemento si è ricavato il ramo (0-4) della curva di capacità riportato nel grafico "a" (Figura 2.1.2.1\_1). A questo punto dell'analisi, lo schema statico della struttura subisce la prima variazione in quanto si formano le due cerniere plastiche agli estremi dell'elemento "4". Riducendosi il grado di vincolo, si riduce anche la rigidezza complessiva della struttura. Procedendo con ulteriori incrementi dei carichi orizzontali, i successivi rami della curva hanno pendenze minori per via della minore rigidezza (a parità di incrementi di forze la struttura è più deformabile). Si plasticizzano sempre nuovi elementi (nell'esempio si plasticizzano progressivamente gli elementi "2", "5", "3" e "6" come si vede dal grafico "b" di Figura 2.1.2.1\_1). Arriverà il punto in cui la struttura non è più in grado di resistere ad ulteriori incrementi di carico a causa del collasso di qualche elemento o perché labile (nell'esempio, essendosi plasticizzati tutti gli elementi del secondo livello, si ottiene un meccanismo di piano). A questo punto dell'analisi, si interrompe l'incremento dei carichi orizzontali e rimane determinata la curva di capacità della struttura nel grafico "b" (Figura 2.1.2.1\_1).

### **2.1.2.2 Definizione del sistema equivalente ad un solo grado di libertà**

Si approssima il sistema a più gradi di libertà (MDOF) in uno equivalente ad un solo grado di libertà (SDOF). Tale trasformazione avviene dividendo l'ascissa ( $d_c$ ) e l'ordinata ( $V_b$ ) della curva di capacità del sistema reale (ricavata nel paragrafo 2) per il fattore di partecipazione modale  $\Gamma$ :

$$d^* = \frac{d_c}{\Gamma}$$

$$F^* = \frac{V_b}{\Gamma}$$

il fattore di partecipazione modale  $\Gamma$  è dato dalla seguente:

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \Phi_i}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \Phi_i^2}$$

dove  $m_i$  è la massa dell' $i$ -esimo grado di libertà e  $\Phi_i$  è la  $i$ -esima componente del primo autovettore. Il coefficiente  $\Gamma$  assume generalmente un valore compreso tra 1 e 1.5. In Figura 2.1.2.2\_1 sono poste a confronto le due curve di capacità del sistema MDOF con quello SDOF.

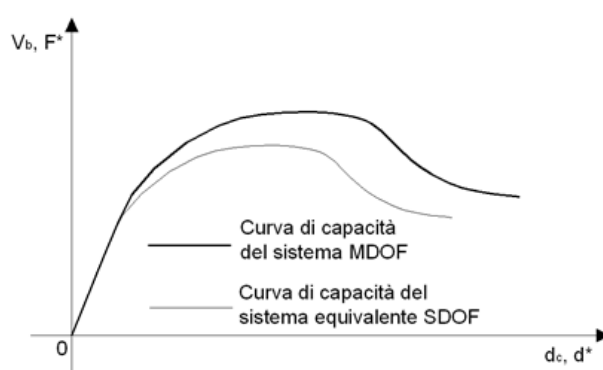


Figura 2.1.2.2\_1 – Curve di capacità relative al sistema a più gradi di libertà (MDOF) ed a quello equivalente ad un solo grado di libertà (SDOF)

### 2.1.2.3 Valutazione del sistema bilineare equivalente

La curva di capacità del sistema SDOF ricavata nel paragrafo precedente viene approssimata ad una bilatera costituita da un primo tratto lineare ed un secondo costante. Tale sistema è più comunemente denominato “*sistema bilineare equivalente*” (SBE) di massa  $m^*$ , di rigidità  $k^*$  e di periodo  $T^*$ .

Come si può osservare in Figura 2.1.2.3\_1, il tratto lineare del sistema equivalente va dall’origine al punto A corrispondente a  $0,7 \cdot F^*_{max}$ , dove  $F^*_{max}$  è la forza massima ottenuta dalla curva di capacità del sistema SDOF. Tale tratto lineare del sistema bilineare, è caratterizzato dalla rigidità ottenuta come:

$$k^* = \frac{0,7 \cdot F^*_{max}}{d_A^*}$$

dove  $d_A^*$  è lo spostamento in corrispondenza della suddetta intersezione (ascissa del punto A in figura). Il tratto costante del sistema bilineare equivalente (corrisponde alla forza massima  $F^*_y$ ), che si ottiene dall'uguaglianza delle aree: l'area al di sopra della curva di capacità deve essere uguale a quella al di sotto. Prendendo come riferimento la curva di Figura 2.1.2.3\_1, deve essere verificata la seguente relazione:

$$\text{Area 1} + \text{Area 3} = \text{Area 2} + \text{Area 4}$$

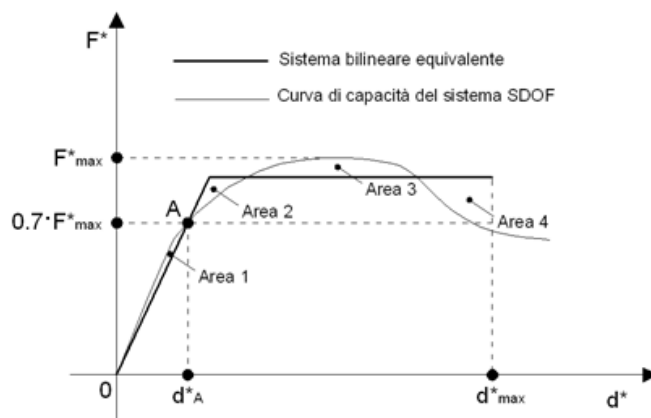


Figura 2.1.2.3\_1 – Sistema bilineare equivalente

La massa del sistema equivalente ( $m^*$ ) si ottiene dalla somma dei prodotti delle masse di ogni grado di libertà per le corrispondenti componenti dell'autovettore della prima forma modale della struttura:

$$m^* = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \Phi_i$$

Il periodo di vibrazione del sistema equivalente si ottiene dalla seguente relazione:



$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

### 2.1.2.4 Valutazione della capacità e della domanda di spostamento

Per poter effettuare la verifica occorre determinare la capacità di spostamento ( $u_{\max}$ ) e lo spostamento richiesto ( $d_{\max}$ ) della struttura (riferite al sistema MDOF). La capacità di spostamento si ottiene dalla curva di capacità della struttura. Secondo la normativa, per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), se la curva di capacità è sempre crescente, si assume come  $u_{\max}$  il massimo spostamento della curva (vedi “a” di Figura 2.1.2.4\_1). Se la curva presenta dei rami decrescenti (come in “b” di figura 2.1.2.4\_1), si assume come  $u_{\max}$  lo spostamento che riduce al massimo del 20% la forza massima ( $F_{\max}$ ) della curva di capacità.

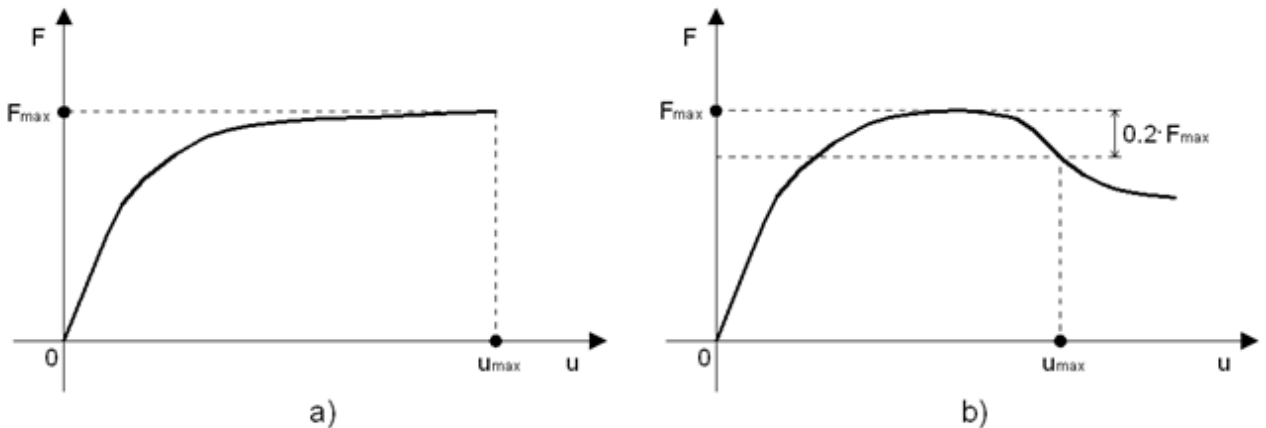


Figura 2.1.2.4\_1– Capacità di spostamento del sistema

La domanda di spostamento si ottiene dalla relazione:

$$d_{\max} = \Gamma \cdot d_{\max}^*$$

dove  $\Gamma$  rappresenta il fattore di partecipazione modale già definito precedentemente. La domanda di spostamento ( $d_{\max}^*$ ) del sistema ad un solo grado di libertà (SDOF) si ottiene dalle relazioni in funzione del periodo  $T^*$  del sistema equivalente e del periodo  $T_C$  che definisce lo spettro elastico.

$$d_{max}^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*) \quad se \ T^* \geq T_c$$

$$d_{max}^* = \frac{S_{De}(T^*)}{q^*} \left[ 1 + (q^* - 1) \cdot \frac{T_c}{T^*} \right] \quad se \ T^* < T_c$$

Il fattore di struttura  $q^*$  è dato dalla seguente relazione:

$$q^* = \frac{S_{De}(T^*)}{\frac{F_y^*}{m^*}}$$

L'esito della verifica si considera positivo quando la capacità di spostamento ( $u_{max}$ ) è maggiore della domanda di spostamento ( $d_{max}$ ). In altri termini, deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$u_{max} \geq d_{max}$$

Oltre a quanto già detto, affinché l'esito della verifica sia positivo, il fattore di struttura  $q^*$  deve assumere un valore non maggiore di 3 (punto 7.8.1.6 del D.M 14/01/2008). Per far diminuire il valore di  $q^*$  occorre far aumentare la resistenza del sistema bilineare equivalente ( $F_y^*$ ).

### 2.1.2.5 Combinazioni di carico

La curva di capacità di una struttura non è univoca, ma dipende dalla scelta del profilo di carico e dalla scelta del punto di controllo. Profili di carico diversi e punti di controllo diversi portano a risultati diversi. Per quanto appena detto, la curva di capacità deve essere valutata diverse volte. Per il punto 7.3.4.1 del D.M. 14/01/2008, i profili di carico (o distribuzioni di forze) devono essere almeno due, uno appartenente al Gruppo 1 (Distribuzioni principali) e l'altro appartenente al Gruppo 2 (Distribuzioni secondarie):

- distribuzione proporzionale alle forze statiche (Altezze) (Gruppo 1 – distribuzioni principali);
- distribuzione proporzionale alle masse (Masse) (Gruppo 2 – distribuzioni secondarie).

La struttura deve essere sottoposta alle azioni orizzontali agenti in direzione X e Y, con verso positivo e negativo e per due profili di carico diversi. In definitiva, occorre analizzare la struttura per almeno otto combinazioni di carico diverse (le combinazioni possono essere sedici se si tiene conto anche delle eccentricità accidentali).

Direzione del sisma	Profilo di carico	Verso azione sismica	Simbologia
X	Masse	+	XM P(+)
X	Masse	-	XM P(-)
X	Altezze	+	XA P(+)
X	Altezze	-	XA P(-)
Y	Masse	+	YM P(+)
Y	Masse	-	YM P(-)
Y	Altezze	+	YA P(+)
Y	Altezze	-	YA P(-)

Tabella 2.1.2.5\_1 - delle combinazioni di carico per l'analisi pushover secondo il D.M. 14/01/2008

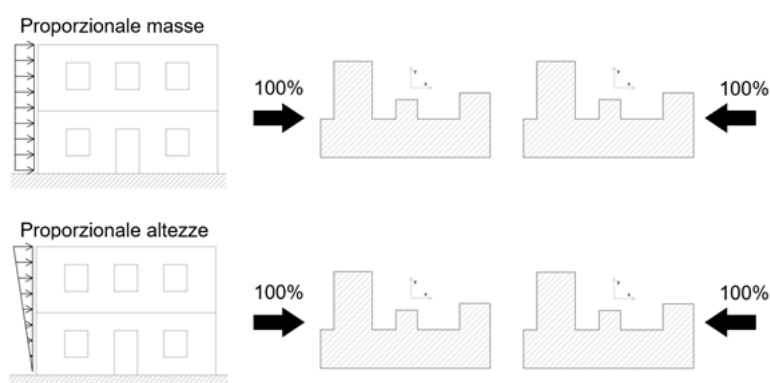


Figura 2.1.2.5\_1 – Combinazioni di carico in direzione X (D.M. 14/01/2008)

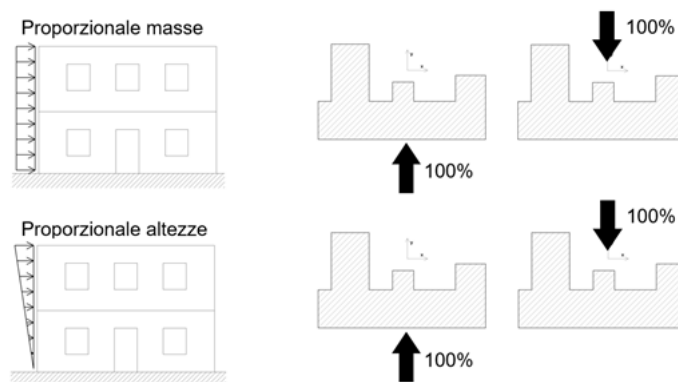


Figura 2.1.2.5\_2 – Combinazioni di carico in direzione Y (D.M. 14/01/2008)

### 2.1.2.6 Punto di controllo

Come accennato sopra, il punto di controllo è il punto della struttura scelto per la valutazione degli spostamenti in seguito all'incremento dei carichi orizzontali. In particolare il punto 7.3.4.1 del D.M. 14/01/2008 recita testualmente: L'analisi non lineare statica consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, ad ogni livello della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante (taglio alla base)  $F_b$ . Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale  $d_c$  di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Il diagramma  $F_b - d_c$  rappresenta la curva di capacità della struttura.

Secondo il precedente punto di normativa, occorre assumere come punto di controllo per valutare la curva di capacità il baricentro delle masse dell'ultimo livello (escludendo eventuali torrini).

### 2.1.2.7 Stati Limite da analizzare

Secondo il D.M. 14/01/2008 e la Circolare esplicativa 617/2009, è obbligatorio analizzare una struttura in muratura secondo gli stati limite SLV e SLD. La verifica SLO (Stato Limite di Operatività) si effettua solo per edifici di classe III e IV. Non è mai richiesta la verifica allo stato limite SLC. In particolare il punto C8.7.1.1 della Circolare 617/2009 recita testualmente (per costruzioni in muratura esistenti): La valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti in muratura richiede la verifica degli stati limite definiti al § 3.2.1 delle NTC, con le precisazioni riportate al § 8.3 delle NTC e nel seguito. In particolare si assume che il soddisfacimento della verifica allo Stato limite di salvaguardia della vita implichi anche il soddisfacimento della verifica dello Stato limite di collasso.

La verifica allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) si effettua valutando opportunamente l'azione sismica di progetto secondo le indicazioni riportate nel capitolo 3 del D.M. e tenendo conto degli spostamenti ultimi dei maschi murari, sotto indicati, nella valutazione della curva di capacità:

$0.004 \cdot h$  (rottura per taglio)

$0.008 \cdot h$  (rottura per pressoflessione per elementi di nuova costruzione)

$0.006 \cdot h$  (rottura per pressoflessione per elementi esistenti)

dove  $h$  è l'altezza dell'elemento.

La verifica allo stato limite di danno (SLD) si effettua valutando opportunamente l'azione sismica di progetto secondo le indicazioni riportate nel capitolo 3 del citato D.M. e tenendo conto del seguente spostamento ultimo degli elementi:

$0.003 \cdot h$  (rottura per taglio)

### 2.1.2.8 Novità introdotte dal D.M. 17/01/2018

Il D.M. introduce nel punto 7.3.5 un'importante novità relativa alle combinazioni di carico. Si riporta testualmente di seguito:

*ANALISI DINAMICA O STATICA, LINEARE O NON LINEARE*

*La risposta è calcolata unitariamente per le tre componenti, applicando l'espressione:*

$$1.00 \cdot E_x + 0.30 \cdot E_y + 0.30 \cdot E_z$$

Il testo della normativa include nella precedente combinazione delle azioni sismiche anche le strutture analizzate con metodi non lineari. A differenza del D.M. 14/01/2008, l'azione sismica deve essere considerata in contemporanea nelle due direzioni. Nella direzione principale deve essere considerata al 100%, mentre nella direzione secondaria deve essere considerata al 30%.

Per quanto sopra detto, la curva di capacità deve essere valutata per:

- Direzione X ed Y;
- Sisma nella direzione principale (100%) positivo e negativo;
- Sisma nella direzione secondaria (30%) positivo e negativo;
- Profili di carico:
  - proporzionale alle forze statiche (Altezze) (Gruppo 1 – distribuzioni principali);
  - proporzionale alle masse (Masse) (Gruppo 2 – distribuzioni secondarie).

Dalle considerazioni fatte sopra, occorre tenere conto di due profili di carico, dell'incremento delle azioni sismiche nella direzione primaria con verso positivo e negativo, dell'incremento delle azioni sismiche nella direzione secondaria con verso positivo e negativo e dell'incremento delle azioni sismiche secondo le due direzioni principali della costruzione. Alla luce di quanto detto, le combinazioni minime per la struttura sono sedici (otto in

direzione X ed otto in direzione Y). Nella tabella 2.1.2.8\_1 si riportano le combinazioni di azioni orizzontali minime previste.

Direzione del sisma	Profilo di carico	Verso azione sismica direzione principale	Verso azione sismica direzione secondaria	Simbologia
X	Masse	+	+	XM P(+) S(+)
X	Masse	+	-	XM P(+) S(-)
X	Masse	-	+	XM P(-) S(+)
X	Masse	-	-	XM P(-) S(-)
X	Altezze	+	+	XA P(+) S(+)
X	Altezze	+	-	XA P(+) S(-)
X	Altezze	-	+	XA P(-) S(+)
X	Altezze	-	-	XA P(-) S(-)
Y	Masse	+	+	YM P(+) S(+)
Y	Masse	+	-	YM P(+) S(-)
Y	Masse	-	+	YM P(-) S(+)
Y	Masse	-	-	YM P(-) S(-)
Y	Altezze	+	+	YA P(+) S(+)
Y	Altezze	+	-	YA P(+) S(-)
Y	Altezze	-	+	YA P(-) S(+)
Y	Altezze	-	-	YA P(-) S(-)

*Tabella 2.1.2.8\_1 - Combinazioni di carico per l'analisi pushover secondo il D.M.  
17/01/2018*

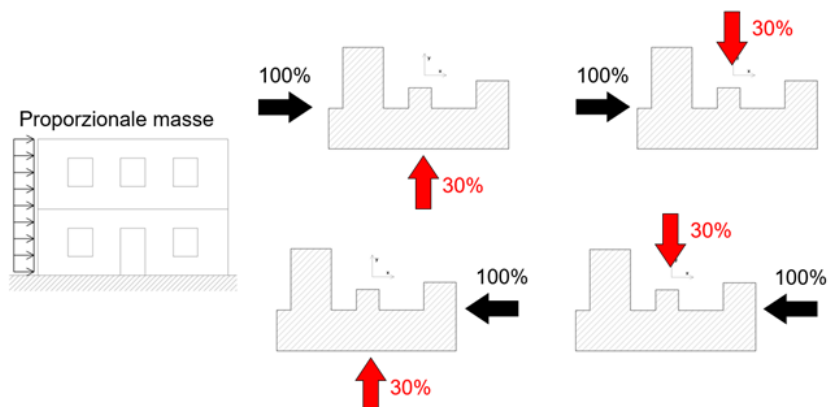


Figura 2.1.2.8\_1 – Combinazione di carico con forza sismica principale in direzione X e per profilo di carico proporzionale alle masse (D.M. 17/01/2018)

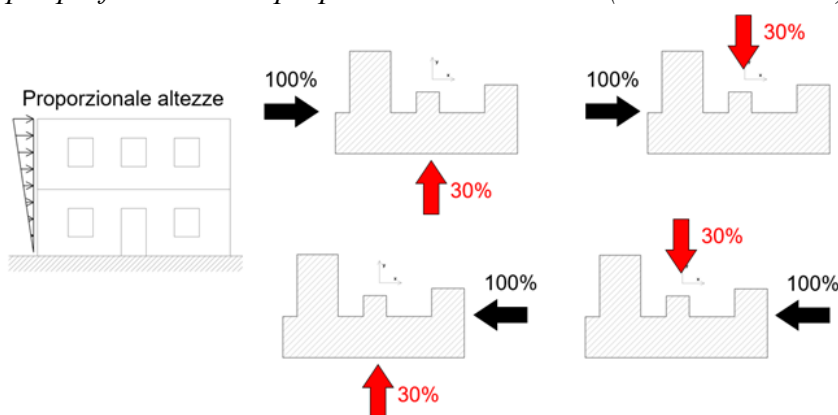


Figura 2.1.2.8\_2 – Combinazione di carico con forza sismica principale in direzione X e per profilo di carico proporzionale alle altezze (D.M. 17/01/2018)

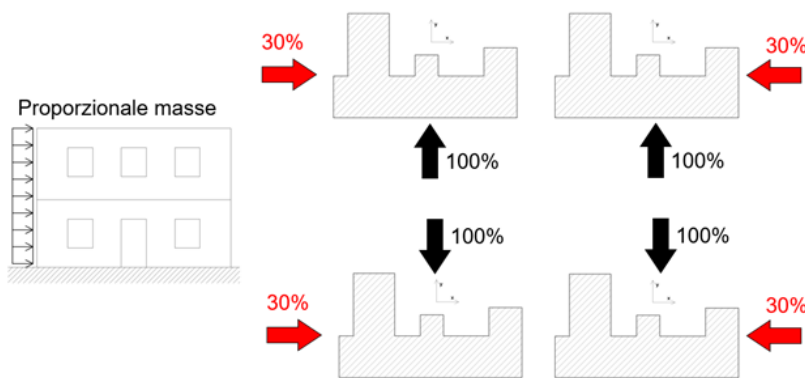


Figura 2.1.2.8\_3 – Combinazione di carico con forza sismica principale in direzione Y e per profilo di carico proporzionale alle masse (D.M. 17/01/2018)



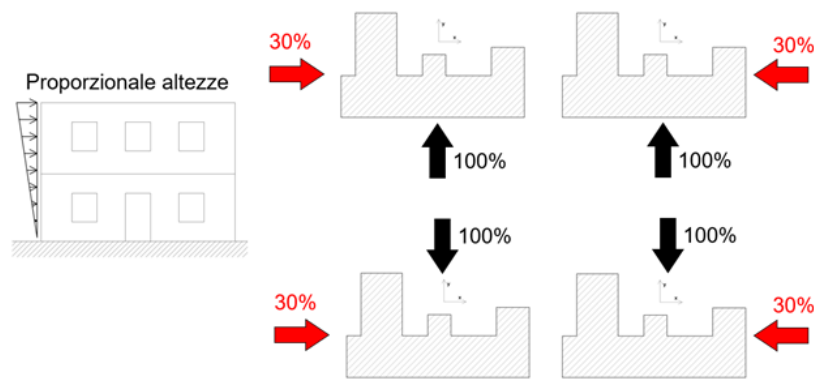


Figura 2.1.2.8\_4 – Combinazione di carico con forza sismica principale in direzione Y e per profilo di carico proporzionale alle altezze (D.M. 17/01/2018)

Come si vede dalle figure (2.1.2.8\_1, 2.1.2.8\_2, 2.1.2.8\_3, 2.1.2.8\_4), oltre alla forza al 100% nella direzione principale, occorre tenere in conto anche di una forza orizzontale nella direzione ortogonale a quella principale considerata al 30%. Come è facilmente intuitivo, il fatto che oltre alla forza applicata nella direzione principale al 100% ne agisca una nella direzione secondaria al 30%, comporta che la forza massima che la struttura riesce a sopportare prima del collasso nella direzione principale sarà sicuramente minore. A dimostrazione di quanto detto, si prenda in considerazione la semplicissima struttura riportata in Figura 2.1.2.8\_5, costituita da quattro maschi murari in direzione X e due in direzione Y. Si ipotizzano gli elementi con resistenza solo nel piano (si trascura quella fuori piano).

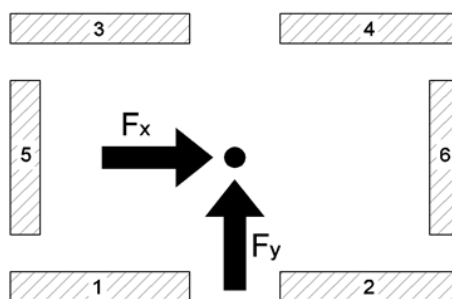
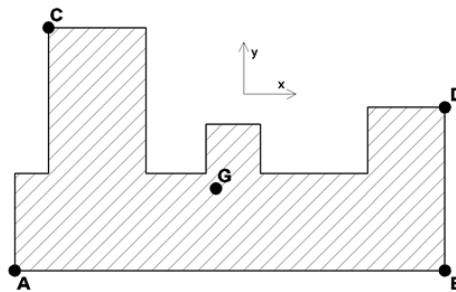


Figura 2.1.2.8\_5 – Esempio di struttura costituita da 4 maschi murari

Se la struttura è sottoposta solo alla forza orizzontale in direzione X, i quattro maschi murari (1, 2, 3 e 4 in Figura 1.3.11) nella medesima direzione collassano per una forza orizzontale pari ad  $F_x$ . I due maschi murari (5 e 6 in Figura 2.1.2.8\_5) in direzione Y saranno poco sollecitati per la mancanza di azioni

orizzontali nella medesima direzione. Se la struttura è sottoposta in contemporanea ad azioni orizzontali in entrambe le direzioni, anche gli elementi 5 e 6 in direzione Y saranno sollecitati. Nulla esclude che il collasso degli elementi 5 e 6, provocato dalla forza orizzontale  $F_y$  si manifesti prima che la forza orizzontale  $F_{x,i}$  raggiunga il valore limite  $F_x$  raggiunto in assenza della forza  $F_y$ . In definitiva si ottiene che la struttura raggiunga il collasso per  $F_{x,i} < F_x$ . In termini di analisi pushover è come dire che la curva di capacità raggiunge un tagliante alla base massimo  $V_b$  minore del caso in cui si considera la forza orizzontale in una sola direzione. Questo ed altri fattori (come per esempio verificare gli elementi strutturali considerando contemporaneamente le azioni orizzontali in entrambe le direzioni) contribuiscono a rendere più restrittiva l'analisi. Nel D.M. 14/01/2008 era sufficiente analizzare la struttura scegliendo come punto di controllo solo il baricentro delle masse dell'ultimo impalcato. Nel punto 7.3.4.2 del D.M. 17/01/2018 introduce una importante novità sulla scelta del suddetto punto. Si riporta testualmente quanto riportato nel suddetto punto di normativa: *L'analisi non lineare statica richiede che al sistema strutturale reale sia associato un sistema strutturale equivalente non lineare. Nel caso in cui il sistema equivalente sia ad un grado di libertà, a detto sistema strutturale equivalente si applicano i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, in corrispondenza degli orizzontamenti della costruzione, forze orizzontali proporzionali alla forza d'inerzia aventi risultante (taglio alla base)  $F_b$ . Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale  $d_c$  di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione (sono esclusi eventuali torrini). Vanno considerati anche punti di controllo alternativi, come le estremità della pianta dell'ultimo livello, quando sia significativo l'accoppiamento di traslazioni e rotazioni.*

Nella parte finale del testo sopra riportato, si aggiunge che occorre considerare punti di controllo alternativi al baricentro delle masse quando sia significativo l'accoppiamento tra traslazioni e rotazioni, in altri termini, quando l'edificio non è regolare in pianta. Per esempio, se si vuole analizzare la struttura con pianta riportata in Figura 2.1.2.8\_6, poiché molto probabilmente non ha la caratteristica di essere regolare in pianta, occorre considerare come punto di controllo, oltre al baricentro delle masse G, anche gli estremi (punti A, B, C e D in figura).



*Figura 2.1.2.8\_6 – Esempio di definizione punto di controllo pianta non regolare*

Nella tabella seguente si riporta il numero di combinazioni che occorre analizzare secondo il D.M. 17/01/2018 per edifici non regolari in pianta. Per gli edifici non regolari in pianta sono richiesti 80 combinazioni di carico.

<b>Punto di controllo</b>	<b>Profilo di carico</b>
G	16
A	16
B	16
C	16
D	16
<b>Totale</b>	<b>80</b>

*Tabella 2.1.2.8\_2- Numero di combinazioni (secondo il D.M. 17/01/2018)*

Il fattore di comportamento dipende dall'accelerazione spettrale valutata per il periodo  $T^*$  e dalla resistenza del sistema bilineare equivalente ( $F^*_y$ ). Come è stato evidenziato, secondo il D.M. 14/01/2008 il valore massimo di  $q^*$  era posto pari a 3. Per valori maggiori l'esito della verifica era da ritenersi non superato.

Secondo il D.M. 17/01/2018 il valore massimo è stato portato a 4. Si riporta sotto il testo del punto 7.8.1.6 del suddetto D.M.: *In ogni caso, sia per le costruzioni in muratura ordinaria sia per le costruzioni in muratura armata senza progettazione in capacità, la verifica di sicurezza non è soddisfatta qualora il rapporto tra taglio totale agente alla base del sistema equivalente a un grado di libertà, calcolato con lo spettro di risposta elastico, e taglio alla base resistente del sistema equivalente a un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare, ecceda il valore 4.0.*

Il periodo  $T^*$  è generalmente compreso tra  $T_B$  e  $T_C$  (periodi che comprendono le ordinate più alte dello spettro di risposta  $S_e$ ) per cui il numeratore della si mantiene costante. Il denominatore dipende dalla resistenza del sistema bilineare equivalente ( $F_y^*$ ). Poiché il valore massimo ammesso per  $q^*$  passa dal valore 3 al valore 4, implica che verificano strutture con  $F_y^*$  minore e quindi meno resistenti. Questa prescrizione è più permissiva rispetto a quella del D.M. 14/01/2008.

Secondo il punto 7.3.6 del D.M. 17/01/2018 occorre effettuare le verifiche riportate in Tabella 2.1.2.8\_3.

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM
SLE	SLO					RIG		
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT			DUT		

Tabella 2.1.2.8\_3 - Stati Limite da analizzare

Per lo stato limite SLD la verifica deve essere effettuata per le classi d'uso I e II in termini di rigidità (RIG) e per le classi d'uso III e IV la verifica deve essere effettuata in termini di resistenza (RES).

La verifica si effettua valutando la curva di capacità controllando gli spostamenti d'interpiano. Per gli edifici in muratura, il massimo spostamento consentito per SLD è (punto 7.3.6.1 del D.M. 17/01/2018):

- $0.002 \cdot h$

Per lo stato limite SLO la verifica deve essere effettuata per le classi d'uso III e IV in termini di rigidezza (RIG) ed il massimo spostamento consentito si assume pari a  $\frac{2}{3}$  quello consentito per SLD

Per quanto riguarda lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), la verifica si effettua in termini di resistenza. La curva di capacità si valuta tenendo conto degli spostamenti ultimi riportati nel paragrafo (il D.M. 17/01/2018 non ne parla esplicitamente per cui si assumono quelli previsti dal D.M. 14/01/2008).

## **2.1.3 Sisma Bonus**

### **2.1.3.1 Introduzione Normativa del Sisma Bonus**

Con l'approvazione della Legge di Bilancio 2017, ratificata il 21 dicembre 2016, viene avviata una campagna volta al miglioramento sismico delle strutture esistenti.

Si tratta del cosiddetto "Sisma Bonus", un'opportunità per stimolare un piano volontario per la valutazione e prevenzione del rischio sismico degli edifici.

Difatti, i numerosi eventi sismici che si sono verificati negli ultimi decenni hanno comportato per la collettività enormi costi sociali in termini di vittime e di incidenza sulla vita delle comunità e costi economici sostenuti per l'emergenza e la ricostruzione.

Negli ultimi 50 anni si valutano:

- circa 5.000 vittime
- spesa annua media di circa tre miliardi di euro per emergenza e ricostruzione.

Ciò è dovuto fondamentalmente, oltre alla sismicità tipica del Paese, alla elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio.

Il Sisma Bonus fa riferimento Decreto Ministeriale 58 del 28 febbraio 2017. Le novità apportate dal decreto sono tante e mirano a promuovere la prevenzione sismica attraverso numerose facilitazioni, tra cui:

- L'estensione alle zone sismiche 1,2 e 3 e quindi un netto ampliamento delle zone interessate, che nella normativa precedente erano limitate alle zone 1 e 2;
- Le detrazioni in 5 anni e quindi un ritorno economico certamente più conveniente rispetto ai 10 anni previsti in precedenza;
- L'importo massimo pari a 96.000€, con possibilità di cessione del credito che consente di poter usufruire dei finanziamenti anche per chi non ha capienza fiscale.

Per poter accedere al Beneficio Fiscale, il proprietario dell'immobile dovrà indicare un professionista (ingegnere, architetto o geometra, nei limiti delle proprie competenze) per la valutazione della classe di rischio e la predisposizione del progetto.

### 2.1.3.2 La procedura per l'applicazione del Sisma Bonus

Lo schema che riporta i passaggi per soddisfare le richieste del Decreto Ministeriale 65 del 7 marzo 2017

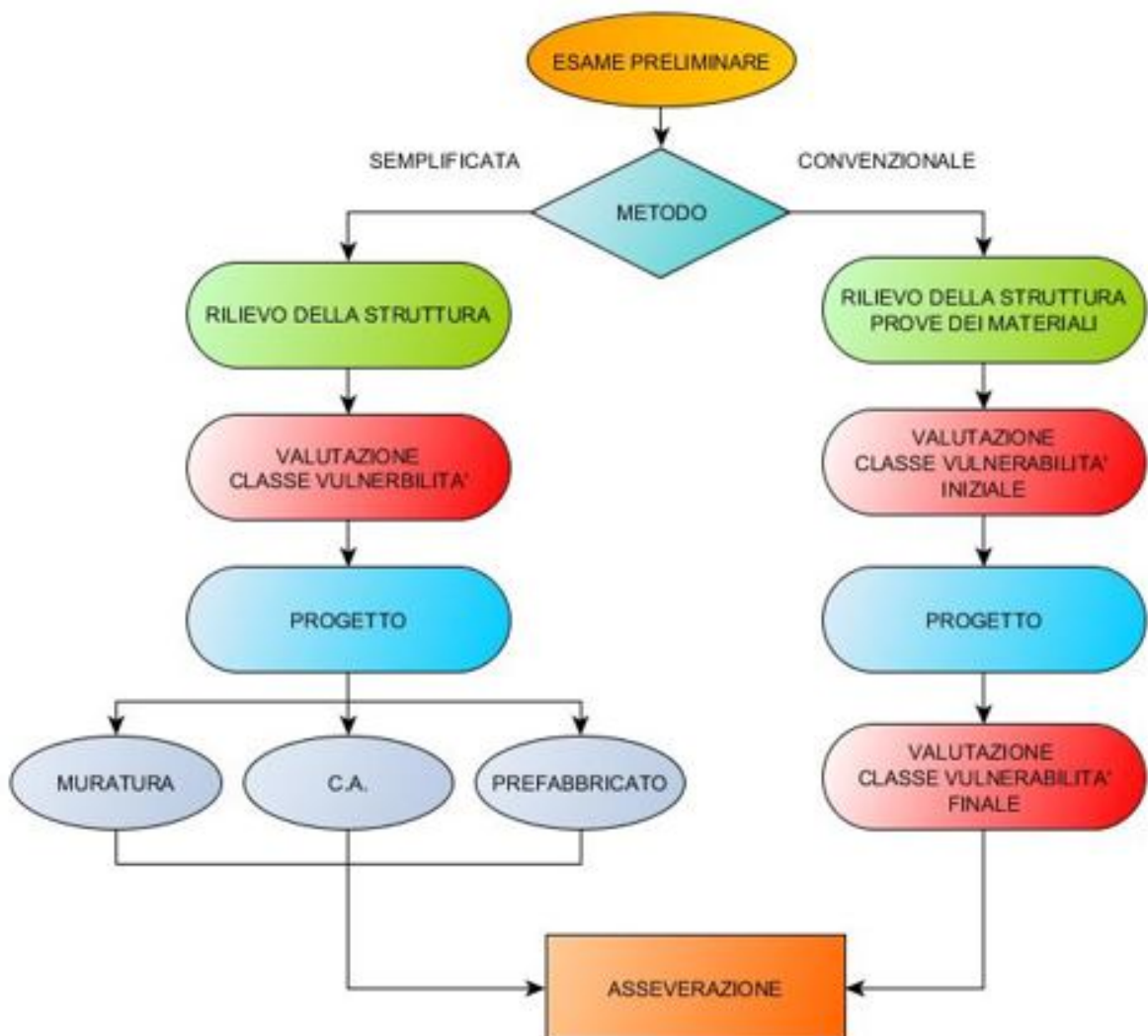
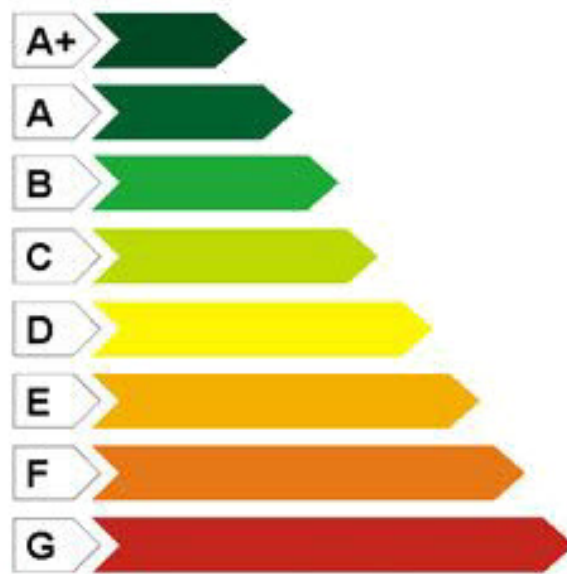


Figura 2.1.3.2\_1 – Schema per l'applicazione del Sisma Bonus

Per ottenere il finanziamento è necessario che gli interventi sulle strutture migliorino la risposta sismica della struttura stessa, certificata dal progettista attraverso la procedura illustrata.

È necessario valutare la classe di rischio prima e dopo l'esecuzione delle opere di miglioramento, che saranno riportate nel progetto.

La classe di rischio può essere valutata in modo semplificato, adottando una procedura speditiva proposta dalle Linee Guida del Decreto Ministeriale, o in modo convenzionale, cioè adottando i criteri previsti nel Capitolo 8 delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Le Linee Guida consentono di attribuire ad un edificio una specifica **Classe di Rischio Sismico, da A+ a G**, mediante un unico parametro che tenga conto sia della sicurezza sia degli aspetti economici.



*Figura 2.1.3.2\_2 – Classi di Rischio sismico*

Le Linee Guida forniscono indirizzi di massima sulla progettazione e associano ai livelli di sicurezza un costo convenzionale in base ai dati del monitoraggio della ricostruzione a seguito del terremoto del 2009 in Abruzzo.

La scelta del tipo di tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende da un corretto approccio diagnostico, una progettazione mirata ed un'esecuzione competente ed efficace.



A livello operativo, per poter accedere ai benefici fiscali previsti occorre seguire un iter che può essere sintetizzato in questo modo:

1. il proprietario che intende accedere al beneficio, incarica un professionista della valutazione della classe di rischio e della predisposizione del progetto di intervento;
2. il professionista incaricato può quindi procedere alla valutazione seguendo due approcci diversi e tra loro alternativi, cioè il metodo convenzionale e il metodo semplificato
3. il professionista progetta l'intervento di riduzione del rischio sismico e determina la classe di rischio della costruzione a seguito del completamento dell'intervento. Per i capannoni industriali e gli edifici in calcestruzzo armato con telai bidirezionali, si può ritenere valido il passaggio alla classe di rischio immediatamente superiore, senza la preventiva attribuzione della classe di rischio, se sono soddisfatte le prescrizioni volte a eliminare le carenze o a prevenire l'instaurarsi di meccanismi locali o a rafforzare localmente gli elementi strutturali (come descritto al punto 3.2 delle Linee Guida).
4. il professionista assevera (Allegato B alle Linee Guida) i valori delle classi di rischio e l'efficacia dell'intervento utilizzando lo stesso metodo adottato all'inizio per la valutazione iniziale della classe di rischio. Sono esclusi dalla valutazione post intervento gli edifici ricadenti nei casi previsti dal punto 3, dove non è richiesta la preventiva determinazione della classe di rischio;
5. il proprietario può procedere ai primi pagamenti delle fatture ricevute;
6. il beneficiario della detrazione può cedere il credito d'imposta secondo le procedure indicate dall'Agenzia delle Entrate con i provvedimenti dell'8 giugno 2017, n. 108572 e n. 108577;
7. il direttore dei lavori e il collaudatore statico attestano al termine dell'intervento la conformità come da progetto.

### 2.1.3.3 Attribuzione della classe di rischio

L'attribuzione della Classe di Rischio può avvenire, come detto, attraverso uno dei due metodi, convenzionale e semplificato, secondo 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).

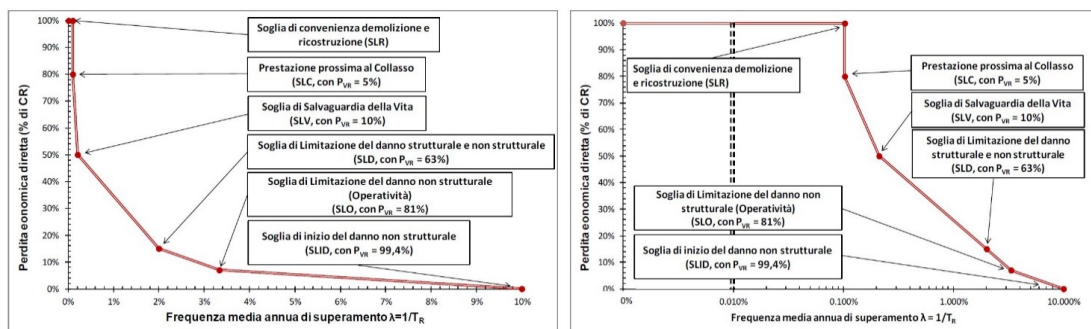


Figura 2.1.3.3\_1 – Andamento della curva che individua il PAM, riferito a una costruzione con vita nominale 50 anni e appartenente alla classe d'uso II. Nell'immagine a destra, per meglio individuare i punti prossimi all'asse delle ordinate, le ascisse sono in scala logaritmica.

### 2.1.3.4 Metodo convenzionale

Il metodo convenzionale assegna alla costruzione in esame una Classe di Rischio in funzione del parametro economico PAM e dell'indice di sicurezza

della struttura IS-V. Per il calcolo di tali parametri (entrambi sono grandezze adimensionali, nel seguito espresse in %) è necessario calcolare, facendo riferimento al sito in cui sorge la costruzione in esame, le accelerazioni di picco al suolo per le quali si raggiungono gli stati limite SLO, SLD, SLV e SLC, utilizzando le usuali verifiche di sicurezza agli stati limite previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni. Il Sisma Bonus è dunque applicabile a tutti i tipi di costruzione previsti dalle suddette Norme Tecniche.

Al fine della assegnazione della Classe di Rischio, è necessario valutare preliminarmente la Classe PAM e la Classe IS-V in cui ricade la costruzione in esame. I valori di riferimento per la definizione delle Classi PAM sono riportati in Tabella 2.1.3.4\_1









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

Tabella 2.1.3.4\_1 – Attribuzione della Classe di Rischio PAM in funzione dell'entità delle Perdite medie annue attese

A titolo indicativo, una costruzione con periodo di riferimento  $V_R$  pari a 50 anni, le cui prestazioni siano puntualmente pari ai minimi di quelle richieste dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni per un edificio di nuova costruzione (e dunque che raggiunge i diversi stati limite esattamente per i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica previsti dalle norme) ha un valore di PAM che la colloca in Classe PAM B (il valore di PAM è, in questo caso, pari a 1,13%). Un'analoga costruzione, ma con periodo di riferimento  $V_R$  pari a 75 anni o a 100 anni ha un valore di PAM che la colloca al limite della Classe PAM A (il valore di PAM è, in questo caso, pari a 0,87% per  $V_R = 75$

anni e pari a 0,74% per  $V_R = 100$  anni). Convenzionalmente, ai fini dell'applicazione delle Linee Guida, è possibile considerare periodi di ritorno dell'azione sismica inferiori a 30 anni, scalando proporzionalmente le ordinate dello spettro associato al periodo di ritorno di 30 anni. Tale procedura non si applica per periodi di ritorno inferiori a 10 anni. 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 2.1.3.4\_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 2.1.3.4\_2 – Attribuzione della Classe di Rischio IS-V in funzione dell'entità dell'Indice di Sicurezza

A titolo indicativo, una costruzione la cui capacità, in termini di accelerazione di picco al suolo associata allo SLV pari a quella richiesta dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni per un edificio di nuova costruzione e caratterizzato dalla medesima vita nominale e classe d'uso, ha un valore di IS-V che lo colloca in Classe IS-V A.

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

- 1) si effettua l'analisi della struttura e si determinano i valori delle accelerazioni al suolo di capacità,  $PGA_C(SL_i)$ , che inducono il raggiungimento degli stati limite indicati dalla norma (SLC, SLV, SLD, SLO). È possibile, in via semplificata, effettuare le verifiche

limitatamente allo SLV (stato limite per la salvaguardia della vita) ed allo SLD (stato limite di danno);

- 2) note le accelerazioni al suolo,  $PGA_C$ , che producono il raggiungimento degli stati limite sopra detti, si determinano i corrispondenti periodi di ritorno,  $T_{rC}$ , associati ai terremoti che generano tali accelerazioni. In assenza di più specifiche valutazioni, il passaggio dalle  $PGA_C$  ai valori del periodo di ritorno possono essere eseguiti utilizzando la seguente relazione:

$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C / PG_D)^\eta$$

con  $\eta = 1/0,41$ ;

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

limite si manifesti in corrispondenza di un evento sismico il cui periodo di ritorno è pari a quello dello Stato Limite dei Collasso (SLC);

- 6) Per ciascuno degli stati limite considerati si associa al corrispondente valore di  $\lambda$  il valore della percentuale di costo di ricostruzione secondo la seguente tabella 2.1.3.4\_3:

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

*Tabella 2.1.3.4\_3 – Percentuale del costo di ricostruzione (CR), associata al raggiungimento di ciascuno stato limite*

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

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

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

11) si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V.

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

#### **2.1.3.5 Metodo semplificato**

Il secondo metodo concepito dalla normativa “Sisma Bonus”, è quello del metodo semplificato. Tale metodo consente di valutare in modo rapido la classe di rischio per le strutture in muratura o addirittura per la previsione di lavori di consolidamento.

Questo metodo è da ritenersi in ogni caso attendibile, ma non sempre coerente con la valutazione ottenuta con il metodo convenzionale. Per questo motivo, laddove si preveda l’esecuzione di interventi volti alla riduzione del rischio, riferendosi alla relativa Classe pre e post intervento, ovvero allo “stato di fatto” e allo “stato di progetto”, è necessario effettuare un metodo che abbia le stesse modalità di analisi e verifica, consentite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. Il metodo semplificato considera una classificazione macrosismica dell’edificio, perché può essere utilizzato sia per una valutazione preliminare indicativa, sia per valutare la classe di rischio in base all’adozione di interventi di tipo locale. Bisogna evidenziare che questo metodo è:

- Applicabile solo per murature per interventi di tipo locale;
- Utile per la valutazione preliminare indicativa;
- Consente l’aumento di una sola classe;
- È basato sulla scala macrosismica europea (ESM-98) mediante attribuzione di tipologia di struttura.

Applicando il metodo, la normativa prevede l'aumento di una sola classe e quindi un contributo finanziario minore rispetto al metodo convenzionale. Dalle caratteristiche di costruzione viene indicato la Classe di Rischio di appartenenza, che parte dalla classe di vulnerabilità definita dalla Scala Macrosismica Europea (EMS).

La classificazione degli eventi sismici degli effetti prodotti sulle strutture si basa sulla Scala EMS 98, simile alla scala Mercalli; ma nella versione originale esiste anche una classificazione per altri tipologie di strutture, oltre alla muratura, che non sono state previste dalle linee guida.

Tramite il metodo semplificato la valutazione della classe di vulnerabilità si divide in due fasi:

- La determinazione della tipologia strutturale che descrive la costruzione in esame e della classe di vulnerabilità media associata, come riportato nella tabella seguente;

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

Tabella 2.1.3.5\_1 – Classe di vulnerabilità per tipologia muraria

- 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. La pericolosità del sito, dove è collocato l'edificio, corrisponde a una classe di rischio individuata attraverso la zona sismica di appartenenza dall'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003.



(Come distinzione dal metodo convenzionale, nel metodo semplificato le classi di rischio ottenute sono indicate da un asterisco).

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 2.1.3.5\_2 – Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato*

Per la determinazione della classe di vulnerabilità media e per la valutazione dell'eventuale scostamento, viene riportata in seguito la Tabella 2.1.3.5\_3:

TIPOLOGIA STRUTTURALE INERTI / MAGLIA MURARIA	PECULIARITÀ CARATTERISTICHE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE		CLASSE MEDIA DI VULNERABILITÀ GLOBALE	POSSIBILI MECCANISMI LOCALI	PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE	PAS- SAGGIO DI CLASSE
	PECULIARITÀ CARATTERISTICHE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE					
MURATURA	pietra grezza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legante di cattiva qualità e/o assente</li> <li>• Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> <li>• Orizzontamenti di legno o di mattoni ma comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> <li>• Eventuale presenza di telai di legno</li> </ul>	V <sub>6</sub>			
	mattoni di terra cruda (adobe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature).</li> <li>• Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> <li>• Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidità nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>6</sub>			
	pietra sbazzata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>5</sub>	Ribaltonamento delle pareti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scarsa qualità costruttiva</li> <li>• Elevato degrado e/o danneggiamento</li> <li>• Spinte orizzontali non contrastate</li> <li>• Pannelli murari male ammassati tra loro</li> <li>• Orizzontamenti male ammassati alle pareti</li> <li>• Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni</li> </ul>	da V <sub>5</sub> a V <sub>6</sub>
	mattoni o pietra lavorata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidità nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>5</sub>	Meccanismi parziali o di piano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura</li> <li>• Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>5</sub>
	pietra massiccia per costruzioni monumentali	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orizzontamenti a volta o di legno caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio</li> </ul>	V <sub>4</sub>	Ribaltonamento delle pareti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scarsa qualità costruttiva</li> <li>• Elevato degrado e/o danneggiamento</li> <li>• Pannelli murari male ammassati tra loro</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>5</sub>
	mattoni + solai d'elevata rigidità nel proprio piano medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funzionamento scolare della costruzione</li> <li>• Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio ben collegati alla muratura</li> </ul>	V <sub>4</sub>	Meccanismi parziali o di piano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pannelli murari a doppio strato con camera d'aria</li> <li>• Assenza totale o parziale di cordoli</li> <li>• Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni</li> <li>• Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura</li> <li>• Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>5</sub>
armata e/o confinata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevata qualità delle murature, rinforzata da reti o barre di acciaio, e/o realizzata tra travi e colonne che la racchiudono in corrispondenza di tutti e quattro i lati</li> <li>• Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidità nel proprio piano medio</li> </ul>	V <sub>3</sub>	Meccanismi dovuti, ad esempio, ad un'errata disposizione degli elementi non strutturali che possono ridurre la duttilità globale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scarsa qualità costruttiva</li> <li>• Elevato degrado o danneggiamento</li> <li>• Elevata irregolarità in pianta e/o in altezza</li> <li>• Presenza numerosa di elementi non-strutturali che modificano negativamente il comportamento locale e/o globale</li> <li>• Aperture di elevanti dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni</li> <li>• Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza</li> </ul>	da V <sub>3</sub> a V <sub>4</sub>	

Tabella 2.1.3.5\_3 – Valutazione classe di vulnerabilità

### **2.1.3.6 Interventi e relativo passaggio di classe di rischio**

Una volta assegnata la classe di rischio all'edificio mediante metodo semplificato, è possibile ritenere valido il passaggio alla classe di rischio immediatamente successiva solo quando sono soddisfatte alcune condizioni, ad esempio l'entità degli interventi deve essere tale da non produrre sostanziali modifiche al comportamento della struttura nel suo insieme, classificandoli come interventi locali.

Nelle seguenti tabelle sono riportate per le sette tipologie di edifici in muratura, rispettivamente gli interventi di rafforzamento locale e le finalità dell'intervento, in modo da ottenere il range della classe di vulnerabilità corrispondente al caso.

TIPOLOGIA STRUTTURALE INERTI/MAGLIA MURARIA		INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE	FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITA'
		<b>Non applicabili</b> (non sono rispettate le condizioni del §3.2)		V <sub>6</sub>
pietra grezza		<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate</li> <li>• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> <li>• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti</li> </ul> <p>INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento d'insieme "regolare" e "scatolare"<sup>(10)</sup></li> <li>• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	da V <sub>6</sub> a V <sub>5</sub>
mattoni di terra cruda (adobe)				
pietra sbazzata		<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate</li> <li>• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> <li>• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti</li> </ul> <p>INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare"<sup>(10)</sup></li> <li>• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	da V <sub>5</sub> a V <sub>4</sub>
pietra massiccia per costruzioni monumentali				
		<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Messa in sicurezza di elementi non strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare"<sup>(10)</sup></li> <li>• Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>3</sub>
mattoni o pietra lavorata		<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino dei danni o delle zone degradate</li> <li>• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate</li> <li>• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> <li>• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti</li> </ul> <p>INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento d'insieme regolare e "scatolare"<sup>(10)</sup></li> <li>• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	da V <sub>6</sub> a V <sub>5</sub>

Tabella 2.1.3.6\_1 – Interventi di rafforzamento

TIPOLOGIA STRUTTURALE	INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE		FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITA'
	INERTI/MAGLIA MURARIA			
MURATURA	mattoni o pietra lavorata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Messa in sicurezza di elementi non strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento "regolare" e "scatolare"<sup>(9)</sup></li> <li>• Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>3</sub>
	mattoni + solai di elevata rigidità nel proprio piano	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Eliminazione delle spinte a vuoto</li> <li>• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> <li>• Stabilizzazione del paramento interno dei pannelli murari con camera d'aria</li> </ul> INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento "regolare" e "scatolare"<sup>(10)</sup></li> <li>• Garantire un'adeguata ridistribuzione dell'azione orizzontale tra i pannelli murari</li> <li>• Posticipare i meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	da V <sub>5</sub> a V <sub>4</sub>
		ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Messa in sicurezza di elementi non strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento regolare della struttura.<sup>(10)</sup></li> <li>• Minimizzare il danno agli elementi non strutturali</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>3</sub>
		ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> </ul> INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento regolare della struttura.<sup>(10)</sup></li> <li>• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>3</sub>
	rinforzata e/o confinata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Messa in sicurezza di elementi non strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento regolare della struttura.<sup>(10)</sup></li> <li>• Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali</li> </ul>	da V <sub>3</sub> a V <sub>2</sub>

Tabella 2.1.3.6\_2 – Interventi di rafforzamento

## **2.2 Conoscenza e studio di un edificio in muratura nel centro storico di Alcamo**

### **2.2.1 Generalità**

La conoscenza della costruzione storica in muratura è fondamentale, sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica, sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento.

Le problematiche sono quelle comuni a tutti gli edifici esistenti, anche nel caso del patrimonio culturale tutelato, ancora più importante risulta conoscere in un fabbricato le caratteristiche originarie, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, dall'invecchiamento dei materiali e dagli eventi calamitosi; pertanto è necessario approfondire tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive in base al diverso grado di attendibilità. Una completa ricerca di indagini può risultare invasiva sulla costruzione, al fine di impedire perdite irrimediabili. La conoscenza può essere eseguita con diversi livelli di approfondimento, grazie all'accuratezza delle operazioni di rilievo, delle ricerche storiche, e delle indagini sperimentali.

Tali interventi operano a migliorare gli obiettivi previsti a seconda della tipologia di intervento, che può interessare tutto o in parte l'edificio. La finalità di specificare un percorso di conoscenza, valutando il livello di sicurezza nelle azioni sismiche e negli eventuali interventi per le costruzioni, è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico. Nel corso dello studio sugli aspetti funzionali della costruzione si ricavano soluzioni di un modello interpretativo che esprime sia un'interpretazione qualitativa del funzionamento strutturale sia l'analisi strutturale per una valutazione quantitativa, e ciò viene eseguito durante le diverse fasi della sua calibrazione. I gradi di attendibilità del modello sono strettamente legati al

livello di approfondimento ed ai dati disponibili. I fattori di confidenza da utilizzare nell'analisi, finalizzata sia alla valutazione dello stato attuale sia a seguito degli eventuali interventi si applica in diversi gradi di conoscenza, che può essere condotto a diverse attività:

- L'identificazione della costruzione, la sua localizzazione in relazioni a particolari aree a rischio, ed il rapporto della stessa con il contesto urbano circostante; questa analisi esprime un primo rilievo schematico del manufatto e l'identificazione di eventuali elementi di pregio (apparati decorativi fissi, beni artistici mobili) che possono influire il livello di rischio;
- Il rilievo geometrico della costruzione nello stato attuale, descrive una completa stereometria della fabbrica, comprendendo eventuali fenomeni fessurativi e deformativi;
- L'individuazione della evoluzione della fabbrica, comprende una sequenza delle fasi di trasformazione edilizia, dall'ipotetica configurazione originaria a quella attuale;
- L'individuazione degli elementi costituenti l'organismo resistente, nell'accezione metrica e costruttiva, con una particolare attenzione alle tecniche di realizzazione, ai dettagli costruttivi ed alle connessioni tra gli elementi;
- L'identificazione dei materiali, del loro stato di degrado, delle loro proprietà meccaniche;
- La conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, con riferimento anche alle variazioni avvenute nel tempo ed ai relativi dissesti.

Le analisi strutturali dei meccanismi di collasso dei manufatti storici in muratura presentano un insieme vario e complesso per tipologie e tecniche costruttive, per cui l'analisi della loro struttura predispone notevoli incertezze dalle proprietà meccaniche dei materiali e delle condizioni di vincolo tra gli

elementi. Tutte le indagini conoscitive devono individuare la storia del manufatto, e concentrarsi in particolar modo a considerare gli eventi sismici precedenti, la geometria degli elementi strutturali, le tecniche costruttive, i fenomeni di dissesto e di degrado, che sono state adottate per ciascun contesto territoriale. Tutte le informazioni prese ed esaminate devono essere organizzate e date secondo il programma di monitoraggio dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati.

### **2.2.2 Inquadramento territoriale**

Il primo passo della conoscenza consiste nella corretta e completa identificazione dell'organismo e nella sua localizzazione sul territorio, al fine di individuare la sensibilità della fabbrica nei riguardi dei diversi rischi ed in particolare di quello sismico. L'edificio oggetto di studio si trova all'interno della zona A2 del centro storico di Alcamo sito in Corso VI aprile, 358. Il manufatto è articolato su 3 livelli, un edificio intercluso da due lati e risulta essere più basso da un lato.



*Foto 2.2.2\_1 - Foto aerea del centro storico di Alcamo con individuazione dell'isolato contenente il manufatto studiato*





*Foto 2.2.2\_2 - Foto aerea dell'edificio oggetto di studio*

### **2.2.3 Descrizione del manufatto sito in Alcamo**

Conforme con quanto indicato nel §8.5 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), “Definizione del modello di riferimento per le analisi”, vengono individuate le informazioni preliminari da determinare al fine dello studio del fabbricato in esame. In particolare la normativa 2018 suggerisce dei punti per una corretta valutazione dell’edificio da analizzare:

1. Analisi storico-critica
2. Rilievo geometrico
3. Rilievo materico e stato di conservazione
4. Caratterizzazione meccanica dei materiali
5. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza.

Per quanto riguarda l’Analisi storico-critica, come indicato nelle NTC 2018, “Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato”.

Questo aspetto non viene trattato all'interno della Tesi, poiché non si hanno sufficienti informazioni storiche relative all'edificio; è noto solo il periodo di costruzione, antecedente al 1860, ma non l'evoluzione che la fabbrica ha subito nel corso degli anni.

L'edificio preso in considerazione, come oggetto di studio, è parte di un aggregato edilizio ed in particolare risulta essere intercluso tra due edifici di cui risulta più basso da un lato. Per la trattazione e lo studio dell'edificio in aggregato bisogna tenere conto perciò delle possibili interazioni derivanti la contiguità strutturale con gli edifici adiacenti, come specificato nella Circolare n.617 del 2 febbraio 2009, §C8A.3.

La fabbrica presenta una pianta regolare di forma rettangolare, inserita in un lotto di 6x12 m. Per quanto riguarda l'altezza, il manufatto si presenta in modo irregolare con due falde inclinate poste ad altezze diverse: una inserita al primo livello a quota 4,05m e una seconda al terzo a quota 7,80m. L'edificio è composto da 3 livelli fuori terra e presenta due ingressi: uno situato in Corso VI aprile; l'altro in Via Crapis.



*Foto 2.2.3\_1 - Prospetto principale, Corso VI Aprile, 358, Alcamo (TP)*



*Foto 2.2.3\_2 - Prospetto posteriore, Via Crapis, Alcamo (TP)*



*Foto 2.2.3\_3 - Vano interno al primo livello*



*Foto 2.2.3\_4 - Vano interno al secondo livello*

#### **2.2.4 Rilievo geometrico**

Il rilievo geometrico si pone come strumento di conoscenza che, attraverso la raccolta di dati metrici e geometrici con la loro interpretazione, ha lo scopo di determinare le dimensioni e la forma di un oggetto reale, sia esso in un edificio o in un contesto urbano. Esistono due principali modalità nel rilievo geometrico:

- Rilievo diretto, le misure vengono prelevate direttamente sull'oggetto, che deve essere accessibile;
- Rilievo indiretto, le misure vengono prelevate con l'ausilio di strumenti ottici senza entrare in contatto con l'oggetto.

Per approfondire una tematica particolare e per uno svolgimento ottimale nella vasta panoramica dei lavori di rilievo, è necessario studiare la disponibilità di dati per la progettazione (sezioni, profili), la rappresentazione degli oggetti rilevati, dati di base di calcoli, tracciamenti, piani esecutivi. Quindi è molto importante capire il lavoro di tale edificato e pensare come affrontare gli elaborati successivi. Infatti la conoscenza della geometria di organismi esistenti in muratura deriva da una accurata operazione di rilievo. Quest'ultimo è stato svolto riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con eventuali edifici in adiacenza. Si noti che il livello di conoscenza si basa su due aspetti, ovvero dettagli costruttivi e proprietà dei materiali che si accentuano con crescenti livelli di approfondimento dell'indagine, invece per la geometria esterna è richiesto che il rilievo sia compiuto in maniera completa e dettagliata possibile, per definire al meglio la struttura del modello necessario, garantendo una dettagliata valutazione della sicurezza per le azioni prese in esame.

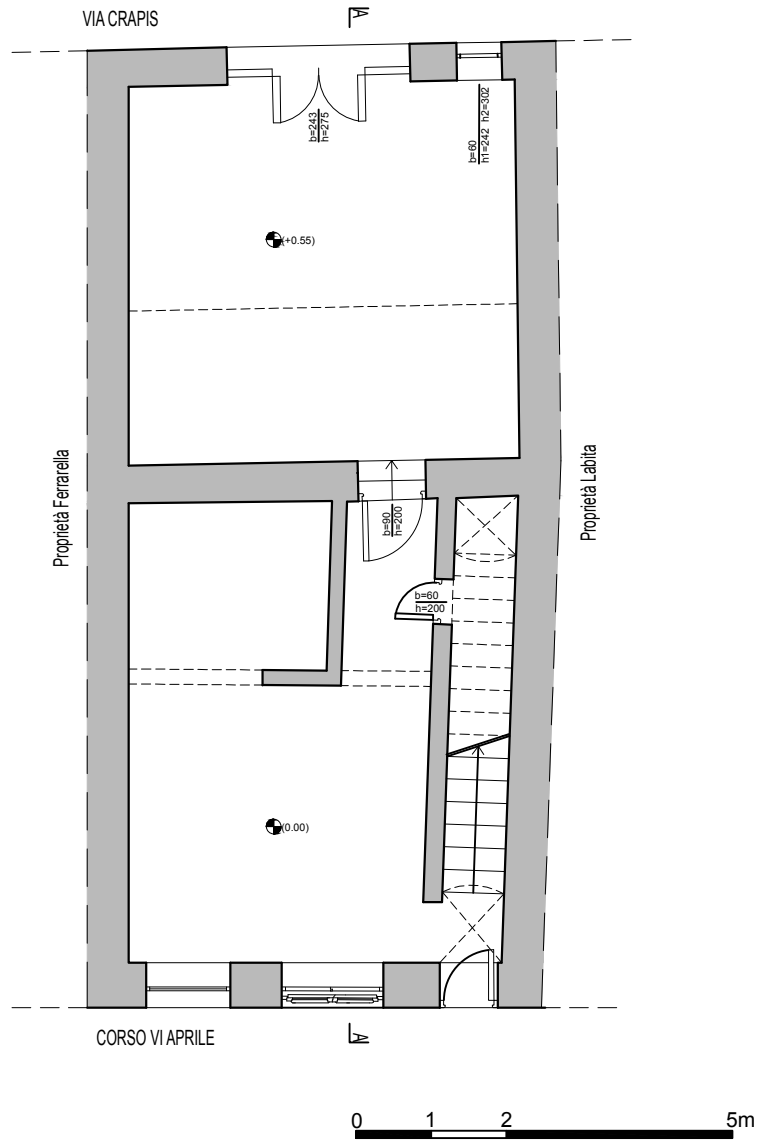
La descrizione stereometrica della fabbrica comporta l'individuazione delle caratteristiche plano-altimetriche degli elementi costruttivi. Pertanto, ad ogni livello, andranno rilevate la geometria di tutti gli elementi in muratura, delle volte, dei solai e della copertura, delle scale e degli elementi estranei inclusi.

Si tratta di un edificio situato nel centro storico della città di Alcamo; la fabbrica, come definito prima, si compone su tre livelli fuori terra.

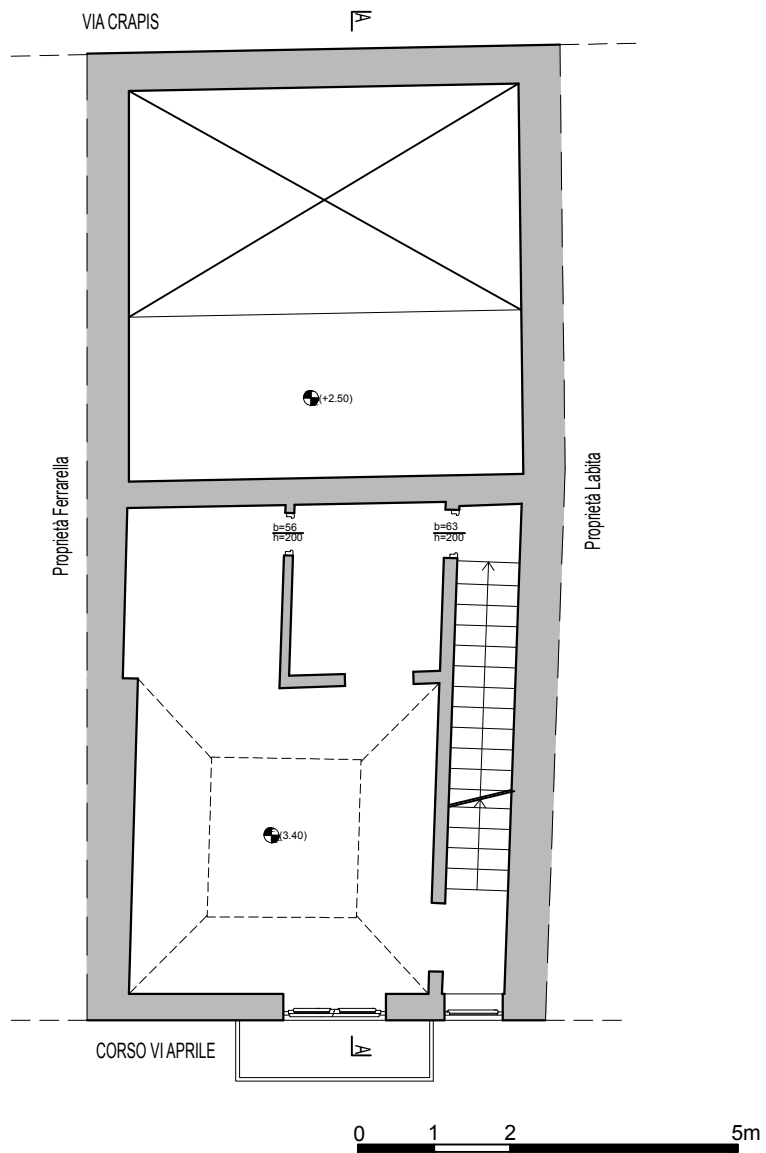
Nel piano terra sono interposti due ingressi: il primo ingresso posto in via Crapis, dove si entra in un ambiente molto esteso di 26 mq, che era destinato all'uso di deposito, e presenta una struttura a soppalco, sostenuto da travi in legno; mentre in via Corso VI Aprile, considerata una delle strade storiche della città insieme alla via Rossotti, si trova il secondo ingresso, ove si accede al vano scala, coperto da una volta a botte rampante, e in due piccoli ambienti, che entrambi sono preceduti all'entrata da due archi a botte.

Gli spazi si presentano uno di 15 mq e l'altro di 3 mq, in quest'ultimo è possibile accedere al magazzino, che è l'unico accesso disponibile all'interno dell'edificio. Inoltre si può entrare in un altro ambiente, dove si può vedere l'ornamento della scala all'interno della muratura nel sottoscala. Il secondo livello è composto da tre vani: uno di 16 mq, che presenta una copertura con volta a padiglione, invece i restanti sono coperti da un solaio formato da putrelle e tavelloni. Inoltre troviamo un altro vano scala, che dà l'accesso al terzo livello dell'edificio, ed è costituito dal sottotetto e dall'ingresso di un piccolo terrazzo praticabile.

Di seguito vengono riportati gli elaborati grafici della geometria dell'edificio del caso di studio:

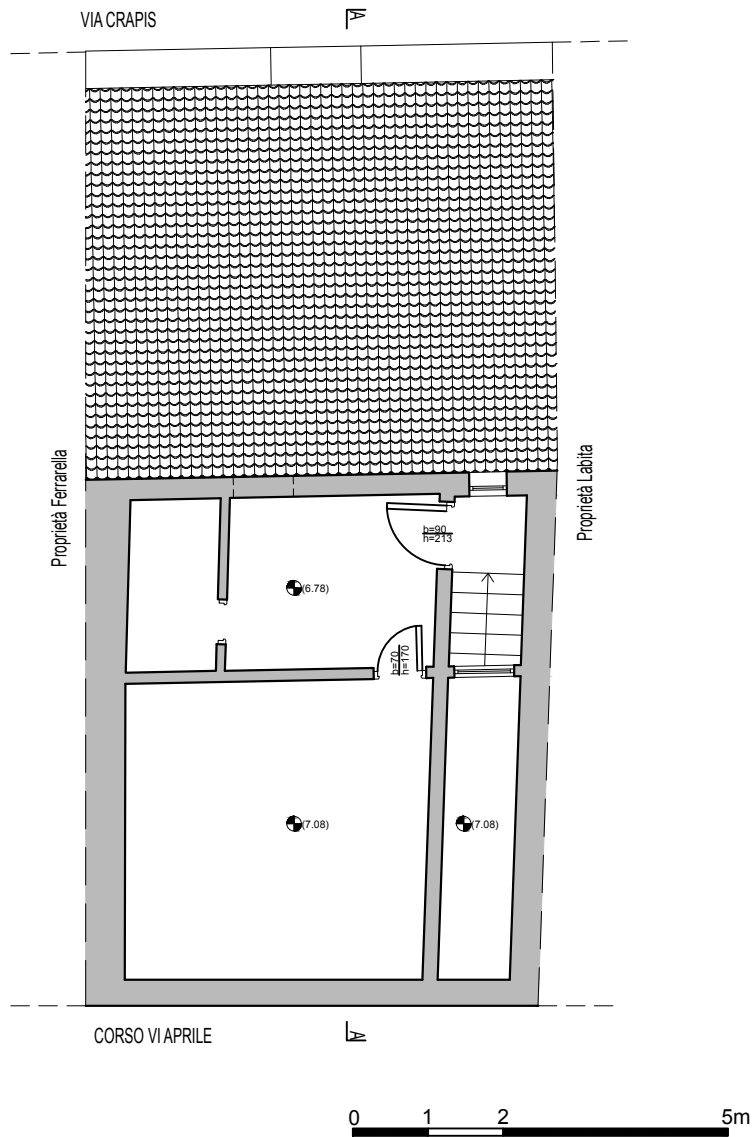


*Pianta primo livello, scala 1:100*

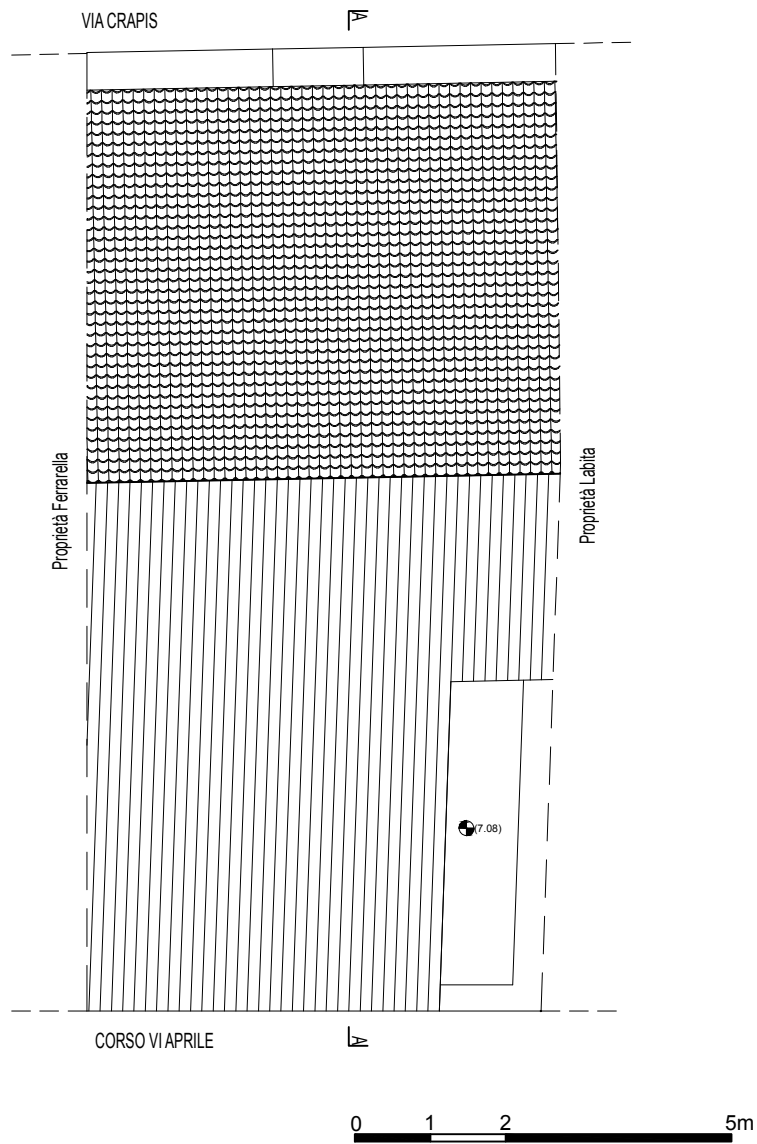


*Pianta secondo livello, scala 1:100*





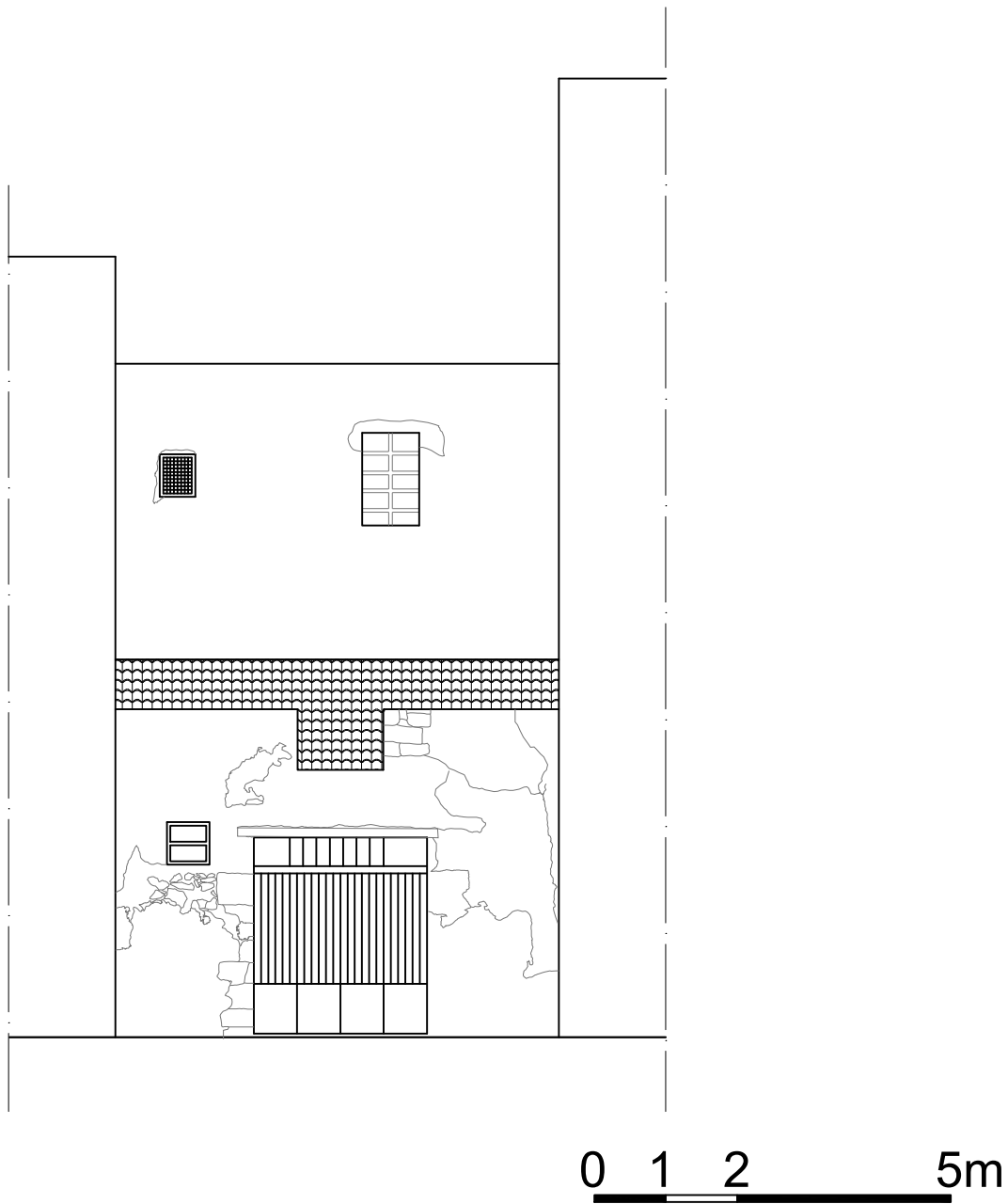
*Pianta terzo livello, scala 1:100*



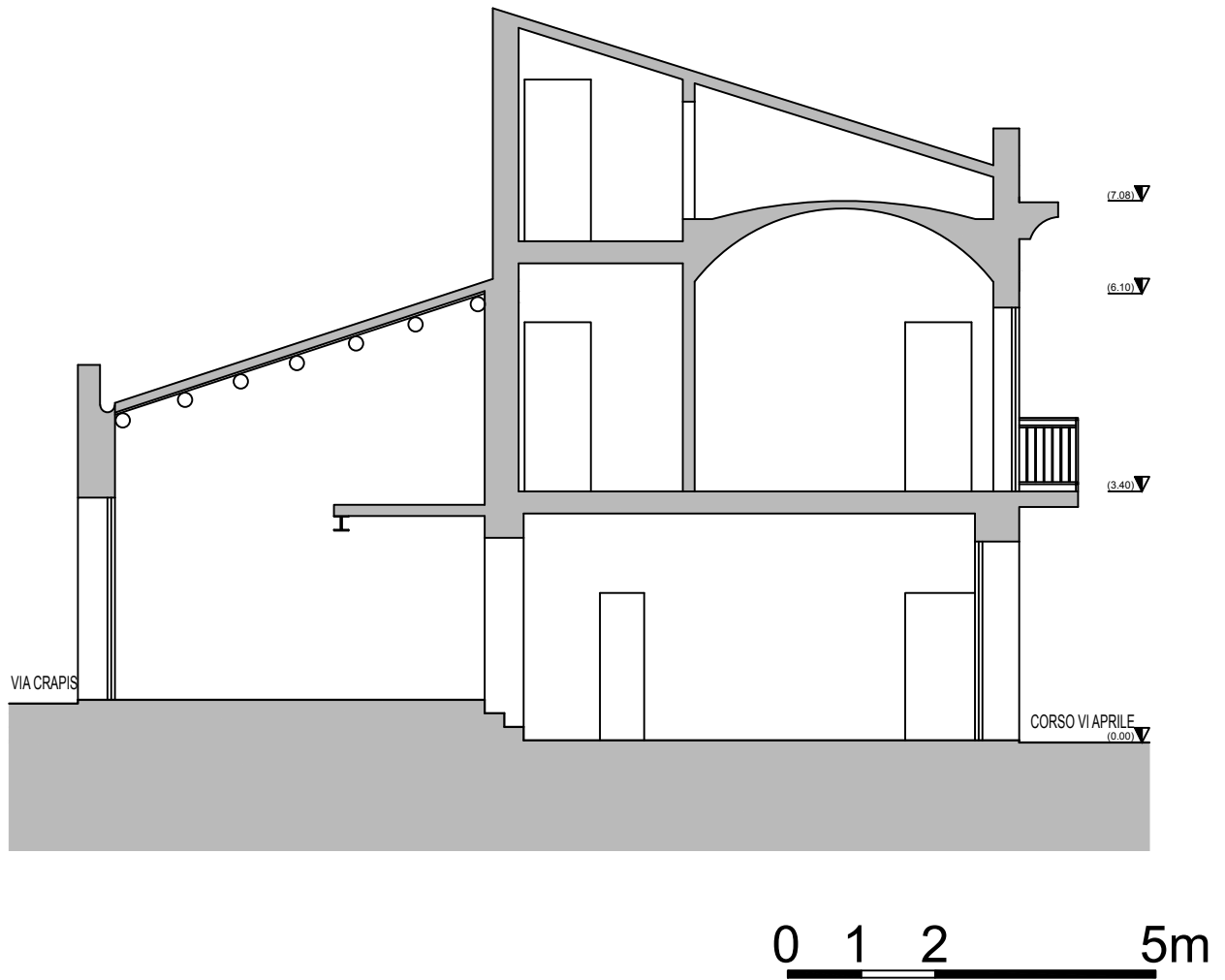
*Pianta copertura, scala 1:100*



*Prospetto Corso VI Aprile, scala 1:100*



*Prospetto Via Crapis, scala 1:100*



*Sezione AA, scala 1:100*

### **2.2.5 Rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione**

Il rilievo materico costruttivo deve permettere di individuare completamente l'organismo resistente della fabbrica, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costruttivi. Per ottenere una buona acquisizione dei dati, spesso nascoste dovute ad esempio alla presenza dell'intonaco, può essere eseguita attraverso delle tecniche di indagine non distruttive o ad ispezioni dirette debolmente distruttive come la rimozione dell'intonaco

Per il rilievo materico e degli elementi costruttivi si è utilizzato un'analisi visiva del manufatto studiato, individuando la muratura e i vari elementi costruttivi all'interno dell'edificio.

Difatti, da un'analisi visiva del prospetto situato in Via Crapis e dai vani interni del primo livello si nota che la muratura ha una tessitura muraria irregolare con pietrame informe di varia pezzatura. Partendo dal primo vano, con l'ingresso posto in Via Crapis, si entra attraverso una porta in legno con alla sommità un architrave in ferro. All'interno troviamo un soppalco con travi in legno sorretti da una trave IPE 180.

Proseguendo, attraverso un piccolo corridoio si arriva al secondo vano del primo livello dove si nota subito che i solai sono in legno ad unica orditura con travi uso fiume di dimensione 15x15cm. Attraverso la scala costruita con lastre di pietra che penetrano la muratura si arriva al secondo livello, caratterizzato da una muratura in conci di calcarenite che delimitano tutto il perimetro del secondo livello; diviso da due vani: uno caratterizzato da solaio con putrelle e tavelloni; il vano più grande invece è coperta con una volta a padiglione in mattoni. Al terzo livello ci troviamo nel sottotetto dove è possibile ispezionare le condizioni della volta che da una prima analisi visiva è in buone condizioni. Per le coperture sono stati utilizzati: al primo livello una copertura lignea ad un'unica orditura dove viene collegato un assito e che a sua volta poggiano coppi siciliani, identificando una falda inclinata non spingente. La seconda

copertura anch'essa costituita da una falda inclinata ma strutturata tramite tubolari in acciaio e lastre di eternit. È presente un piccolo terrazzo praticabile che si arriva tramite una piccola scala in legno. Il solaio del terrazzo è formato da travi in legno uso fiume 15x15cm disposti nel lato corto. Al secondo livello è presente un balcone in pietra sorretto da due mensole anch'esse in pietra.



*Foto 2.2.5\_1 - Prospetto Via Crapis, Alcamo*



*Foto 2.2.5\_2 - Tessitura muraria irregolare con pietrame informe di varia pezzatura collegata tramite malta degradata*





*Foto 2.2.5\_3 - Prospetto principale, Corso VI Aprile, 358, Alcamo (TP)*



*Foto 2.2.5\_4 - Tessitura muraria composta da conci di calcarenite disposti in modo pseudo regolare*



*Foto 2.2.5\_5 - Vano primo al primo livello con la presenza del soppalco sorretto dalla trave IPE180*



*Foto 2.2.5\_6 - Copertura costituita da travi uso fiume con assito in legno.*



*Foto 2.2.5\_7 - Collegamento travi della copertura alla muratura del primo livello*



*Foto 2.2.5\_8 - Secondo vano presente al secondo livello e visione del solaio in legno ad unica orditura attraverso travi uso fiume 15x15cm*



*Foto 2.2.5\_9 - Scala di collegamento tra il primo e il secondo livello caratterizzato da lastre di pietra che penetrano nella muratura*



*Foto 2.2.5\_10 - Vano del sottoscala dove è possibile riconoscere l'ammorsamento della scala con la muratura al primo livello.*



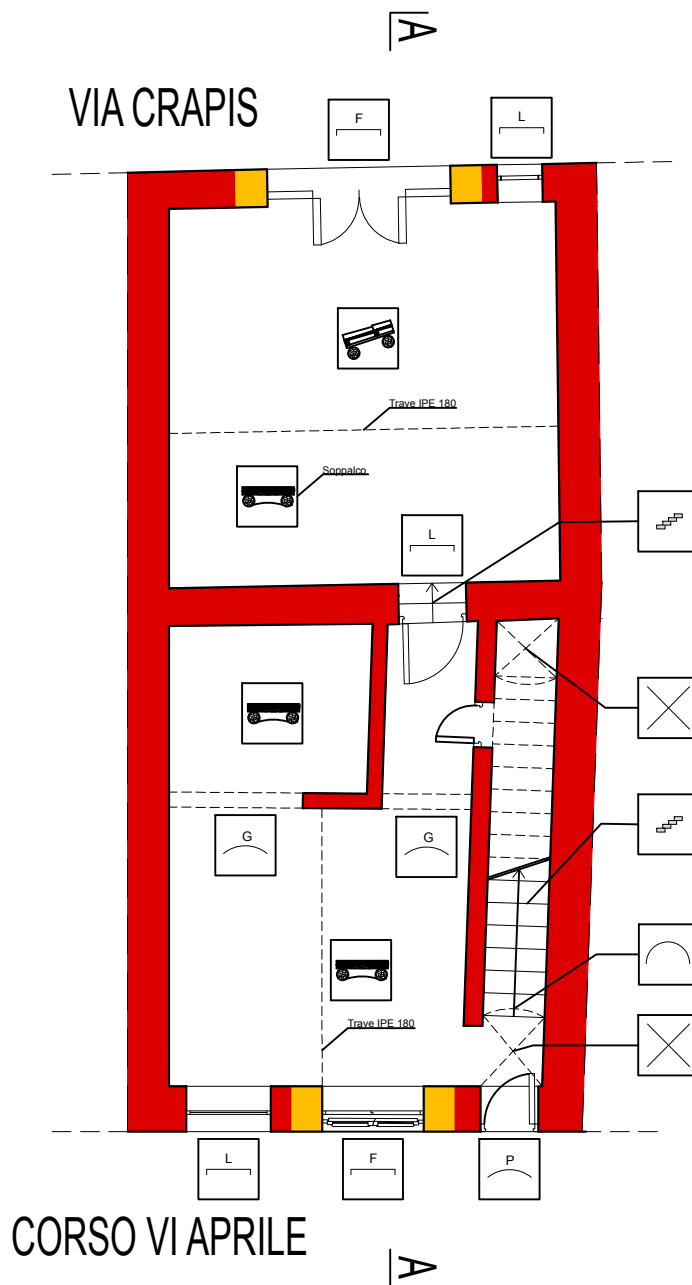
*Foto 2.2.5\_11 - Presenza della volta a padiglione al secondo livello*



*Foto 2.2.5\_12 - Particolare della copertura al terzo livello caratterizzata da una struttura di acciaio con lastre poggiate sopra*

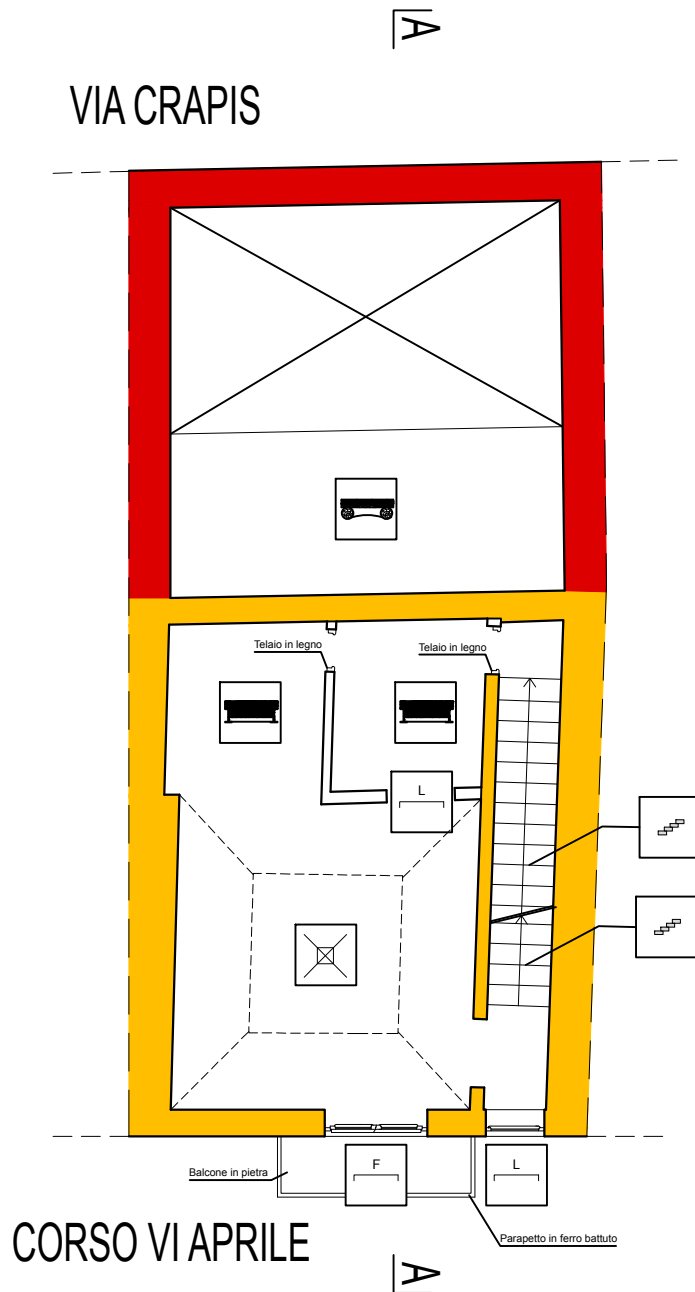
I risultati del rilievo materico costruttivo possono essere articolati attraverso la realizzazione di elaborati grafici, e attraverso la stillazione di una legenda è possibile leggere gli elaborati ottenuti.

Tipologia muraria	Retini
Muratura in pietrame informe	
Muratura in blocchi squadrati in calcarenite	
Muratura in blocchetti (o altro) di recente fattura	
Elementi strutturali secondari	Simboli
Architrave L: legno F: putrella in ferro con lastre di pietra	
Arco P: conchi di pietra G: getto di gesso	
Infissi	Simboli
Finestra in legno	
Porte in legno	
Scale	Simboli
Scala in lastre di pietra	
Orizzontamenti	Simboli
Volta realina a botte in getto	
Volta realina in getto a crociera	
Volta a padiglione in mattoni di laterizio	
solaio in legno e malta	
Copertura lignea con coppi in laterizio	
solaio con putrelle in ferro e tavelloni in laterizio	
Copertura con tubolari in ferro e lastre di amianto	



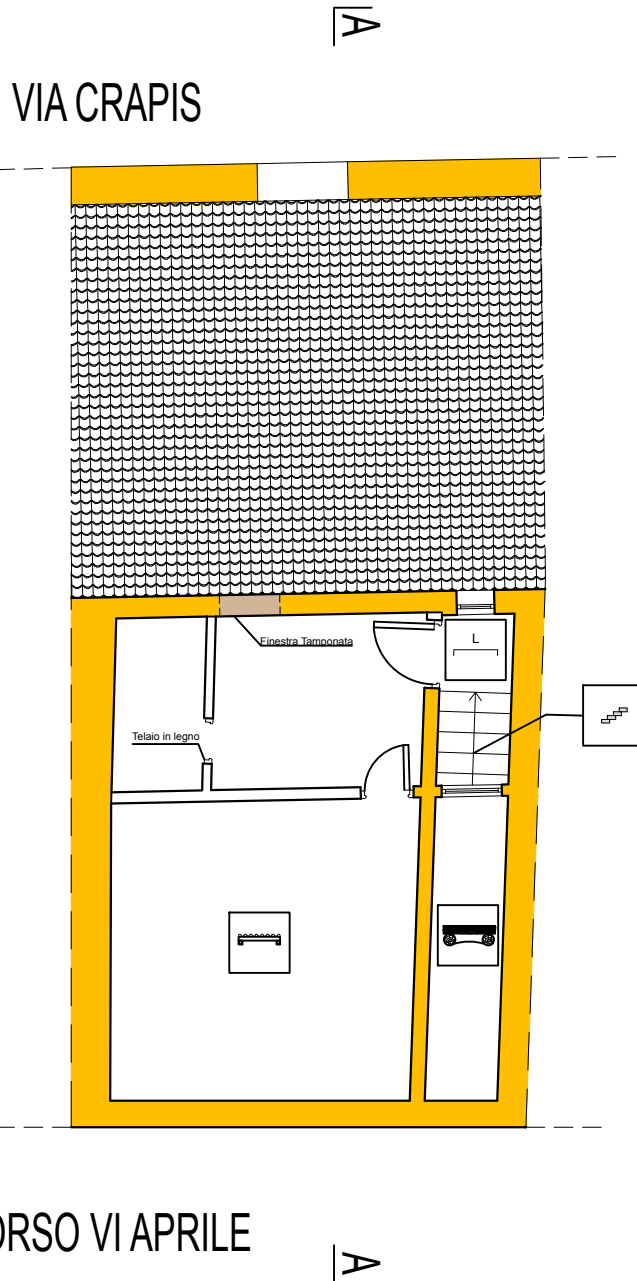
*Legenda e rilievo materico del primo livello*

Tipologia muraria	Retini
Muratura in pietrame informe	
Muratura in blocchi squadrati in calcarenite	
Muratura in blocchetti (o altro) di recente fattura	
Elementi strutturali secondari	Simboli
Architrave L: legno F: putrella in ferro con lastre di pietra	
Arco P: conci di pietra G: getto di gesso	
Infissi	Simboli
Finestra in legno	
Porte in legno	
Scale	Simboli
Scala in lastre di pietra	
Orizzontamenti	Simboli
Volta realina a botte in getto	
Volta realina in getto a crociera	
Volta a padiglione in mattoni di laterizio	
solaio in legno e malta	
Copertura lignea con coppi in laterizio	
solaio con putrelle in ferro e tavelloni in laterizio	
Copertura con tubolari in ferro e lastre di amianto	



*Legenda e rilievo materico del secondo livello*

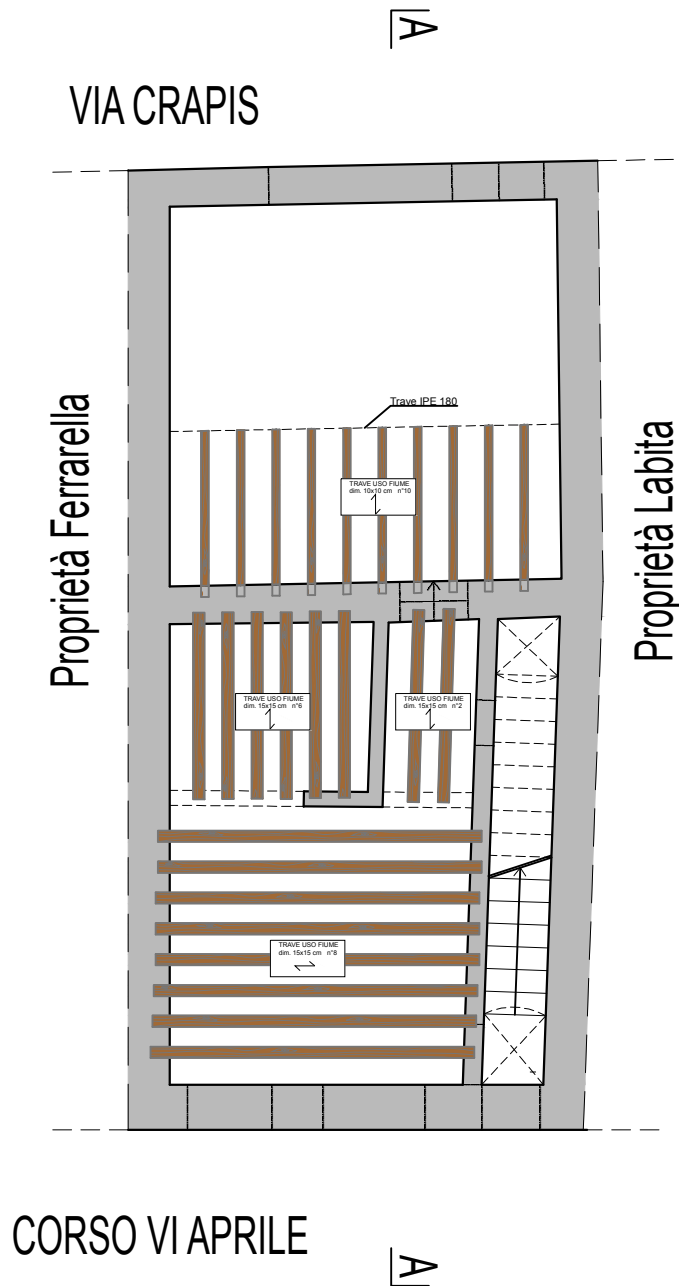
Tipologia muraria	Retini
Muratura in pietrame informe	
Muratura in blocchi squadrati in calcarenite	
Muratura in blocchetti (o altro) di recente fattura	
Elementi strutturali secondari	Simboli
Architrave L: legno F: putrella in ferro con lastre di pietra	
Arco P: conici di pietra G: getto di gesso	
Infissi	Simboli
Finestra in legno	
Porte in legno	
Scale	Simboli
Scala in lastre di pietra	
Orizzontamenti	Simboli
Volta realina a botte in getto	
Volta realina in getto a crociera	
Volta a padiglione in mattoni di laterizio	
solaio in legno e malta	
Copertura lignea con coppi in laterizio	
solaio con putrelle in ferro e tavelloni in laterizio	
Copertura con tubolari in ferro e lastre di amianto	



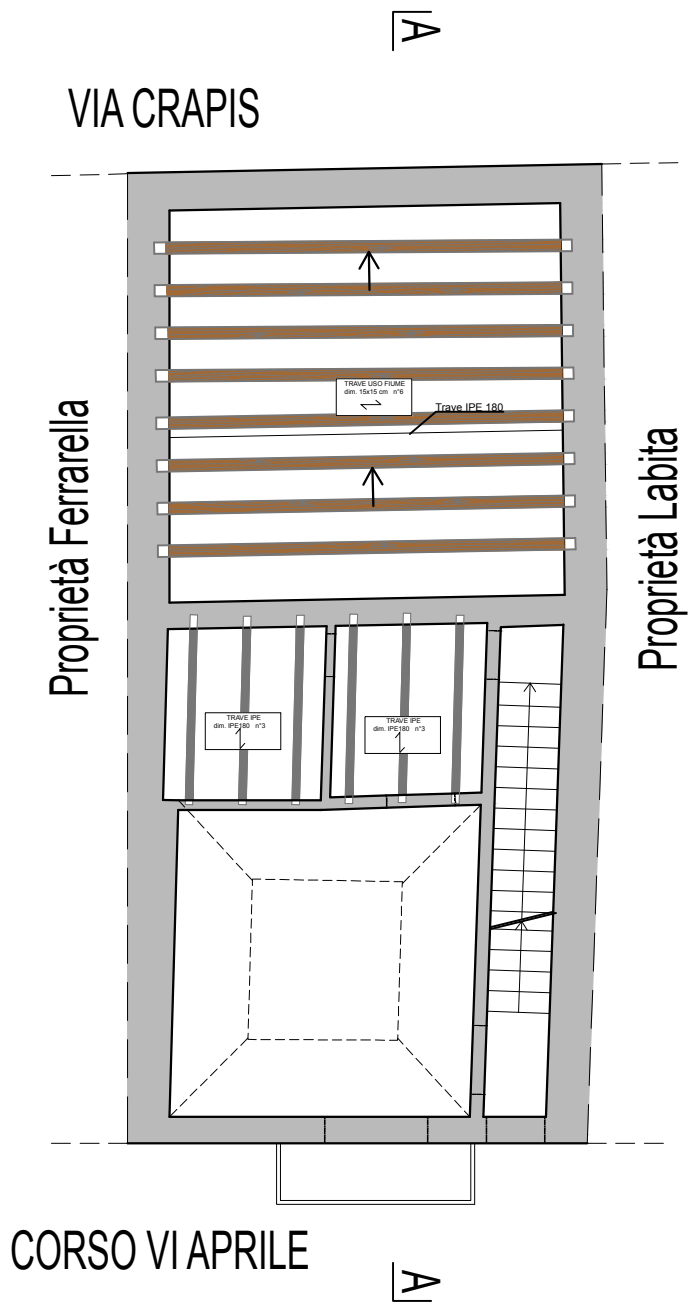
*Legenda e rilievo materico del terzo livello*



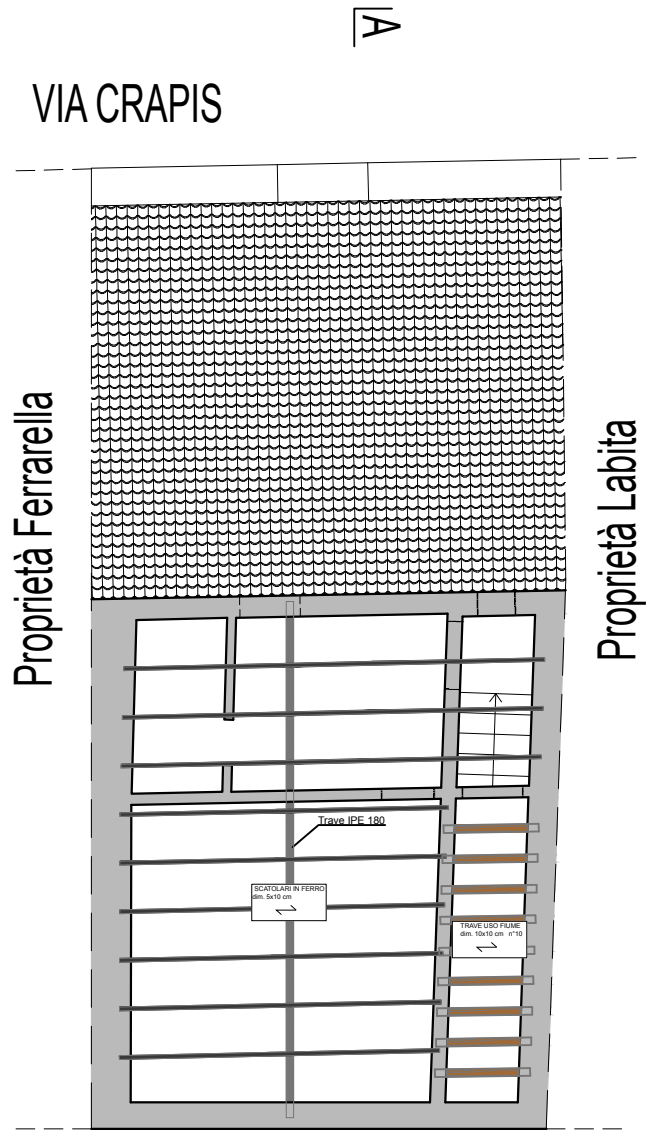
Inoltre sono state realizzate anche le tavole delle carpenterie che vanno a definire l'orditura, la disposizione, la distanza di interasse delle travi e le dimensioni dei solai al primo livello; delle falde inclinate ai livelli primo e terzo e l'individuazione delle volte all'interno del manufatto.



*Rilievo carpenteria del primo livello, scala 1:100*



*Rilievo carpenteria del secondo livello, scala 1:100*



CORSO VI APRILE

*Rilievo carpenteria del terzo livello, scala 1:100*

## 2.2.6 Caratterizzazione meccanica dei materiali

La valutazione e il riconoscimento delle caratteristiche meccaniche delle murature esistenti, risulta essere uno dei punti fondamentali della valutazione della sicurezza strutturale. Verificare un edificio in muratura, significa scegliere opportuni criteri di conoscenza e valutare in modo approfondito l'apparecchio murario che costituisce il manufatto di studio.

Non avendo avuto la possibilità di condurre prove sperimentali sulla muratura, è stato necessario procedere mediante l'attribuzione dei valori di resistenza determinati tramite l'osservazione diretta.

La metodologia illustrata è quella dell'Indice di Qualità Muraria (IQM), che viene effettuata attraverso l'osservazione della muratura, volta al riconoscimento del rispetto, o meno, della cosiddetta "regola d'arte", ovvero gli accorgimenti e delle tecniche del buon costruire, capaci di assicurare un corretto ed efficace comportamento meccanico. I risultati ottenuti saranno quindi sintetizzati in una scheda che, attraverso opportuni coefficienti, fornisce, per la tipologia muraria esaminata e in funzione delle diverse direzioni dell'azione sollecitante, un valore di IQM (variabile tra 0 e 10) attraverso il quale è poi possibile classificare la muratura studiata dal punto di vista del comportamento meccanico.

Il secondo passo è quello di applicare il capitolo 8 delle NTC, per ottenere tramite IQM i parametri meccanici:

- $f_m$ = resistenza media a compressione;
- $\tau_0$ = resistenza media a taglio
- $E$ = valore medio del modulo di elasticità normale

La procedura per determinare l'indice di qualità muraria, richiede al tecnico che effettua l'osservazione della muratura di esprimere un giudizio sul rispetto dei sette parametri caratteristici della regola d'arte.

La valutazione si compone di tre diversi esiti: parametro rispettato (R), parzialmente rispettato (PR) e non rispettato (NR). In base a questi giudizi

vengono attribuiti dei punteggi poi combinati tra loro per ottenere il valore dell'IQM per la muratura studiata, valutata per le tre possibili tipologie di azioni: carichi verticali, azioni orizzontali che sollecitano il pannello murario nel suo piano medio, azioni che sollecitano il pannello murario ortogonalmente al piano medio. Da queste combinazioni si ricavano le tre relazioni definite: IQM verticale, IQM nel piano, IQM ortogonale al piano. Per quanto riguarda i sette parametri da studiare affinché si possa procedere alla compilazione della scheda IQM sono:

- (MA.) Malta di buona qualità, efficace contatto fra elementi, zeppe;
- (PD.) Ingranamento trasversale, presenza di diatoni;
- (F.EL.) Forma degli elementi;
- (D.EL) Dimensione degli elementi;
- (S.G) Sfalsamento dei giunti verticali;
- (OR.) Presenza di filari orizzontali;
- (R.EL.) Resistenza adeguata degli elementi.

Resistenza elementi (RE.EL.)		Dimensione degli elementi (D.EL.)	
NR	Elementi degradati (> 50% del totale degli elementi). Elementi laterizi con percentuale di foratura > 70%. Mattoni in fango o argilla non cotta.	NR	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sotto i 20 cm. Parete di soli diatoni in mattoni pieni.
PR	Elementi della muratura degradati (~ fra 10% e 50% del totale degli elementi ). Elementi laterizi con foratura fra 70% e 45%. Elementi in tufo tenero (calcarenite).	PR	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore fra 20 e 40 cm. Compresenza di elementi di dimensione variabile.
R	Pietre non degradate o poco degradate. Muratura con pochi elementi degradati (< 10%). Mattoni pieni cotti. Elementi di tufo duro (vulcanico). Elementi laterizi con foratura < 45%. Blocchi in calcestruzzo (anche forati).	R	Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sopra i 40 cm.

*Tabella 2.2.6\_1 - Criteri per il rispetto dei parametri della regola dell'arte riguardanti la resistenza e la dimensione degli elementi.*

Forma degli elementi resistenti (F.EL.)	
NR	Prevalenza di elementi di forma irregolare o arrotondata oppure ciottoli su entrambe le facce della parete.
PR	Compresenza di elementi irregolari o ciottoli e blocchi di forma squadrata o mattoni. Pareti con una faccia di blocchi di forma regolare o mattoni e l'altra faccia di ciottoli od elementi di forma irregolare. Elementi arrotondati o irregolari ma con interstizi riempiti di zeppe ben inserite.
R	Prevalenza di elementi di forma squadrata o sbalzata oppure mattoni o laterizi di forma parallelepipedica su entrambe le facce della parete.

*Tabella 2.2.6\_2 - Criteri per il rispetto del parametro della regola dell'arte riguardante la forma degli elementi resistenti.*

Presenza diatoni / ingranamento trasversale (P.D.)			Orizzontalità dei filari (OR.)	
	Sezione muraria visibile	Sezione muraria non visibile (osservazione facce parete ed esecuzione di saggi interni)		
NR	LMT inferiore a 125 cm. Pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT.	Pietre piccole rispetto allo spessore del muro; assenza di pietre palesemente disposte in senso trasversale alla parete ("di testa").	NR	I tratti orizzontali sono interrotti o con evidenti sfalsamenti sull'intera facciata muraria.
PR	LMT compresa fra 155 cm e 125 cm.	Paramento ben tessuto ed ordinato almeno su una faccia; alcune pietre sono disposte "di testa"; spessore del muro non eccessivo rispetto alle dimensioni delle pietre.	PR	Situazioni intermedie fra il rispetto e il non rispetto, compreso il caso di filari orizzontali solo su una faccia della parete.
R	LMT maggiore di 155 cm	Paramento ben tessuto; blocchi o pietre di dimensione paragonabile a quella dello spessore della parete; presenza sistematica di pietre disposte "di testa".	R	Filari orizzontali su gran parte della parete, senza presentare interruzioni di continuità e su entrambe le facce della parete. Murature listate con listature a interasse inferiore a 60 cm.

Tabella 2.2.6\_3 - Criteri per il rispetto dei parametri della regola dell'arte riguardanti l'ingranamento trasversale e l'orizzontalità dei filari.

Sfalsamento giunti verticali / Ingranamento nel piano (S.G.)		
	Metodo quantitativo	Metodo qualitativo
NR	Parete a paramento unico: LMT < 140. Parete a doppio paramento: LMT < 140 su una faccia e LMT < 160 sull'altra faccia. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, qualunque sia il valore di LMT. Parete con pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete.	Giunti verticali allineati. Giunti allineati verticalmente su due o più elementi in ampie porzioni della parete. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, anche con giunti verticali sfalsati. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete.
PR	Parete a paramento unico: LMT fra 140 e 160. Parete a doppio paramento: a) entrambi i paramenti con LMT fra 140 e 160. b) LMT rispettato su una faccia e non rispettato sull'altra faccia. c) LMT rispettato su una faccia e parzialmente rispettato sull'altra faccia.	Giunto verticale in posizione intermedia tra zona centrale dell'elemento inferiore e il suo bordo.
R	Parete a paramento unico: LMT > 160 Parete a doppio paramento: LMT > 160 su entrambe le facce.	Giunti verticali in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore (escluso il caso di parete in mattoni pieni disposti solo a diatoni).

Tabella 2.2.6\_4 - Criteri per il rispetto dei parametri della regola dell'arte riguardanti l'ingranamento nel piano della parete.

Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe (MA.)	
NR	Malta scadente o degradata e polverulenta e del tutto priva di coesione. Malta assente (escluso caso previsto sotto in "R"). Giunti di malta di dimensioni eccessive, paragonabili a quelle degli elementi se la malta non è di ottima qualità. Muratura di elementi porosi (es. tufo) con scarsa aderenza fra la malta e gli stessi elementi.
PR	Malta di qualità intermedia, con giunti non eccessivamente erosi. Murature con elementi irregolari e malta degradata ma con zeppe efficacemente inserite negli spazi fra elementi.
R	Malta in buono stato e ben conservata, con giunti di dimensione non eccessiva rispetto alle pietre o ai mattoni o con giunti ampi e malta di ottima qualità. Muratura con grandi elementi squadrate e priva di malta o con strato di malta sottilissimo. In tal caso si intende "rispettato" il requisito di un efficace contatto fra le pietre.

Tabella 2.2.6\_5 - Criteri per il rispetto dei parametri della regola dell'arte riguardanti la qualità della malta.

Tali giudizi vengono tradotti in opportuni coefficienti, differenti per le tre condizioni di carico, verticale, orizzontale nel piano del muro e ortogonale al piano del muro, che, combinati opportunamente, forniscono i valori dell'IQM. La differenza fra i tre valori di IQM è dovuta al diverso peso attribuito ai parametri della regola dell'arte per le tre condizioni di carico, a causa della

diversa influenza che ogni parametro può avere nella risposta della parete nei confronti del tipo di azione sollecitante considerata.

	Azioni verticali			Azioni fuori piano			Azioni nel piano		
	NR	PR	R	NR	PR	R	NR	PR	R
<b>OR.</b> Orizzontalità dei filari	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
<b>P.D.</b> Presenza dei diatoni / ingranamento trasversale	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
<b>F.EL.</b> Forma degli elementi resistenti	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
<b>S.G.</b> Sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
<b>D.EL.</b> Dimensione degli elementi resistenti	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
<b>MA.</b> Qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
<b>RE.EL.</b> Resistenza degli elementi	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1
<b>Indice IQM</b>									

Tabella 2.2.6\_6 - Punteggi da attribuire ai parametri della regola dell'arte (Borri, De Maria, 2009a).

Si ottiene così un indice IQM, compreso tra 0 e 10, per ogni tipo di azione sollecitante, attraverso la seguente formula:

$$IQM = R.EL. \times (OR + PD + F.EL + SG + D.EL + MA.) \quad (1)$$

Attraverso il valore IQM ottenuto si classifica la muratura secondo tre possibili categorie, dalla A (la migliore) alla C (la peggiore), con riferimento alla tabella sottostante, dove  $IQ = IQM$ .

Metodo dei punteggi				
Tipo di azione	Categoria muratura	C	B	A
	Azioni verticali		$0 \leq IQ < 2,5$	$2,5 \leq IQ < 5$
Azioni ortogonali		$0 \leq IQ \leq 4$	$4 < IQ < 7$	$7 \leq IQ \leq 10$
Azioni orizz. complanari		$0 \leq IQ \leq 3$	$3 < IQ \leq 5$	$5 < IQ \leq 10$

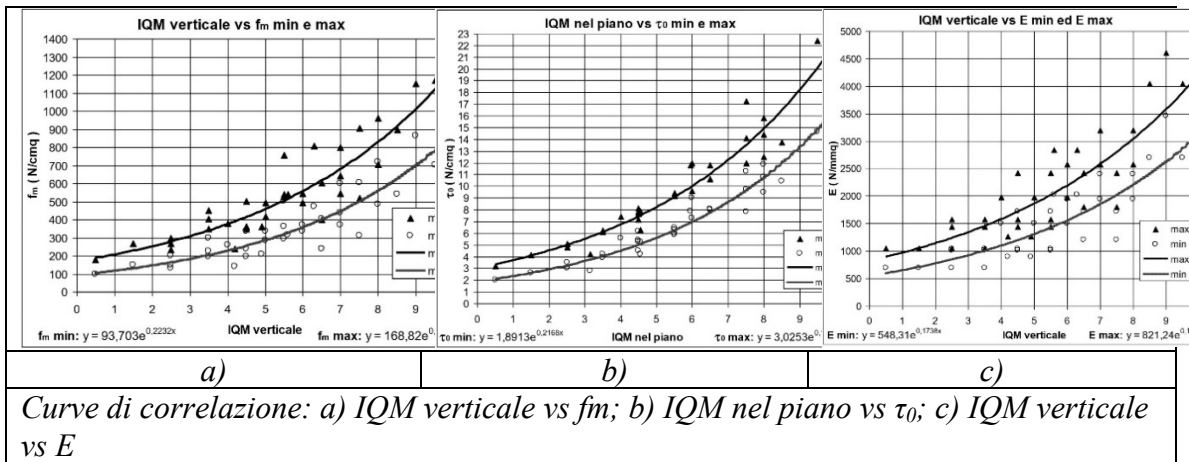
Tabella 2.2.6\_7 - Metodo dei punteggi: attribuzione delle categorie murarie (Borri, De Maria, 2009a).

Ottenuti i valori di IQM per ogni condizione di carico è possibile ottenere le caratteristiche meccaniche della muratura ( $f_m$ ,  $\tau_0$  ed E) utilizzando curve che esprimono le seguenti correlazioni:

- IQM verticale vs  $f_m$ ;
- IQM nel piano vs  $\tau_0$ ;

- IQM verticale vs E.

Tali curve, riportate di seguito, forniscono un range con un valore minimo e un valore massimo e le correlazioni utilizzate sono calibrate sulla base di 36 tipologie murarie, ottenute da 6 tipologie di base eseguendo tutte le combinazioni possibili a partire da tali tipologie, introducendo le modifiche di alcune caratteristiche della muratura consentite dalla Tabella C8A.2.2 della Circolare 2009.



Per la muratura in esame, seguendo il metodo descritto, sono stati innanzitutto determinati i coefficienti relativi ai sette parametri, i quali sono riportati nella tabella seguente.

Per ricavare i valori massimo e minimo di  $f_m$ ,  $\tau_0$  ed E si considerano le leggi delle curve di correlazione. Si riportano di seguito i calcoli.

$f_{m,min} = 93,703e^{0,2232*IQM_{verticale}}$	$f_{m,max} = 168,82e^{0,1988*IQM_{verticale}}$
$\tau_{0,min} = 1,8913e^{0,2168*IQM_{nel\ piano}}$	$\tau_{0,max} = 3,0253e^{0,1992*IQM_{nel\ piano}}$
$E_{min} = 538,41e^{0,1738*IQM_{fuori\ piano}}$	$E_{max} = 821,24e^{0,1634*IQM_{fuori\ piano}}$



MURATURA PIETREME INFORME CON MALTA DI CALCE E SABBIA MISTA A SCAGLIE DI PIETRA VARIA (PIANO TERRA)

M.A.	P.D.	F.EL.	D.EL.	S.G.	OR.	R.EL.
NR	NR	NR	PR	NR	NR	PR

	M.A.	P.D.	F.EL.	D.EL.	S.G.	OR.	R.EL.	IQM	CAT.
<b>Azioni verticali</b>	0	0	0	0,5	0	0	0,7	0,35	<b>C</b>
<b>Azioni orizzontali nel piano</b>	0	0	0	0,5	0	0	0,7	0,35	<b>C</b>
<b>Azioni orizzontali fuori piano</b>	0	0	0	0,5	0	0	0,7	0,35	<b>C</b>

	Fm (N/cm <sup>2</sup> )	t <sub>0</sub> (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/cm <sup>2</sup> )
<b>MIN-MAX</b>	100-180	2,0-3,2	583-870

MURATURA IN CONCI DI TUFO TENERO (PIANO PRIMO)

M.A.	P.D.	F.EL.	D.EL.	S.G.	OR.	R.EL.
NR	PR	R	PR	PR	R	PR

	M.A.	P.D.	F.EL.	D.EL.	S.G.	OR.	R.EL.	IQM	CAT.
<b>Azioni verticali</b>	0	1	3	0,5	0,5	2	0,7	4,9	<b>B</b>
<b>Azioni orizzontali nel piano</b>	0	1	2	0,5	1	1	0,7	3,85	<b>B</b>
<b>Azioni orizzontali fuori piano</b>	0	1,5	2	0,5	0,5	2	0,7	4,55	<b>B</b>

	Fm (N/cm <sup>2</sup> )	t <sub>0</sub> (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/cm <sup>2</sup> )
<b>MIN-MAX</b>	279-447	4,35-6,5	1210-1730

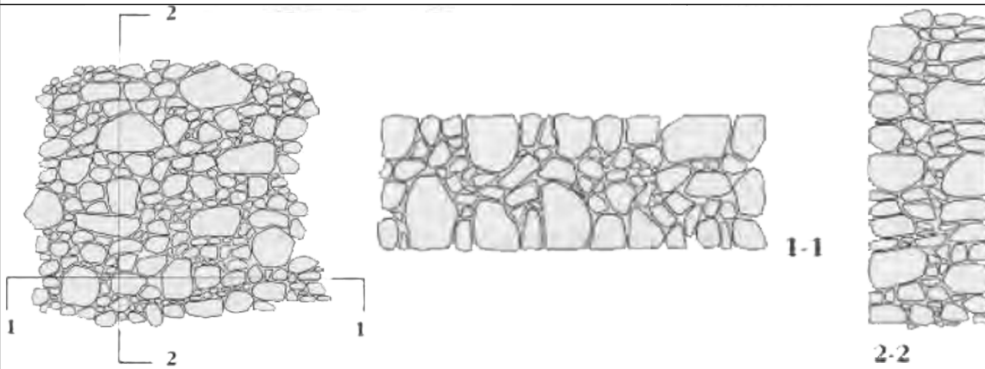
**SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA**

NUM. 01



**Prospetto Via Capris, Alcamo (TP)**

FOTO



SCHEMI

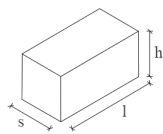
**MURATURA DI PIETREME INFORME CON MALTA DI CALCE E SABBIA MISTA A SCAGLIE DI PIETRA VARIA**

Il paramento murario al piano terra è costituito da pietrame di varia grandezza, ciottoli e frammenti di laterizio e calcarenite disposti in modo caotico nell'apparecchio murario. Non sono rispettati i filari orizzontali e neanche lo sfalzamento dei giunti verticali. Non sono presenti diatoni di ammassamento per l'apparecchio murario.

DESCRIZ.

Ciottoli di fiume, pietra arenaria, frammenti di laterizio.  
Malta di calce e sabbia polverulenta.

MATERIALI

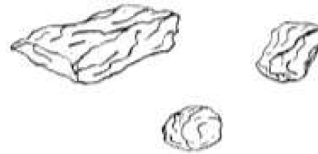


Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:

s = 10 ÷ 20 cm

h = 8 ÷ 20 cm

l = 10 ÷ 30 cm



GEOMETRIA

P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano
N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	P.R.	N.R.	P.R.	Metodo punteggi	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
							LMT (sezione)		<125 cm	<125 cm
							IQM	0,35	0,35	0,35
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	f <sub>m</sub> (N/cm <sup>2</sup> ) 100-180	E (N/mm <sup>2</sup> ) 580-870	τ <sub>0</sub> (N/cm <sup>2</sup> ) 2,0-3,2

ANALISI IQM

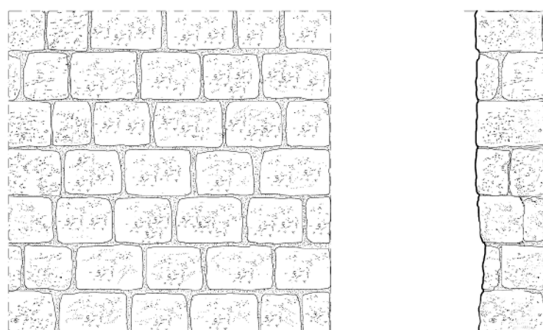
**SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA**

NUM. 02



**Prospetto Corso VI aprile, Alcamo**

FOTO



SCHEMI

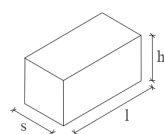
**MURATURA IN CONCI DI CALCARENITE TENERA**

Il paramento murario al piano superiore si presenta in conci di calcarenite tenera squadrata. La tessitura muraria rispetta l'orizzontalità dei filari, ma presenta un parziale sfalzamento dei giunti verticali. L'apparecchio murario presenta diatoni sempre in conci squadrati di calcarenite che attraversano la muratura in modo da dare un buon ammassamento tra le parti.

DESCRIZ.

Conci di calcarenite tenera di colore giallo.  
Malta di calce e sabbia polverulenta.

MATERIALI



Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:  
s = 15 ÷ 30 cm  
h = 15 ÷ 20 cm  
l = 15 ÷ 50 cm



GEOMETRIA

P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano
P.R.	N.R.	R.	P.R.	P.R.	R.	P.R.	Metodo punteggi	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
							LMT (sezione)		<125 cm	<125 cm
							IQM	4,9	4,55	3,85
							Parametri meccanici: valori MIN-MAX	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> ) 279-447	E (N/mm <sup>2</sup> ) 1209-1727	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> ) 4,3-6,5

ANALISI IQM

### **2.2.7 Definizione dei livelli di conoscenza e dei conseguenti fattori di confidenza**

Secondo quanto definito nella Circolare n. 617/2009, si può ritenere che il livello di conoscenza della fabbrica è quello meno approfondito, indicato con LC1 (la norma prevede anche i livelli di conoscenza LC2 ed LC3). A questo grado di conoscenza basso, la norma fa fronte mediante le seguenti prescrizioni:

1. si devono assumere i valori minimi per le resistenze e medi per i moduli elastici;
2. i valori delle resistenze vanno divise, oltre che per il coefficiente di sicurezza  $\gamma_m = 2$ , per un “fattore di confidenza”  $FC=1,35$  che opera come un ulteriore coefficiente parziale di sicurezza (la Circolare impone invece  $FC= 1,20$  e  $FC=1$  rispettivamente per i livelli di conoscenza LC2 ed LC3).

Tuttavia in un’analisi non lineare, come specificato nel C8.7.1.5 della Circolare n.617, i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza.

## 2.3 Modellazione e analisi strutturale dell'edificio

### 2.3.1 Il software di calcolo

L'analisi strutturale dell'edificio oggetto di studio è stata condotta implementando il modello dell'edificio nel software 3muri STA DATA.

Il software ha una interfaccia grafica intuitiva e consente una rapida modellazione, secondo lo schema di calcolo a telaio equivalente dell'unità strutturale, utilizzando per il calcolo sismico e statico delle strutture in muratura secondo le NTC 2018, NTC 2008, EC6, EC8, SIA.

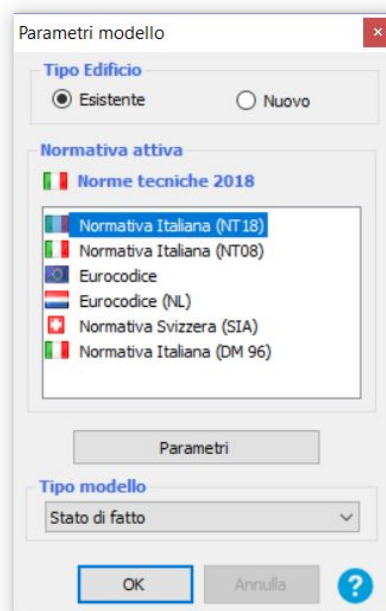


Figura 2.3.1\_1 - Definizione dei parametri normativi del modello BIM

Per il calcolo dell'analisi pushover viene utilizzato il metodo Frame by Macro Element (FME). Questo metodo di calcolo schematizza la struttura in macro elementi e permette di comprendere a pieno il comportamento sismico e, in aggiunta, fornisce tutte le informazioni necessarie per un esame accurato della struttura.

Il programma è ideato per eseguire un'analisi statica non lineare degli edifici in muratura. Inoltre consente di valutare in modo esatto gli stati limite di Salvaguardia (SLV), di Danno (SLD) e di Collasso (SLC).

Si basa su una modellazione avanzata, difatti, consente di calcolare le strutture in muratura modellando i singoli elementi: travi, pareti, solai, tetti ed elementi aggiuntivi in c.a., acciaio e legno.

Inoltre il software, ha la possibilità di adeguamento e miglioramento sismico, inserendo elementi di rinforzo come: travi e pilastri in c.a. e acciaio, fibre e telai metallici appositamente ancorati alla muratura.

Novità nella nuova versione è la possibilità di utilizzare il modulo SismoTest, ideato per eseguire la classificazione sismica degli edifici secondo la Normativa Italiana. Viene valutata la classe di rischio sismico dell'edificio allo stato di fatto considerando tutte le peculiarità negative presenti. Successivamente noti gli interventi da eseguire per il miglioramento sismico dell'edificio, valuta la classe di rischio allo stato di progetto. Inoltre il SismoTest produce i documenti necessari per ogni pratica di cliente avviata, tra cui la relazione e l'asseverazione dell'edificio.

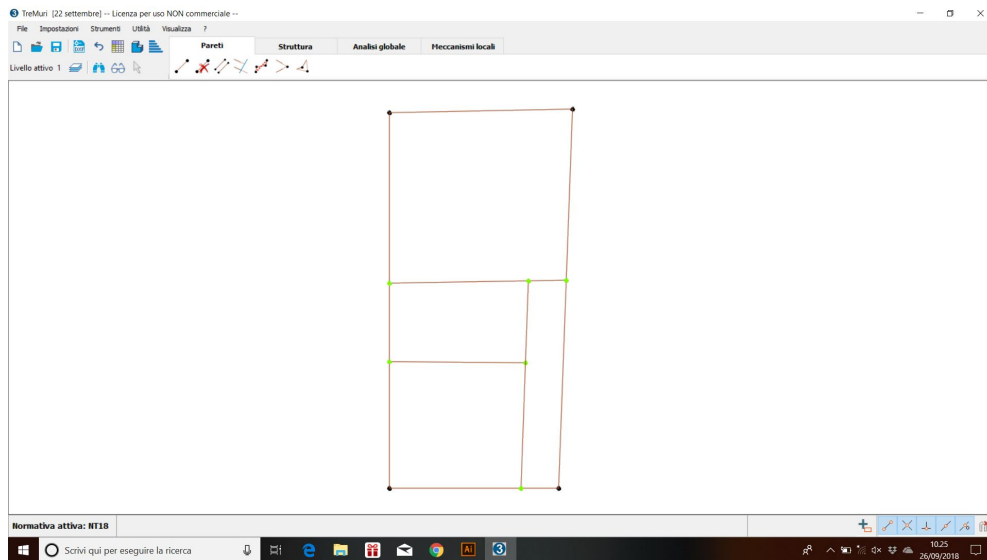
### **2.3.2 Fase di modellazione e caratterizzazione dei materiali**

Dopo aver impostato la normativa e scelto il metodo di indagine, si è proceduto alla fase input del modello nel software precedentemente descritto. Dopo una prima schematizzazione della muratura, tramite l'agevolazione di un programma CAD per l'importazione della pianta dei vari livelli, in formato DXF, per semplificare la fase di implementazione del modello.

Una volta inserito il DXF si passa all'inserimento delle pareti sia esterne che interne presenti ad ogni interpiano. Dall'intersezione delle pareti si materializzano nello spazio grafico dei punti denominati nodi che assumono colori differenti a seconda del tipo di "dipendenze" che le varie pareti assumono tra loro:

- **Nodo Tipo 1 (colore nero):** Sono nodi che sono estremo di parete per una o più pareti.

- **Nodo Tipo 2 (colore verde):** Sono nodi che oltre ad essere estremo di una parete, appartengono anche a un punto intermedio di un'altra parete.
- **Nodo Tipo 3 (colore giallo):** Sono nodi che sono prodotti dall'intersezione di più pareti senza essere estremo di alcuna parete interessata.



*Figura 2.3.2\_1 - Modellazione delle pareti con il software 3muri STA DATA*

Una volta definite le pareti dell'edificio si passa all'ambiente struttura, dove è possibile attribuire un materiale costruttivo ad ogni elemento definito in precedenza. Il "3muri" implementa al suo interno la tabella C8A.2 della Circolare n.617 del 2009 dove vengono riportate tutte le caratteristiche meccaniche delle diverse tipologie di materiale definite al §1.2 della presente Tesi.

All'interno della interfaccia "parametri muratura" vengono inseriti i parametri IQM e il fattore di confidenza calcolati nel Capitolo 2.

Figura 2.3.2\_2 - Definizione Parametri muratura in pietrame informe e conci di tufo tenero

Figura 2.3.2\_3 - Caratteristiche meccaniche dei materiali

Nel caso studio verranno definite due tipi di murature: la prima “pietrame informe” che verrà implementata nelle pareti del primo livello con le seguenti proprietà meccaniche:

- $E = 580 \text{ N/mm}^2$
- $G = 232 \text{ N/mm}^2$
- $w = 19 \text{ KN/m}^3$
- $f_m = 100 \text{ N/cm}^2$
- $t_0 = 2 \text{ N/cm}^2$
- $f_k = 51,85 \text{ N/cm}^2$
- $FC=1,35$  (fattore di confidenza LC1)
- $\gamma_m = 2$



- Drift taglio = 0,005 (secondo le NTC 2018)
- Drift flessione = 0,01 (secondo le NTC 2018)

la seconda “conci in tufo tenero” sarà inserita al secondo livello con le seguenti caratteristiche:

- $E = 1200 \text{ N/mm}^2$
- $G = 480 \text{ N/mm}^2$
- $w = 16 \text{ KN/m}^3$
- $f_m = 279 \text{ N/cm}^2$
- $t_0 = 4,3 \text{ N/cm}^2$
- $f_k = 72,59 \text{ N/cm}^2$
- $FC=1,35$  (fattore di confidenza LC1)
- $\gamma_m = 2$
- Drift taglio = 0,005 (secondo le NTC 2018)
- Drift flessione = 0,01 (secondo le NTC 2018)

Una volta definite le proprietà meccaniche della muratura, si passa alla caratterizzazione di ogni singolo pannello murario definendone altezza, spessore e materiale.

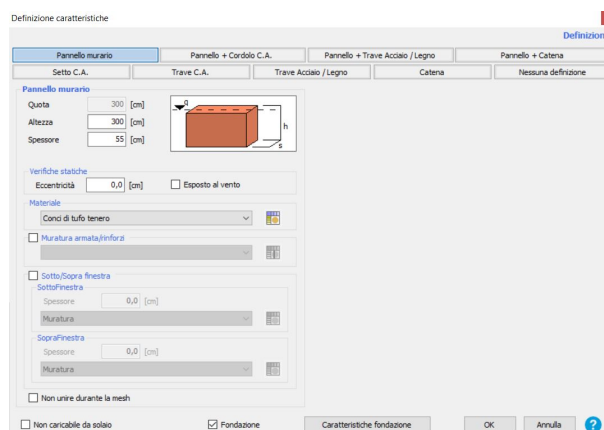


Figura 2.3.2\_4 - definizione caratteristiche del pannello murario

Inoltre dopo aver assegnato le varie caratteristiche alle pareti vengono inserite le bucatore, secondo cui nel modello del Telaio Equivalente si creeranno le fasce di piano e nodi rigidi.

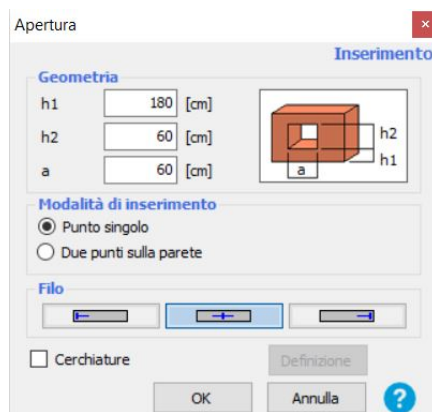


Figura 2.3.2\_5 - schermata geometrica della Foratura

La fase successiva è la definizione dei solai in legno presenti al primo livello e l'inserimento del solaio in putrelle e tavelloni e della volta a padiglione al secondo.

Nel programma di modellazione vengono inserite le caratteristiche geometriche e la tipologia del solaio. Una volta definiti questi parametri si apre una nuova finestra dove vengono inseriti i carichi strutturali ( $G_{k1}$ ), i carichi non strutturali ( $G_{k2}$ ) e i carichi variabili ( $Q_k$ ) che secondo normativa per uso residenziale sono pari a  $200 \text{ daN/m}^2$ , che saranno amplificati (per sicurezza) attraverso i coefficienti parziali  $\gamma_{Gi}$ .

Per il peso permanente strutturale  $G_{k1}$  si ha

$\gamma_{Gk1} = 1.3$  se il contributo di  $G_{k1}$  è sfavorevole ai fini della verifica;

$\gamma_{Gk1} = 1.0$  se il contributo di  $G_{k1}$  è favorevole ai fini della verifica.

Per il peso permanente non strutturale  $G_{k2}$  si ha

$\gamma_{Gk2} = 1.5$  se il contributo di  $G_{k2}$  è sfavorevole ai fini della verifica;

$\gamma_{Gk2} = 0.0$  se il contributo di  $G_{k2}$  è favorevole ai fini della verifica.

Inoltre vengono inseriti i coefficienti di combinazione ( $\psi_0$  e  $\psi_2$ ) che secondo quanto indicato nel §2.5.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 per ambienti di categoria A sono rispettivamente pari a 0,70 e 0,30.

Di seguito, vengono riportati i parametri geometrici e calcolate le analisi dei carichi dei vari orizzontamenti all'interno dell'edificio studio.

Definiamo quindi i parametri geometrici per la prima tipologia di orizzontamento presente al primo livello composto da un solaio in legno con

travi uso fiume della dimensione 15x15 cm e un interasse di 40 cm e un assito si spessore 3,5 cm.

Di seguito inoltre viene riportata l'analisi dei carichi per il solaio descritto prima.

Per il peso permanente Gk1:

$$\text{Travi in legno} = 0,15 \cdot 0,15 \cdot \frac{1}{0,40} \cdot 6 = 0,34 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Assito} = 0,035 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 6 = 0,21 \text{ KN/m}^2$$

Per il peso permanente Gk2:

$$\text{Caldana (conglomerato leggero)} = 0,09 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 18 = 1,62 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Pavimentazione} = 0,02 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 = 0,4 \text{ KN/m}^2$$

otterremo quindi un Gk1 pari a 55 daN/m<sup>2</sup> e un Gk2 di 202 daN/m<sup>2</sup>.

La seconda tipologia di solaio è quella caratterizzata da putrelle e tavelloni. Per quanto riguarda i parametri geometrici distinguiamo le travi IPE 180 con un interasse di 70 cm, dei tavelloni in laterizio 80x25x5 cm e un rinfiacco in calcestruzzo con uno spessore di 13 cm.

Quindi per l'analisi dei carichi si procederà con lo stesso criterio applicato precedentemente.

Per il peso permanente Gk1:

$$\text{Trave IPE 180} = \frac{1}{0,70} \cdot 1 \cdot 0,188 = 0,27 \text{ KN/m}^2$$

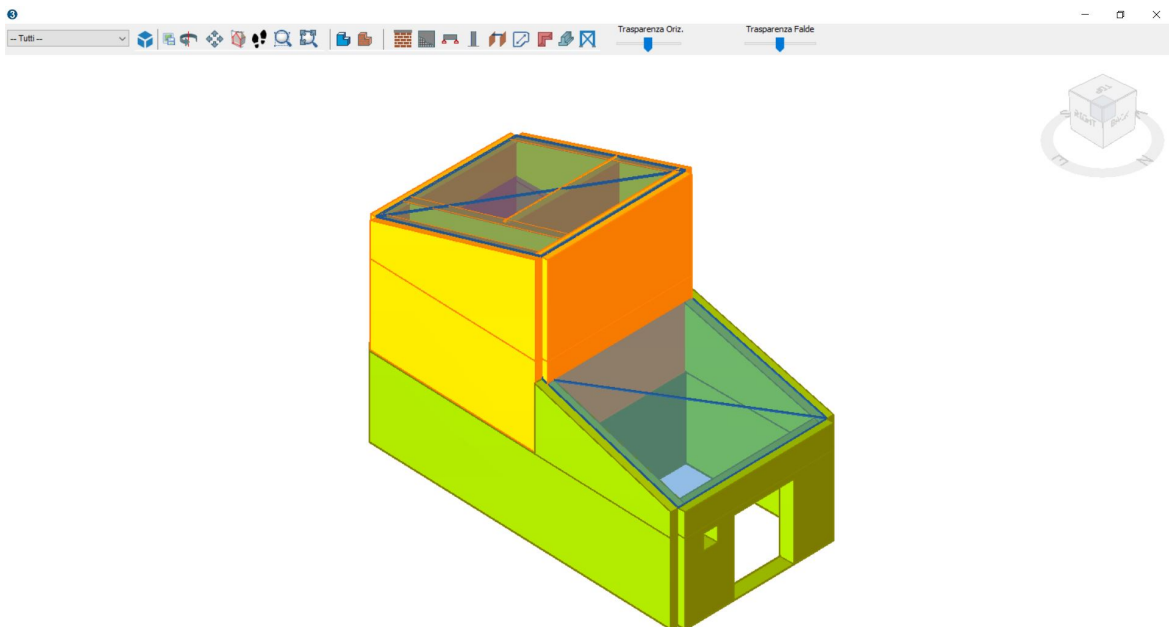
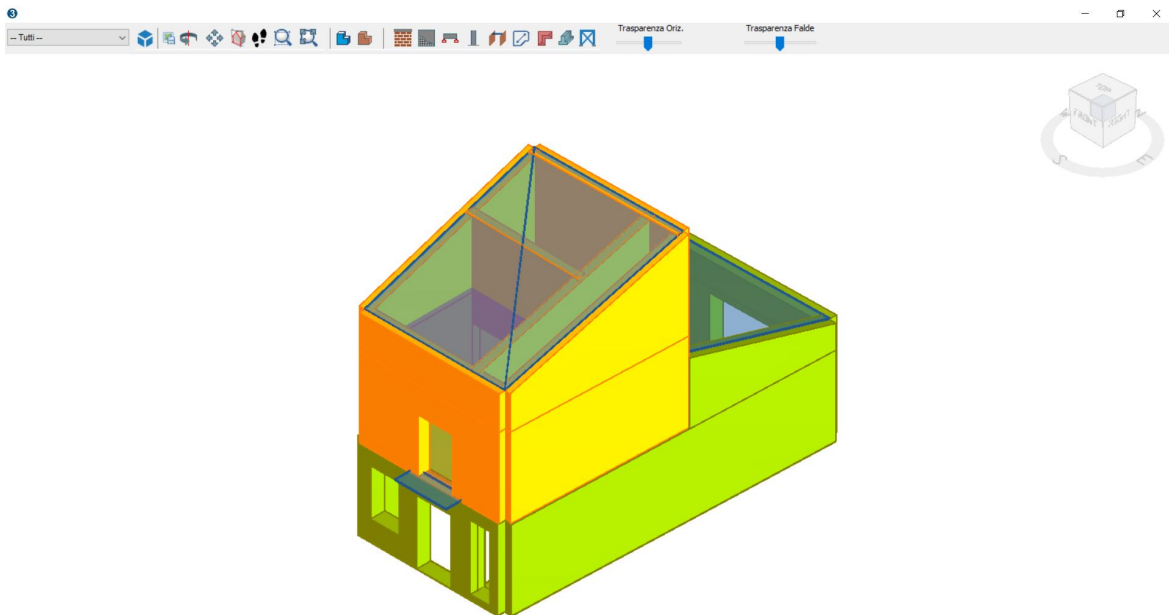
Per il peso permanente Gk2:

$$\text{Tavellonato} = 1 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{calcestruzzo} = 1 \cdot 1 \cdot 0,13 \cdot 18 = 2,34 \text{ KN/m}^2$$

si avrà Gk1= 27 daN/m<sup>2</sup> e Gk2=274 daN/m<sup>2</sup>.

Definite le analisi dei carichi dei solai, passo all'inserimento dei dati nel programma, definendo l'orditura e l'area del solaio stesso. Nel paragrafo seguente verrà introdotta la procedura per l'analisi dell'edificio.



*Figura 2.3.2\_6 - Rappresentazione del modello di studio dello stato di fatto*

### **2.3.3 Analisi strutturale**

Terminata la fase input e definita, quindi, la geometria strutturale della fabbrica si passa alla fase di analisi. Il programma permette di effettuare l'analisi in termini di risposta globale della struttura, attraverso la finestra dedicata "Analisi Globale", e in termini di risposta locale attraverso il modulo "Meccanismi Locali" in cui si ha la possibilità di valutare la sicurezza dell'edificio nei confronti dei possibili meccanismi locali.

La fase di analisi si presenta in due fasi: nella prima fase viene definito il telaio equivalente e successivamente, nella seconda fase, l'analisi vera e propria. Per ottenere il telaio equivalente, il software crea una mesh del modello che va a dividere le pareti in tre componenti elementari: maschi murari (disposti verticalmente alle aperture), fasce di piano (disposti sopra e sotto le aperture) e nodi rigidi (zone di intersezione tra i due elementi). Gli elementi individuati vengono identificati con colori diversi: maschi murari in marrone, le fasce di piano in verde e i nodi rigidi in celeste. Si riportano in seguito i telai equivalenti delle pareti.

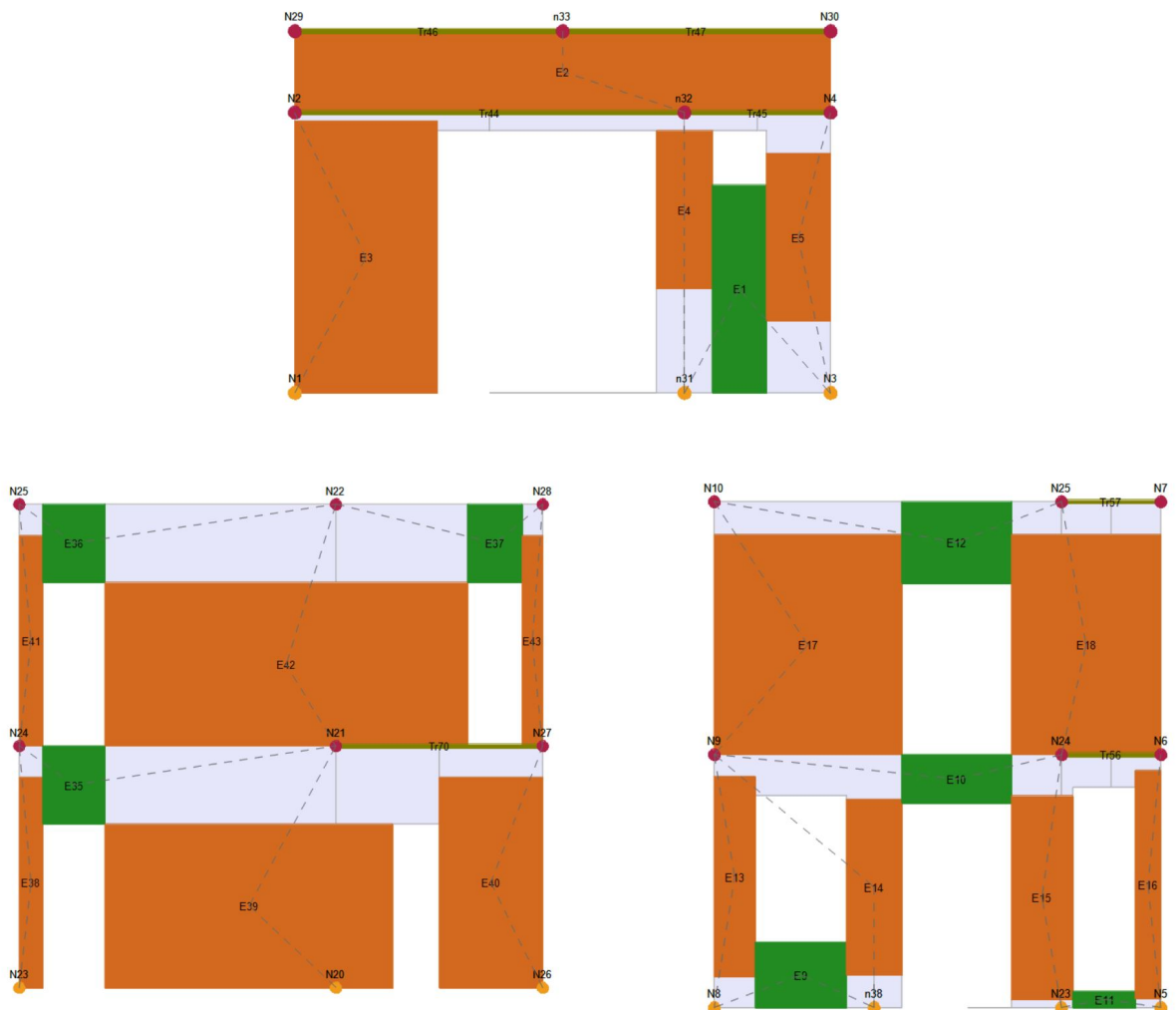


Figura 2.3.3\_1 - Telaio equivalente della Parete 1, Parete 7, Parete 3

Come anticipato nel §1.3 della Tesi, l'analisi statica non lineare prevede l'applicazione statica dei carichi i quali seguono una funzione monotona

crescente; la non linearità dipende dalle caratteristiche intrinseche dei materiali i quali subiscono un degrado di resistenza, in funzione del livello di carico, a causa del danno che la struttura ha subito.

È importante, per l'applicazione dell'analisi pushover, individuare il nodo di controllo che rappresenta un aspetto critico nell'analisi sismica degli edifici. Questo nodo deve rappresentare lo spostamento dell'intero edificio sotto l'azione sismica e la sua posizione deve essere attentamente valutata. In particolare, il nodo scelto come nodo di controllo deve possibilmente appartenere ad una parete dell'ultimo livello e che giunga al collasso del fabbricato. Una scelta sbagliata del nodo di controllo potrebbe condizionare i risultati dell'analisi in quanto potrebbe portare ad una sottostima degli spostamenti, soprattutto quando ci sono solai deformabili. Per ovviare in parte al problema, il software 3muri permette, una volta scelto il nodo di controllo e il livello su cui questo è posizionato, di riferire la curva pushover agli spostamenti medi del livello selezionato o agli spostamenti medi pesati sulla massa nodale.

L'analisi pushover consente di valutare la risposta sismica dell'edificio secondo le direzioni del sisma, in direzione X e Y, e vengono calcolate 24 combinazioni diverse in base alla direzione, al carico sismico e all'eccentricità. Per valutare il carico sismico da applicare e quindi definire i parametri ( $a_g, F_0, T_c^*, T_r$ ) per gli stati limite di salvaguardia della vita, danno e operatività vengono definiti tramite procedura automatica del software inserendo le coordinate sotto forma di latitudine e longitudine. Inoltre si può anche definire come indicato dalla normativa la Classe del suolo (nel caso studio una classe d'uso B), il valore della vita nominale pari a 50 anni e la categoria topografica (nel caso studio una categoria T2).

Terminate le 24 combinazioni di analisi pushover, il 3muri restituisce una tabella in cui sono riportati i risultati di ogni analisi e le verifiche effettuate. La normativa prevede le seguenti verifiche:

- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV

$$D_{\max} \leq D_u$$

Dove:

$D_{\max}$  è lo spostamento massimo richiesto; questo spostamento è definito dalla normativa in base al sito e alle caratteristiche della struttura (Classe d'Uso e Vita nominale);

$D_u$  invece è lo spostamento massimo della struttura e viene calcolato automaticamente in base alla risposta della curva pushover di un valore pari al 20% dello spostamento massimo; inoltre per questo Stato Limite si deve verificare che  $q^* < 3$ , con  $q^*$  definito come rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento (§7.8.1.5.4 della Circolare n.617 del 2009).

- Stato limite di esercizio, danno SLD

$$D_{\max} \leq D_d$$

Dove:

$D_{\max}$  è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di danno;

$D_d$  è il minore tra lo spostamento al massimo tra quello corrispondente al raggiungimento della massima forza e quello per il quale lo spostamento relativo fra due piani consecutivi (§7.8.1.5.4 della Circolare n.617 del 2009).

- Stato limite di esercizio, operatività SLO

$$D_{\max} \leq D_o$$

Dove:

$D_{\max}$  è lo spostamento richiesto da normativa calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di operatività;

$D_o$  è lo spostamento reale corrispondente allo stato limite di operatività (§7.8.1.5.4 della Circolare n.617 del 2009).

Successivamente, viene valutata la vulnerabilità sismica per tutti gli stati limite considerati. Tali parametri sono calcolati come il rapporto tra l'accelerazione al suolo che provoca nella struttura il raggiungimento dello stato limite considerato ( $PGA_{SLV}$ ,  $PGA_{SLO}$ ,  $PGA_{SLD}$ ) e l'accelerazione attesa al sito con fissa probabilità di accadimento nel periodo di riferimento considerato; nel caso di SLV si parla di indicatore del rischio di collasso, nel caso di SLE si considera invece indicatore del rischio di inagibilità:

$$\alpha_{SLV} = \frac{PGA_{SLV}}{PGA_{10\%}}$$

$$\alpha_{SLO} = \frac{PGA_{SLO}}{PGA_{81\%}}$$

$$\alpha_{SLD} = \frac{PGA_{SLD}}{PGA_{63\%}}$$

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento per ogni stato limite è fornita dalle tabelle 3.2.I delle NTC 2018.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi verificate e non verificate. Ogni analisi contiene i valori dello spostamento richiesto e offerto per gli Stati Limite, il fattore di struttura calcolato ed il grado di vulnerabilità per gli stati limite considerati. Inoltre vengono evidenziate in giallo le due analisi risultate più gravose nelle due direzioni X e Y.



N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Dmax SLC [cm]	Du SLC [cm]	q* SLC	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Du SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Du SLO [cm]	α SLC	α SLV	α SLD	α SLO
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniforme	0,00	2,90	1,54	3,98	2,07	1,15	3,98	0,61	1,54	0,40	1,54	0,548	0,578	2,180	3,319
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Forze statiche	0,00	3,23	1,62	4,08	2,31	1,21	4,08	0,67	1,62	0,44	1,62	0,513	0,537	2,333	3,553
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniforme	0,00	3,06	1,54	4,23	2,19	1,16	4,23	0,64	1,15	0,42	1,15	0,519	0,546	1,799	2,739
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Forze statiche	0,00	3,36	1,62	4,42	2,41	1,22	4,42	0,69	1,62	0,45	1,62	0,492	0,513	2,223	3,385
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniforme	0,00	1,36	1,09	1,50	0,87	0,82	1,50	0,23	1,09	0,17	1,09	0,853	0,959	3,699	5,324
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Forze statiche	0,00	1,42	1,13	1,78	0,93	0,85	1,78	0,23	0,77	0,17	0,77	0,840	0,935	2,720	3,882
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniforme	0,00	1,17	1,11	1,32	0,72	0,83	1,32	0,20	1,03	0,14	1,03	0,963	1,090	3,938	5,645
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Forze statiche	0,00	1,34	1,19	1,39	0,85	0,89	1,39	0,23	1,11	0,17	1,11	0,918	1,032	3,765	5,400
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniforme	61,44	2,64	1,42	3,88	1,87	1,06	3,88	0,53	1,42	0,37	1,42	0,560	0,595	2,224	3,146
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Uniforme	-61,44	3,14	1,66	4,08	2,24	1,24	4,08	0,65	1,66	0,43	1,66	0,542	0,568	2,273	3,461
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Forze statiche	61,44	2,96	1,50	4,00	2,11	1,12	4,00	0,62	1,50	0,41	1,50	0,523	0,551	2,207	3,361
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Forze statiche	-61,44	3,47	1,74	4,16	2,50	1,30	4,16	0,71	1,74	0,47	1,74	0,508	0,529	2,432	3,704
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniforme	61,44	2,80	1,42	4,08	1,99	1,07	4,08	0,58	1,23	0,39	1,23	0,530	0,561	2,094	3,132
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Uniforme	-61,44	3,32	1,66	4,38	2,38	1,25	4,38	0,68	1,07	0,45	1,07	0,510	0,532	1,560	2,376
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Forze statiche	61,44	3,08	1,50	4,31	2,21	1,13	4,31	0,64	1,50	0,42	1,50	0,502	0,527	2,118	3,225
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Forze statiche	-61,44	3,64	1,74	4,52	2,62	1,30	4,52	0,74	1,74	0,49	1,74	0,482	0,499	2,329	3,546
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniforme	29,70	1,44	1,09	1,62	0,94	0,82	1,62	0,24	1,09	0,18	1,09	0,811	0,909	3,532	5,092
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Uniforme	-29,70	1,28	1,09	1,41	0,80	0,82	1,41	0,21	0,89	0,16	0,89	0,896	1,011	3,309	4,709
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Forze statiche	29,70	1,50	1,13	1,91	0,99	0,85	1,91	0,24	0,85	0,18	0,85	0,803	0,891	2,810	4,036
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Forze statiche	-29,70	1,34	1,13	1,66	0,87	0,85	1,66	0,21	1,13	0,16	1,13	0,882	0,986	3,892	5,648
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniforme	29,70	1,24	1,11	1,42	0,78	0,83	1,42	0,20	1,03	0,15	1,03	0,925	1,043	3,800	5,460
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Uniforme	-29,70	1,08	1,15	1,25	0,65	0,86	1,25	0,18	0,99	0,13	0,99	1,040	1,179	4,037	5,776
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Forze statiche	29,70	1,42	1,19	1,50	0,91	0,89	1,50	0,24	1,03	0,18	1,03	0,877	0,982	3,403	4,874
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Forze statiche	-29,70	1,25	1,19	1,29	0,77	0,89	1,29	0,22	1,15	0,16	1,15	0,967	1,091	4,071	5,841

Visualizza dettagli

ζ E

Applica

Inserisci tutto in relazione

Cancela analisi

Legenda colori

- Verificato
- Non verificato
- Mancato decadimento
- Non converge a p.p.
- Analisi più gravosa

Esci

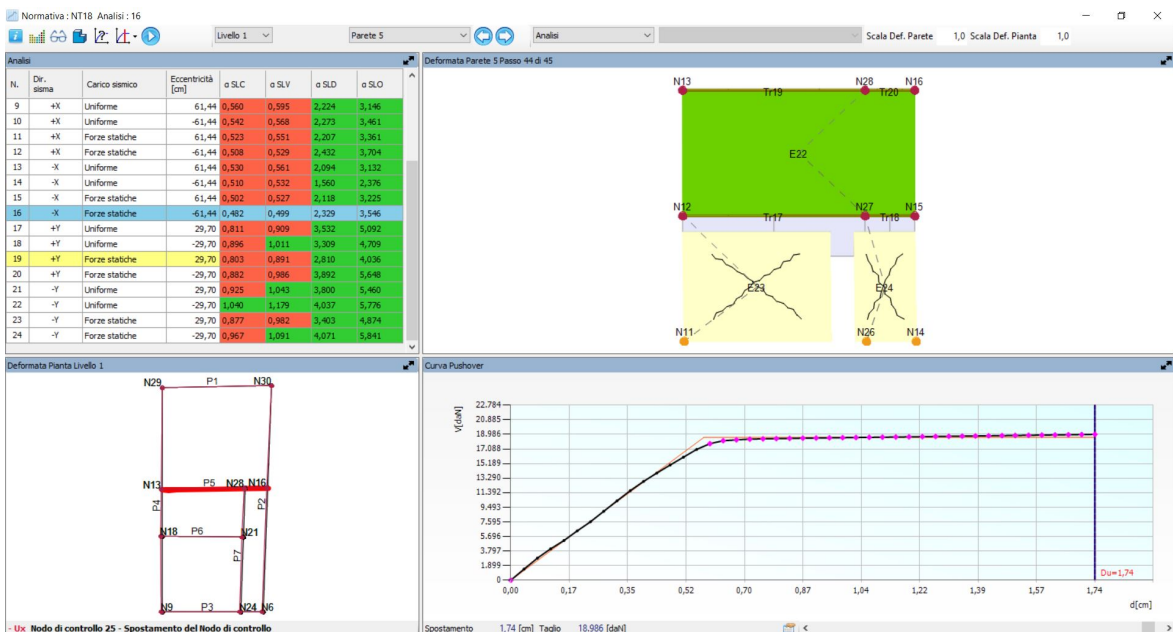


Tabella 2.3.3\_1 - dell'Analisi globale e curva di capacità per "-X Forze Statiche"

### 2.3.4 Classificazione sismica (PAM e IS-V) dello stato di fatto

Una volta analizzata la struttura tramite il modulo SismoTest descritto nei paragrafi precedenti si passa alla valutazione della Classe di Rischio dello stato di fatto, il quale viene avviata una pratica dove vengono inseriti i vari dettagli

	SLC	SLV	SLD	SLO
TRC	207	119	97	97
TRD	975	475	50	30
PGAC	0	0,58	0	0
PGAD	0	1,16	0	0

	Indice [%]	Classe
PAM	1,0912	B
IS-V	50	C
Peggior		C

Il seguente grafico rappresenta l'andamento PAM dello stato di fatto.

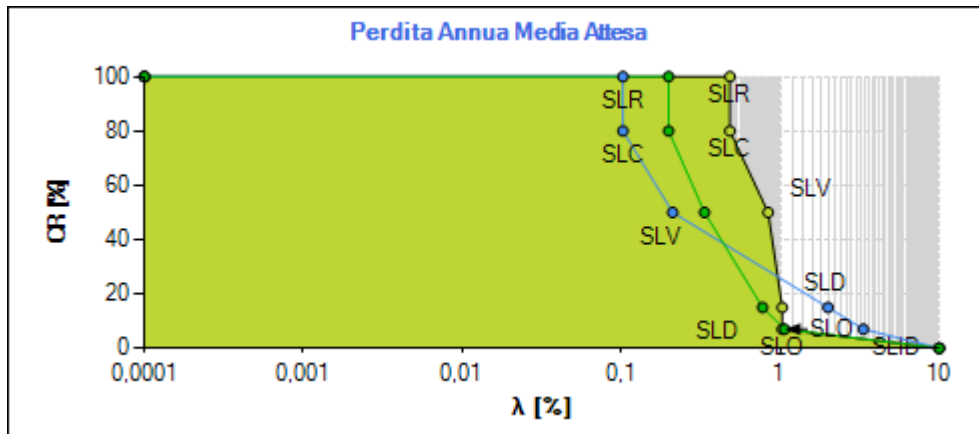


Figura 2.3.4\_1 - Curva PAM dello stato di fatto

Infine viene riportata la Classe di Rischio dello stato di fatto.

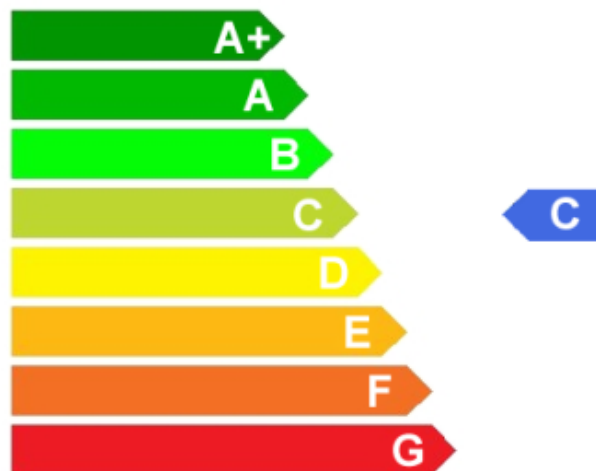


Figura 2.3.4\_2 - Classe di Rischio allo stato di fatto

## **2.4 Progetto di recupero e relativa variazione della Classe di Rischio**

### **2.4.1 Criteri e tipi di intervento**

Secondo quanto indicato nel §8.7.4 delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi vanno progettati, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme. La scelta del tipo, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende dai risultati della precedente fase di valutazione, dovendo mirare prioritariamente a contrastare lo sviluppo di meccanismi cinematici che possano indebolire la struttura, quindi, migliorare il comportamento globale della costruzione. In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riparazione di eventuali danni presenti;
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi;
- riduzione delle condizioni, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidità;
- riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso;
- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia;
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti, sia nel loro piano che ortogonalmente ad esso;
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali, alla struttura e tra loro;

- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali;
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli eventuali urti;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

Inoltre, per le strutture in muratura, inoltre, dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento dei collegamenti tra orizzontamenti e pareti, tra copertura e pareti, tra pareti confluenti in martelli murari o angolate;
- riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- rafforzamento delle pareti intorno alle aperture.

Per il caso studio verranno utilizzate delle tecniche di consolidamento della muratura, al primo livello, tramite iniezioni di miscele leganti atti ad irrobustire la muratura. Il successivo passaggio è rinforzare tre pareti all'interno del piano terra tramite fibre di vetro fibrorinforzate (FRP). Infine si passerà al progetto del solaio e della copertura al piano terra.

#### **2.4.2 Consolidamento della muratura con iniezioni di miscele leganti**

Il Primo intervento previsto, per la fabbrica, è la tecnica delle “iniezioni di malta” che viene utilizzato per il consolidamento della muratura al primo livello costituita da pietrame informe con elementi di varia pezzatura. La tecnica del consolidamento con iniezioni viene applicata in presenza di lesioni diffuse e per murature in pietra, generalmente dotate di percentuali relativamente elevate di vuoti interni.

L'intervento consiste nel riempire i vuoti lasciati dalla malta originaria o causati da dissesti con l'iniezione di nuova malta in modo da ripristinare la sua azione di regolarizzazione e collegamento tra i blocchi costituenti la tessitura muraria.

L'iniezione permette di omogeneizzare il comportamento della muratura andando a saturare le cavità ed innalzando, come conseguenza, la resistenza a taglio e compressione.

Questo tipo di tecnica è definita “passiva”, perché non richiede l'esecuzione di operazioni che alterano l'equilibrio o l'aspetto esteriore della struttura e necessita dell'esistenza di vuoti che permettano di far entrare all'interno della muratura le miscele leganti, che hanno il compito di migliorare le prestazioni meccaniche del muro, eliminando le fessure e le cavità, rafforzando così i legami fra i componenti della muratura stessa. L'esecuzione del consolidamento avviene attraverso 7 fasi:

- Pulitura;
- Stilatura dei giunti;
- Ubicazione dei fori;
- Realizzazione dei fori;
- Posizionamento dei tubetti di rabbocco;
- Lavaggio e saturazione della parete;
- Esecuzione delle Iniezioni.

La resistenza della muratura nel piano del maschio murario non consolidato in base alla Tabella C8A.2 della circolare 617/2009:

$$f_d = \frac{f_m}{\gamma_f \cdot FC} = \frac{10}{2 \cdot 1.35} = 3,7 \text{ daN/cm}^2$$
$$\tau_d = \frac{t_0}{\gamma_f \cdot FC} = \frac{0,2}{2 \cdot 1.35} = 0,074 \text{ daN/cm}^2$$
$$E = 5800 \text{ daN/cm}^2$$
$$G = 2320 \text{ daN/cm}^2$$

Tenendo conto degli effetti del consolidamento, occorre moltiplicare i precedenti parametri per il coefficiente correttivo corrispondente alla tipologia di muratura, in questo caso pari a 2,0:

$$f_m = 7,4 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{0d} = 0,148 \text{ daN/cm}^2$$

$$E = 11600 \text{ daN/cm}^2$$

$$G = 4640 \text{ daN/cm}^2$$

### 2.4.3 Rinforzo delle pareti tramite FRP

Dopo aver effettuato il consolidamento della muratura, tramite “iniezioni di malta”, un successivo intervento è stato quello di aumentare ulteriormente le prestazioni meccaniche delle pareti interne, dato che da un’analisi approfondita esse presentavano una rottura a taglio e pressoflessione, tutto è stato eseguito dall’uso degli FRP (Fiber Reinforced Polymer).

I materiali fibrorinforzati rappresentano una valida alternativa per il consolidamento di elementi in muratura. Possono essere utilizzati sia per aumentare la resistenza nel piano che fuori piano di una parete rendendola più resistente.

Gli FRP contribuiscono sia per incrementare la resistenza a pressoflessione che a taglio di maschi murari e di fasce di piano. Il comportamento di un elemento in muratura consolidato con materiali compositi è simile a quello di un elemento in calcestruzzo. Il rinforzo verticale (nel caso di un maschio murario) ha la stessa funzione dell’armatura longitudinale, quello orizzontale ha la stessa funzione delle staffe e la muratura ha la stessa funzione del calcestruzzo.

Nel caso studio viene utilizzata una rete preformata in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) prodotta da Fibre Net con tecnologia Textrusion, maglia 33x33 mm, con barre costituite da fibre di vetro alcalino-resistenti impregnate con resina termoindurente di tipo epossidico-vinilestere. Nella formazione della rete le fibre nelle due direzioni sono intrecciate ortogonalmente in modo da creare una maglia monolitica. L’utilizzo di reti e componenti preformati in GFRP permette di ottenere un’elevata durabilità ed efficacia del sistema nel

tempo, la riduzione dei ponti termici in corrispondenza dei punti di connessione e l'applicazione di ridotti spessori di intonaco ne limita l'incremento delle masse. Inoltre presenta anche altri vantaggi: contribuisce a dare ottime proprietà meccaniche alla muratura; la compatibilità con il supporto murario e con malte a base di calce o cemento; radiotrasparenza; amagneticità; ed infine inossidabilità.

Il calcolo del rinforzo e delle caratteristiche meccaniche è stato fatto attraverso un software di calcolo messo a disposizione da Fibre Net, dove attraverso l'inserimento dei parametri della muratura precedentemente consolidata, definendo il livello di conoscenza (LC1 nel caso studio) e inserendo lo spessore della muratura da rinforzare, otteniamo le seguenti caratteristiche meccaniche:

Resistenza a compressione della muratura rinforzata	$f_m = 7,4 \text{ daN/cm}^2$
Incremento di resistenza a compressione	1
Resistenza a taglio della muratura rinforzata	$\tau_{0d} = 0,53 \text{ daN/cm}^2$
Incremento di resistenza a taglio	3,508
Modulo di elasticità normale della muratura rinforzata	$E = 15960 \text{ daN/cm}^2$
Modulo di elasticità tangenziale della muratura rinforzata	$G = 6390 \text{ daN/cm}^2$

#### **2.4.4 Progetto e verifica del solaio in legno-calcestruzzo al primo livello**

I solai lignei esistenti esigono spesso interventi di rinforzo ed irrigidimento in quanto realizzati per sopportare carichi modesti; presentano quasi sempre deformabilità eccessiva rispetto alle attuali esigenze. Per questo motivo si

procede con la progettazione e la verifica del solaio in legno presente al primo livello.

I nuovi solai di legno, per essere adeguatamente resistenti e rigidi, necessitano che le sezioni delle travi abbiano dimensioni adeguate. È possibile sovrapporre alla struttura esistente una sottile soletta di calcestruzzo, adeguatamente armata e connessa, ottenendo per i vecchi solai un cospicuo aumento di resistenza e rigidità per carichi verticali. L'interposizione dei connettori a piolo e ramponi tra le travi di legno e la soletta di calcestruzzo è necessaria per consentire ai due materiali di collaborare tra loro; il risultato sarà una struttura solidale dove, per effetto dei carichi verticali, il calcestruzzo risulterà prevalentemente compresso ed il legno prevalentemente teso. La struttura mista legno-calcestruzzo risulterà migliore rispetto alla struttura di solo legno in quanto più rigida e resistente ne risulterà migliorato anche il comportamento dinamico (vibrazioni) e l'isolamento acustico.

La soletta di calcestruzzo rappresenta un ottimo accorgimento tecnico negli edifici di muratura in zona sismica, in quanto consente di collegare fra di loro i muri portanti realizzando un piano rigido in grado di ripartire meglio le azioni sismiche orizzontali.

I connettori a piolo sono stati ideati ed ampiamente testati per realizzare al meglio l'unione tra legno e calcestruzzo.

Alcuni connettori presentano una robusta piastra di base, come supporto del piolo che ne migliora l'efficacia, modellata a ramponi in modo tale da consentire la migliore aderenza al legno e di assorbire al meglio gli sforzi di taglio. In tal modo non si verificano fenomeni di rifollamento, inevitabili nel caso in cui il rinforzo sia affidato a semplici viti o chiodi.

La soluzione adottata nel caso studio è stata quella di riprogettare il solaio con travi e assito in legno lamellare GL24h con una soletta collaborante in calcestruzzo armato C25/30.



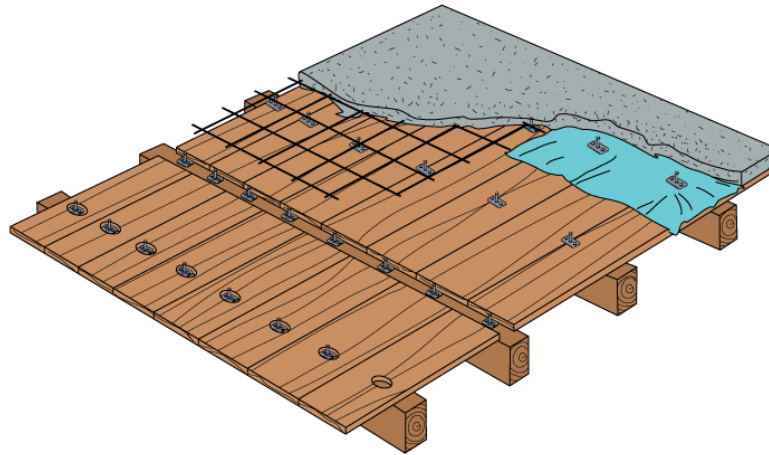


Figura 2.4.4\_1 - Particolare solaio misto legno-calcestruzzo con connettori

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche del legno lamellare, per le travi e l'assito, si fa riferimento alla normativa UNI EN 1194 considerando una classe GL24h:

Resistenza a flessione	$f_{m,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$
	$f_{t,90,g,k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$
	$f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità longitudinale	$E_{0,g,m} = 11600 \text{ N/mm}^2$
	$E_{0,g,05} = 9400 \text{ N/mm}^2$
	$E_{90,g,m} = 390 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità tangenziale	$G_{g,m} = 720 \text{ N/mm}^2$
Massa volumica	$\rho_{g,k} = 380 \text{ Kg/m}^3$

Il Calcestruzzo C25/30, invece, avrà le seguenti caratteristiche meccaniche, conforme alla EN 206-1 e alla UNI EN 11104:

Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd} = 14,17 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità longitudinale	$E = 31476 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità tangenziale	$G = 18885 \text{ N/mm}^2$
Massa volumica	$\rho_{g,k} = 25 \text{ KN/m}^3$

Le caratteristiche geometriche sono le seguenti:

Luce di calcolo	$L = 4300 \text{ mm}$
Base della trave	$b = 160 \text{ mm}$
Altezza della trave	$h = 200 \text{ mm}$
Interasse delle travi	$i = 400 \text{ mm}$
Spessore dell'assito	$s_a = 25 \text{ mm}$
Spessore della caldana	$s_c = 60 \text{ mm}$
Spessore del massetto	$s_m = 50 \text{ mm}$
Spessore della pavimentazione	$s_p = 20 \text{ mm}$

La prima operazione di verifica è stata quella dell'assito. In primo luogo è stata svolta l'analisi dei carichi e successivamente schematizzando il sistema in una trave appoggiata-appoggiata si sono ricavati Momento e Taglio massimi.

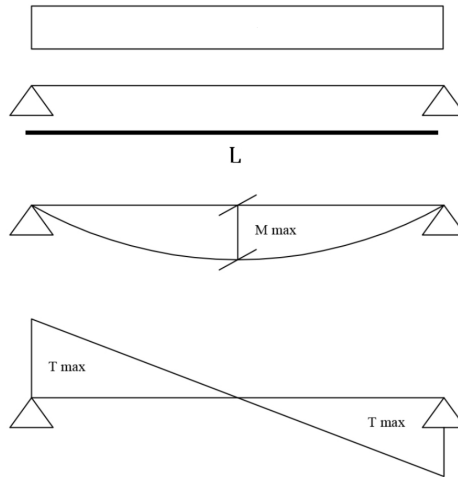


Figura 2.4.4\_2 - Schema delle sollecitazioni trave appoggiata-appoggiata

Analisi dei carichi dell'assito:

$$\text{Assito } (s = 25 \text{ mm}) = 0,025 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3,7 = 0,0925 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Caldana } (s = 60 \text{ mm}) = 0,06 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 16 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Massetto } (s = 50 \text{ mm}) = 0,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 6 = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pavimentazione } (s = 20 \text{ mm}) = 0,02 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

Si ottiene una  $G_{k1} = 1,05 \text{ kN/m}^2$  e un  $G_{k2} = 0,7 \text{ kN/m}^2$ .

Per quanto riguarda il carico accidentale verrà considerato pari a  $q = 2 \text{ kN/m}^2$  come definito dalla normativa per uso residenziale.

Successivamente si calcola il carico di progetto per le verifiche di resistenza:

$$q_{res} = ((\gamma_{Gk1} \cdot G_{k1}) + (\gamma_{Gk2} \cdot G_{k2}) + (\gamma_q \cdot q)) \cdot i = 2,17 \text{ KN/m}$$

con:  $\gamma_{Gk1} = 1,3$ ;  $\gamma_{Gk2} = 1,5$ ;  $\gamma_q = 1,5$

Si riportano i valori delle sollecitazioni:

$$M_{max} = \frac{q_{res} \cdot l^2}{8} = 0,043 \text{ KNm}$$

$$T_{max} = \frac{q_{res} \cdot l}{2} = 0,433 \text{ KN}$$

Una volta trovati Taglio e Momento massimo, si calcolano il modulo di resistenza, le tensioni sul materiale, le resistenze di calcolo a flessione e a taglio, per effettuare le verifiche a flessione e a taglio dell'assito.

Per poter verificare a flessione il tavolato bisogna calcolare il modulo di resistenza e la tensione del materiale.

$$W_y = \frac{b \cdot s_a^2}{6} = 104166 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max}}{W_y} = 0,416 \text{ N/mm}^2$$

La verifica ottenuta è soddisfatta con la relazione  $K_m \cdot \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\right) < 1$  con:

$$f_{m,y,d} = \frac{K_{mod} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m} \cdot k_h = 14,56 \text{ N/mm}^2$$

dove:  $k_h = \min \left( \left(\frac{600}{s}\right)^{0,1}; 1,1 \right)$  definito dal §11.7.1 delle NTC 2018;  $K_{mod} = 0,8$ .

Applicando la relazione, precedentemente scritta, per la verifica a flessione si ottiene che  $0,02 < 1$ , quindi la verifica a flessione per l'assito è soddisfatta.

La verifica a taglio del tavolato, invece, dovrà soddisfare la relazione

$$K_m \cdot \left(\frac{\tau_{max}}{f_{v,d}}\right) < 1$$

Vengono riportati i valori della tensione massima e la resistenza di calcolo caratteristica:

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{A} = 0,026 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{K_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = 1,49 \text{ N/mm}^2$$

Procedendo con la verifica della relazione si ottiene che  $0,017 < 1$ , quindi, anche la verifica a taglio dell'assito è verificata.

La seconda fase è, quella di, verificare a taglio e a flessione le travi in legno lamellare che sosterranno il solaio. Come per la verifica del tavolato, anche per le travi si procederà in maniera analoga. Di seguito saranno riportati i vari calcoli eseguiti per la verifica a flessione e a taglio:

Per l'analisi dei carichi, questa volta, sarà considerato anche il peso delle travi che sarà il peso proprio  $G_{k1}$  mentre l'analisi dei carichi precedente sarà valutata come sovraccarico permanente  $G_{k2}$ :

$$travi (160 \cdot 200 \text{ mm}) = 0,16 \cdot 0,20 \cdot 1 \cdot 3,7 \cdot \frac{1}{0,40} = 0,296 \text{ KN/m}^2$$

quindi si avrà:  $G_{k1} = 0,296 \text{ KN/m}^2$  e  $G_{k2} = 1,765 \text{ KN/m}^2$ . Per quanto riguarda il carico accidentale verrà considerato pari a  $q = 2 \text{ KN/m}^2$  come definito dalla normativa per uso residenziale.

Successivamente si calcola il carico di progetto e le sollecitazioni per le verifiche di resistenza:

$$q_{res} = \left( (\gamma_{Gk1} \cdot G_{k1}) + (\gamma_{Gk2} \cdot G_{k2}) + (\gamma_q \cdot q) \right) \cdot i = 2,64 \text{ KN/m}$$

con:  $\gamma_{Gk1} = 1,3$ ;  $\gamma_{Gk2} = 1,5$ ;  $\gamma_q = 1,5$

$$M_{max} = \frac{q_{res} \cdot L^2}{8} = 6,11 \text{ KNm}$$

$$T_{max} = \frac{q_{res} \cdot L}{2} = 5,68 \text{ KN}$$

Calcolate le sollecitazioni, per la verifica a flessione delle travi occorre calcolare il modulo di resistenza, la tensione del materiale e la resistenza di calcolo:

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 1066666 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{max}}{W_y} = 5,73 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{K_{mod} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m} \cdot k_h = 14,56 \text{ N/mm}^2$$

Definiti i parametri, si passa alla verifica a flessione delle travi lamellari attraverso la relazione  $K_m \cdot \left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}\right) < 1$ , ottenendo  $0,27 < 1$ . La condizione di verifica è soddisfatta.

Per la verifica a taglio delle travi, vengono riportati i valori della tensione massima e la resistenza di calcolo caratteristica:

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{A} = 0,27 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{K_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = 1,49 \text{ N/mm}^2$$

Procedendo con la verifica della relazione  $K_m \cdot \left(\frac{\tau_{max}}{f_{v,d}}\right) < 1$ , si ottiene che  $0,18 < 1$ , quindi, anche la verifica a taglio delle travi è verificata.

Effettuate le verifiche di resistenza, a flessione e a taglio delle travi, bisogna verificare la deformabilità della trave nella sua fase istantanea e nella sua fase

finale, poiché il contributo della deformabilità a taglio del sistema trave-soletta è convenzionalmente riferito alla sola trave in legno. In primo luogo si calcolano le frecce di deformabilità limite:

$$W_{in,lim} = \frac{L}{300} = 14,33 \text{ mm}$$

$$W_{fin,lim} = \frac{L}{250} = 17,20 \text{ mm}$$

Successivamente si passa alle verifiche di deformabilità che verranno condotte in modo diverso in base alle varie fasi, istantanea o finale:

la verifica della freccia istantanea è condotta con la combinazione di carico rara (combinazione caratteristica):

$$W_{in} = \frac{5 \cdot q_{d,rara} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = 2,87 \text{ mm} < \frac{L}{300}$$

La verifica della freccia finale, invece, è condotta con la combinazione di carico quasi permanente:

$$W_{fin} = \frac{5 \cdot q_{d,qp} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} (1 + K_{def}) + \frac{5 \cdot q_{d,rar} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} (1 + \psi_2 \cdot K_{def}) = 8,01 \text{ mm}$$

$$< \frac{L}{250}$$

Anche queste verifiche risultano soddisfatte.

Per la collaborazione legno-calcestruzzo, si sono adoperati dei connettori CTL 12/60 della Tecnaria ( $d = 12 \text{ mm}$  e  $\rho_k = 4,20 \text{ KN/m}^3$ ), collegati da una piastra di dimensioni  $50 \times 50 \times 4 \text{ mm}$  e delle viti tirafondo di diametro  $8 \text{ mm}$  e lunghezza  $100 \text{ mm}$ . La capacità portante del connettore, secondo il DT 206, è pari al minore dei seguenti valori:

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} f_{h,k} \cdot L_w \cdot d \\ f_{h,k} \cdot L_w \cdot d \cdot \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot L_w^2 \cdot d}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{f_{h,k} \cdot M_{y,k} \cdot d} \end{cases}$$

dove

$M_{y,k}$  è il valore caratteristico del momento di snervamento del connettore che si ricava dalla espressione:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 97850,41 \text{ Nmm}$$

$f_{h,k}$  è il valore caratteristico della resistenza a rifollamento del legno (per unioni con preforatura) pari a:

$$f_{h,k} = 0,82 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 30,31 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 36368 \text{ N} \\ 15078 \text{ N} \\ 13721 \text{ N} \end{cases}$$

La capacità portante del connettore è quindi pari a:

$$F_{v,Rd} = K_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk,min}}{\gamma_v} = 7317 \text{ N}$$

Per le unioni legno-calcestruzzo e per il tipo di connettore adottato, è necessario calcolare la rigidezza del connettore in termini di modulo di scorrimento istantaneo  $K_{ser}$ , sotto l'azione dei carichi allo Stato Limite di Esercizio, e modulo di scorrimento istantaneo  $K_u$ , sotto l'azione dei carichi allo Stato Limite Ultimo:



$$K_{ser} = 2 \cdot \rho^{1,5} \cdot \frac{d}{20} = 10328,93 \text{ N/mm}$$

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 6885,95 \text{ N/mm}$$

Per il calcolo delle rigidezze del sistema misto legno-calcestruzzo allo Stato Limite Ultimo ( $t = 0$ ), si adottano le formulazioni riportate nell'appendice B dell'Eurocodice 5.

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot s_{eq}}{K_u \cdot L^2}} = 0,05$$

$$a = a_1 + a_2 = s_{assito} + \frac{s_{cls} + h}{2} = 155 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a}{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2} = 13,42 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 141,58 \text{ mm}$$

con:

$E_1$  = Modulo elastico del calcestruzzo pari a  $31746 \text{ N/mm}^2$

$A_1$  = Area del calcestruzzo pari a  $24000 \text{ mm}^2$

$E_2$  = Modulo elastico del legno pari a  $11600 \text{ N/mm}^2$

$A_2$  = Area del calcestruzzo pari a  $32000 \text{ mm}^2$

$s_{eq}$  = Passo equivalente dei connettori pari a  $350 \text{ mm}$ .

$a$  = Distanza tra il baricentro della soletta in calcestruzzo e il baricentro della trave

$a_1$  = Distanza tra il baricentro della soletta in calcestruzzo e il baricentro della sezione mista

$a_2$  = Distanza tra il baricentro della trave e il baricentro della sezione mista

Inoltre, è da notare che nella formula B6 riportata nell'Appendice B dell'Eurocodice 5, il termine  $(h_1 + h_2)/2$  viene sostituito da  $a = a_1 + a_2$  che permette di tener conto dello spessore compreso tra l'estradosso della trave e l'intradosso della soletta.

Per poter valutare lo sforzo agente sul connettore  $F_{sd}$  ed effettuare la relativa verifica, bisogna calcolare la rigidezza efficace del sistema misto  $(EJ)_{eff}$ :

$$\begin{aligned}(EJ)_{eff} &= (E_1 \cdot J_1 + \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2) + (E_2 \cdot J_2 + \gamma_2 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2) \\ &= 2,23 \cdot 10^{12} Nmm^2\end{aligned}$$

$$F_{sd} = \gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{eq} \cdot \frac{T_{max}}{(EJ)_{eff}} = 4051 N$$

Ai fini della verifica deve essere soddisfatta la relazione  $\frac{F_{sd}}{F_{v,Rd}} < 1$ , quindi la verifica del connettore allo Stato Limite Ultimo a  $t = 0$  è verificata.

Nella verifica allo Stato Limite Ultimo a tempo finale ( $t = \infty$ ), si deve tener conto degli effetti viscosi del legno e del calcestruzzo adottando i seguenti valori per le rigidezze delle unioni e dei materiali:

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{1 + K_{def}} = 6456 N/mm$$

$$K_{u,fin} = \frac{K_u}{1 + K_{def}} = 4304 N/mm$$

$$E_{1,fin} = \frac{E_1}{1 + \psi_2 \cdot \phi} = 10492 N/mm^2$$

$$E_{2,fin} = \frac{E_2}{1 + \psi_2 \cdot K_{def}} = 7250 \text{ N/mm}^2$$

con:  $\phi = 2$  viscosità del calcestruzzo,  $\psi_2 = 1$  secondo EN 1995-2003.

Procedendo come a tempo iniziale si ottiene:

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{1,fin} \cdot A_1 \cdot s_{eq}}{K_{u,fin} \cdot L^2}} = 0,10$$

$$a = a_1 + a_2 = s_{assito} + \frac{s_{cls} + h}{2} = 155 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_{1,fin} \cdot A_1 \cdot a}{\gamma_1 \cdot E_{1,fin} \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot E_{2,fin} \cdot A_2} = 14,73 \text{ mm}$$

$$a_1 = a - a_2 = 140,27 \text{ mm}$$

$$(EJ)_{eff,fin} = (E_{1,fin} \cdot J_1 + \gamma_1 \cdot E_{1,fin} \cdot A_1 \cdot a_1^2) + (E_{2,fin} \cdot J_2 + \gamma_2 \cdot E_{2,fin} \cdot A_2 \cdot a_2^2) = 1,37 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Infine viene calcolato lo sforzo agente  $F_{sd}$  sul connettore e la relativa verifica:

$$F_{sd} = \gamma_1 \cdot E_{1,fin} \cdot A_1 \cdot a_1 \cdot s_{eq} \cdot \frac{T_{max}}{(EJ)_{eff,fin}} = 4508 \text{ N}$$

Ai fini della verifica deve essere valida la relazione  $\frac{F_{sd}}{F_{v,Rd}} < 1$ , quindi la verifica

del connettore allo Stato Limite Ultimo a  $t = \infty$  è soddisfatta.

### 2.4.5 Nuova classificazione sismica

Una volta definiti i consolidamenti da attuare nella fabbrica, al fine di eseguire le dovute verifiche nei riguardi del progetto migliorativo dell'edificio in questione, si procede con l'esecuzione dell'analisi statica non lineare, in maniera analoga a quella eseguita per lo stato di fatto.

Confrontando i risultati ottenuti con il software Sismotest, possiamo notare come effettivamente, dopo gli interventi di miglioramento eseguiti, sia possibile ottenere un passaggio di classe ed un evidente miglioramento delle condizioni strutturali.

	SLC	SLV	SLD	SLO
TRC	503	299	129	94
TRD	975	475	50	30
PGAC	0	0,94	0	0
PGAD	0	1,16	0	0

	Indice [%]	Classe
PAM	0,7747	A
IS-V	81,0345	A
Peggioro		A

Il seguente grafico rappresenta l'andamento del PAM

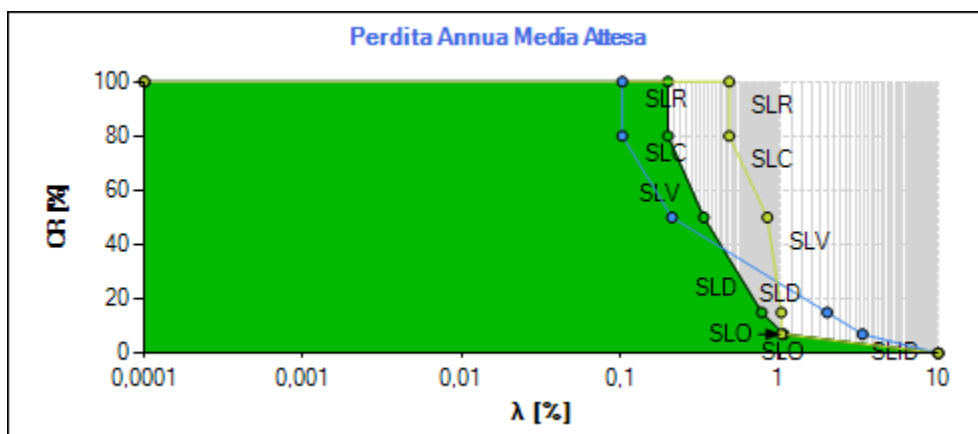


Figura 2.4.5\_1 - Curva PAM dello stato di progetto

Si nota come gli interventi di adeguamento e miglioramento sismico diano un netto rialzo alla classificazione, e quindi una migliore resistenza in caso di sisma.

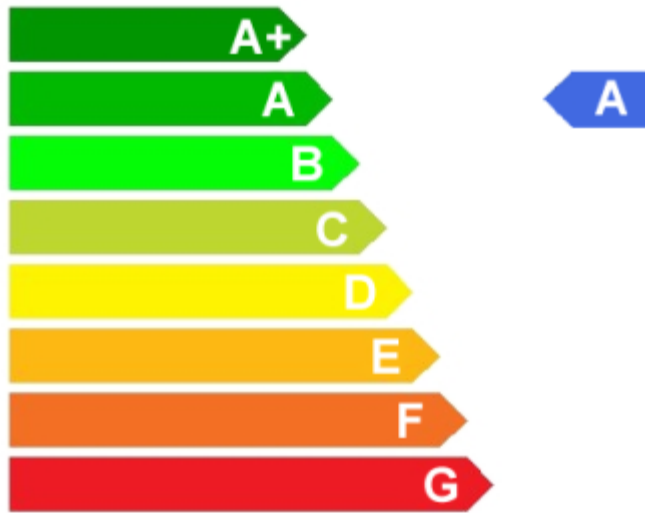


Figura 2.4.5\_2 - Classe di Rischio dopo l'intervento di miglioramento

Si riporta, inoltre, l'Asseverazione delle Classi di Rischio Sismico.

**ASSEVERAZIONE CLASSI DI RISCHIO SISMICO**

art. 4 comma 1 del decreto ministeriale MIT 65 del 07/03/2017

**CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA COSTRUZIONE**

Situata nel COMUNE DI \_\_\_\_\_

al/ai seguente/i indirizzo/i \_\_\_\_\_

riportata al Catasto al Foglio n. \_\_\_\_\_ Particella/e \_\_\_\_\_ Sub. n. \_\_\_\_\_

Coordinate geografiche di 2 spigoli opposti della costruzione (WGS84 – gradi decimali – fuso 32-33)			
Spigolo 1	Lat. _____	Long. _____	Fuso _____
Spigolo 2	Lat. _____	Long. _____	Fuso _____

Il sottoscritto ing./arch. \_\_\_\_\_

nato a \_\_\_\_\_ residente a \_\_\_\_\_

in \_\_\_\_\_ n. \_\_\_\_\_ C.F. \_\_\_\_\_

iscritto all'Ordine \_\_\_\_\_ della Prov. di \_\_\_\_\_

n. iscriz. \_\_\_\_\_, consapevole delle responsabilità penali e disciplinari in caso di mendace dichiarazione,

**PREMESSO**

- che è in possesso dei requisiti richiesti dall'art. 3 del decreto ministeriale MIT 65 del 07/03/2017;
- che opera nella qualità di tecnico incaricato di effettuare<sup>1</sup>:

la Classificazione del rischio sismico dello stato di fatto della costruzione sopra individuata;

il progetto per la riduzione del Rischio sismico della costruzione sopra indicata e la relativa Classificazione del Rischio sismico conseguente l'intervento progettato;

<sup>1</sup> Barrare la casella o le caselle di interesse

**ASSEVERA**

**LA SEGUENTE DICHIARAZIONE**

Dalle analisi della costruzione emerge quanto segue:

**STATO DI FATTO (prima dell'intervento):**

- Classe di Rischio della costruzione<sup>2</sup>: A+  A  B  C  D  E  F  G
- Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V)<sup>3</sup>: 50 \_\_\_\_\_ %
- Valore della Perdita Annua Media (PAM)<sup>4</sup>: 1.0912 \_\_\_\_\_ %
- Linea Guida utilizzata come base di riferimento per le valutazioni, approvata con D.M. n. 65 del 07/03/2017 e successivi aggiornamenti.
- Classe di rischio attribuita utilizzando il metodo: convenzionale  semplificato
- si allega la relazione illustrativa dell'attività conoscitiva svolta e dei risultati raggiunti

**STATO CONSEGUENTE L'INTERVENTO PROGETTATO<sup>5</sup>**

- Classe di Rischio della costruzione : A+  A  B  C  D  E  F  G
- Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V) : 81.0345 \_\_\_\_\_ %
- Valore della Perdita Annua Media (PAM)<sup>4</sup>: 0.7747 \_\_\_\_\_ %
- Linea Guida utilizzata come base di riferimento per le valutazioni, approvata con D.M. n. 65 del 07/03/2017 e successivi aggiornamenti.
- Classe di rischio attribuita utilizzando il metodo: convenzionale  semplificato
- estremi del Deposito/Autorizzazione al Genio Civile, ai sensi delle Autorizzazioni in zona sismica, n. \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_
- si allega la relazione illustrativa dell'attività conoscitiva svolta e dei risultati raggiunti, inerenti la valutazione relativa alla situazione post-intervento

**EFFETTO DELLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO CONSEGUITO MEDIANTE**

**L'INTERVENTO PROGETTATO<sup>6</sup>**

Gli interventi strutturali progettati consentono una riduzione del rischio sismico della costruzione ed il passaggio di un numero di Classi di Rischio, rispetto alla situazione ante operam, pari a:

n. 1 classe

n. 2 o più classi

Data \_\_\_\_\_

Timbro e firma \_\_\_\_\_

<sup>2</sup> Alla lettera che identifica la Classe di Rischio aggiungere il simbolo (\*) se attribuita con il metodo semplificato.

<sup>3</sup> Da omettere per attribuzioni effettuate con il metodo semplificato.

<sup>4</sup> Sezione da compilare quando si attribuisce la Classe di Rischio in conseguenza della redazione di un progetto di intervento strutturale.

*Asseverazione delle Classi di Rischio contenente lo stato di fatto e di progetto*

#### **2.4.6 Valutazioni economiche e stima dei costi degli interventi**

Le valutazioni economiche sono essenziali per avere riscontro pratico dell'efficacia degli incentivi introdotti dal D.M. 28/02/2017. Il suddetto decreto, come già analizzato nel paragrafo 8.1, consente al soggetto, che affronta la spesa di avere la possibilità di detrarre una percentuale che varia da un minimo del 50% ad un massimo dell'85%.

La percentuale del costo totale detraibile è funzione del miglioramento di Classe di Rischio ottenuto. Nel caso specifico delle singole unità immobiliari sia a destinazione residenziale che produttiva, la detrazione risulta essere pari a 50%, 70% o 80% a seconda che l'intervento di miglioramento sismico comporti rispettivamente una variazione di 0, 1 o 2 Classi di Rischio. Per quanto riguarda il caso di mancata variazione di classe, la detrazione del 50% è consentita a condizione che gli interventi previsti siano migliorativi, anche se non tali da causare lo scatto di classe.

Tuttavia, per avere una valutazione economica effettiva, non è sufficiente valutare i costi degli interventi: la percentuale detraibile, che in questo caso è pari all'80%, ripartita nei cinque anni di stabilimento della manovra, è efficace entro i limiti dell'IRPEF o dell'IRES dovute per l'anno in questione e sino ad un capitale soglia di 96 mila euro annui.

Nel caso in esame, gli interventi di consolidamento progettati hanno consentito il miglioramento di 2 Classi di Rischio, il che implica il massimo beneficio fiscale, ovvero la riduzione dell'80% dei costi.

Nella prospettiva di valutare quale sia il beneficio fiscale, si ritiene utile confrontare la percentuale spettante secondo il Sisma Bonus, quantificata di seguito mediante computo metrico estimativo.

Importo totale dei lavori di consolidamento strutturale incluso di intonacatura per i muri interessati
47.272,09 €
Percentuale Sismabonus detraibile (80% dell'importo totale)
37.817,67 €
Quota totale con detrazione
9.454,42 €
Quota di ammortamento annua
7.563,54 €

In allegato viene ripotato il documento contenente la stima dei costi degli interventi.

					Pag.1	
N°	N.E.P.	DESCRIZIONE	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo	
1		21.1.11 Rimozione di intonaco interno od esterno eseguito con qualsiasi mezzo, compreso l'onere del carico del materiale di risulta sul cassone di raccolta, escluso il trasporto a rifiuto.  mq x cm	684,981	3,49	2.390,58	
2		AN. 01 Demolizione di solaio in legno, in qualunque piano di fabbricato, computando la superficie prima della demolizione. Sono comprese nel prezzo tutte le cautele occorrenti ed il carico del materiale di risulta sul cassone di raccolta, escluso il trasporto a rifiuto.  m²	23,804	46,07	1.096,65	
3		21.1.6 Demolizione di pavimenti e rivestimenti interni od esterni quali piastrelle, mattoni in graniglia di marmo, e simili, compresi la demolizione e la rimozione dell'eventuale sottostrato di collante e/o di malta di allettamento fino ad uno spessore di cm 2, nonché l'onere per il carico del materiale di risulta sul cassone di raccolta, escluso il trasporto a rifiuto.  mq	23,804	9,95	236,85	
4		21.1.9 Demolizione di massetti di malta, calcestruzzi magri, gretonati e simili, di qualsiasi spessore, compreso il carico del materiale di risulta sul cassone di raccolta, escluso il trasporto a rifiuto.  mq x cm	119,019	1,75	208,28	
5		21.1.5.2 Demolizione di muratura di qualsiasi tipo, compresi gli eventuali rivestimenti e intonaci, l'onere del carico del materiale di risulta sul cassone di raccolta, escluso il trasporto a rifiuto. eseguito a mano  mc	1,944	450,77	876,30	
6		21.1.25 Trasporto alle pubbliche discariche del comune in cui si eseguono i lavori o nella discarica del comprensorio di cui fa parte il comune medesimo o su aree autorizzate al conferimento, di sfabbricidi classificabili non inquinanti provenienti da lavori eseguiti all'interno del perimetro del centro edificato, per mezzo di autocarri a cassone scarrabile, compreso il nolo del cassone, esclusi gli oneri di conferimento a discarica.  mc	14,745	31,88	470,07	
7		AN. 02 Consolidamento di strutture murarie a sacco. Consolidamento di strutture murarie a sacco, caotiche e incoerenti con perforazioni ed iniezioni di miscele di materiali in sospensione, da eseguirsi nel seguente modo: - pulizia e messa a vivo dei conci con spazzola a fili di acciaio e lavaggio della superficie; - scarnitura profonda dei giunti evitando accuratamente la scalpellinatura degli stessi, la loro preparazione secondo le indicazioni della D.L.; - esecuzione di un reticolo nel paramento, costituito da un numero adeguato di fori per iniezioni, mediamente n. 4 per ogni metro quadrato, utilizzando le cavità presenti nei giunti o praticando i fori con il trapano elettrico a sola rotazione, il cui diametro di perforazione sia di almeno mm 20; - fissaggio dei boccagli con idonea malta o legante puro e colatura di acqua, se necessaria, al fine di inumidire le cavità da iniettare; - iniezioni a bassa pressione di miscele di materiali in sospensione con pompe manuali, a base di cemento tipo 325-425, oppure con altra base				
		A RIPORTARE			5.278,73	



					Pag.2	
N°	N.E.P.	DESCRIZIONE	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo	
		RIPORTO			5.278,73	
		legante, a scelta della D.L., con dosaggio minimo di Kg 200 di legante a metro cubo di miscela, secondo l'ordine di iniezione indicato dalla D.L.; - asportazione di boccagli di iniezione e della malta di fissaggio; - sigillatura con idonea malta o a base di calce, terre colorate e sabbia oppure a base di cemento tipo 425 e sabbia, a scelta della D.L.; - perforazione delle pareti; - carico, trasporto e scarico, fino a qualsiasi distanza, del materiale di risulta; - mano d'opera e attrezzature speciali necessarie. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare il lavoro finito. E' esclusa l'eventuale spicconatura di intonaci Consolidamento di strutture murarie a sacco, spessore da cm 51 e fino a cm 70.	mq	122,510	105,00	12.863,55
8		AN. 03 Consolidamento di strutture murarie a sacco. Consolidamento di strutture murarie a sacco, caotiche e incoerenti con perforazioni ed iniezioni di miscele di materiali in sospensione, da eseguirsi nel seguente modo: - pulizia e messa a vivo dei conci con spazzola a fili di acciaio e lavaggio della superficie; - scarnitura profonda dei giunti evitando accuratamente la scalpellinatura degli stessi, la loro preparazione secondo le indicazioni della D.L.; - esecuzione di un reticolo nel paramento, costituito da un numero adeguato di fori per iniezioni, mediamente n. 4 per ogni metro quadrato, utilizzando le cavità presenti nei giunti o praticando i fori con il trapano elettrico a sola rotazione, il cui diametro di perforazione sia di almeno mm 20; - fissaggio dei boccagli con idonea malta o legante puro e colatura di acqua, se necessaria, al fine di inumidire le cavità da iniettare; - iniezioni a bassa pressione di miscele di materiali in sospensione con pompe manuali, a base di cemento tipo 325-425, oppure con altra base legante, a scelta della D.L., con dosaggio minimo di Kg 200 di legante a metro cubo di miscela, secondo l'ordine di iniezione indicato dalla D.L.; - asportazione di boccagli di iniezione e della malta di fissaggio; - sigillatura con idonea malta o a base di calce, terre colorate e sabbia oppure a base di cemento tipo 425 e sabbia, a scelta della D.L.; - perforazione delle pareti; - carico, trasporto e scarico, fino a qualsiasi distanza, del materiale di risulta; - mano d'opera e attrezzature speciali necessarie. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare il lavoro finito. E' esclusa l'eventuale spicconatura di intonaci Consolidamento di strutture murarie a sacco fino allo spessore medio di cm 50.	mq	19,127	83,00	1.587,54
9		21.2.20.1 Rinforzo o consolidamento di pareti di qualsiasi genere, anche ad una testa, mediante applicazione di rete preformata in materiale composito fibrorinforzato G.F.R.P. (Glass Fiber Reinforced Polymer), costituita da fibra di vetro AR (Alcalino Resistente) con contenuto di zirconio pari o superiore al 16% e resina termoindurente di tipo vinilestere-epossidico, rapporto in peso fibra/resina pari a 65/35%, modulo elastico a trazione medio 23.000 N/mm², resistenza a trazione della singola barra 3,5 kN e allungamento a rottura 1,5%. Sono inoltre compresi: la pulitura degli elementi murari; l'abbondante lavaggio della superficie muraria; l'esecuzione di perfori in numero di 4/m² e la fornitura ed inserimento di connettori preformati ad "L" in G.F.R.P. aventi sezioni 10x7 mm e lunghezza opportuna in relazione allo spessore murario, completi di				
		A RIPORTARE			19.729,82	

					Pag.3	
N°	N.E.P.	DESCRIZIONE	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo	
		RIPORTO			19.729,82	
		fazzoletto di ripartizione del carico, applicati alla parete con inserimento per almeno 2/3 dello spessore murario (per l'intervento su 2 lati, sovrapposizione tra gli stessi di almeno 10 cm) e solidarizzati tramite ancorante chimico vinilestere, privo di stirene; l'incidenza dei rinforzi d'angolo in materiale composito fibrorinforzato G.F.R.P. (Glass Fiber Reinforced Polymer), dimensione maglie conforme alla rete di rinforzo, conteggiati in ragione del 20% circa rispetto alla superficie totale da rinforzare); applicazione di intonaco strutturale di spessore 3 cm, resistenza a compressione 8-15 MPa, modulo elastico 8.000-12.000 MPa, con finitura a frattazzo; materiali riciclabili in conformità ai protocolli CSI. Da prevedersi a parte la rimozione dell'intonaco esistente. E' inoltre compreso quanto altro occorre per dare il lavoro finito, conteggiato a misura effettiva sulla parete esterna, applicazione per spessori della parete fino a 60 cm. su un lato della parete - maglia 33x33 mm, spessore 3 mm, numero di barre/metro/lato 30, in G.F.R.P	mq	56,778	105,92	6.013,93
10		21.9.5.1 Fornitura e posa in opera di intonaco traspirante realizzato con malta di pura calce idraulica certificata NHL 3.5, pozzolana naturale ed inerti di sabbia calcarea dolomitica e silicea, avente curva granulometrica fino a 2,5 mm, per restauri e recuperi architettonici, dello spessore finito non superiore a 20 mm, costituito da un primo strato (arriccatura) di 3 ÷ 5 mm da applicare a cazzuola, un secondo strato (corpo) dello spessore non inferiore a 15 mm da applicare a fratazzo tra predisposti sest. Il tutto dato in opera su pareti verticali od orizzontali, compreso l'onere per la formazione di spigoli e angoli, e qualunque altro onere e magistero per dare l'opera completa a perfetta regola d'arte. per interni	mq	148,348	50,42	7.479,71
11		21.9.6.1 Fornitura e posa in opera di strato di finitura con intonaco traspirante composta da malta ad altissima porosità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5, pozzolana extrafine, sabbia silicea e calcari dolomitici con curva granulometrica da 0,1 ÷ 1 mm per restauri e recuperi architettonici, dello spessore finito non superiore a 3 mm, steso in opera a due riprese con finitura fine fratazzata. Il tutto dato in opera su pareti verticali od orizzontali, compreso l'onere per la formazione di spigoli e angoli, e qualunque altro onere e magistero per dare l'opera completa a perfetta regola d'arte. per interni	mq	199,715	19,92	3.978,32
12		AN. 04 Realizzazione di solaio in legno lamellare con soletta alleggerita mediante la fornitura e posa in opera di travi, travetti e simili, in legno lamellare o massiccio, compreso le lavorazioni di carpenteria e ferramenta occorrenti. E' incluso l'eventuale nolo di gru o altro mezzo di sollevamento in quota da valutare sulla base della quota di lavoro dinale del solai. Il materiale considerato nella fornitura è il seguente: abete massiccio o legno lamellare per edifici di civile abitazione. La categoria di lavoro comprende inoltre la formazione delle sedi per l'appoggio e/o incastro delle travi; la valutazione è al mc complessivo di legname utilizzato e valutato prima dell'intervento. La struttura così definita comprende l'orditura principale del tipo semplice o composta.	mc	2,689	880,00	2.366,32
13		AN. 05 Fornitura, trasporto e posa in opera di connettore a piolo in acciaio zincato diametro 12 mm con testa, ribattuto a freddo ad una piastrina di ancoraggio di spessore 4 mm e dimensioni 50 X 50 mm avente i quattro angoli sagomati a rampone e fissato alla struttura in legno mediante due				
A RIPORTARE					39.568,10	

					Pag.4
N°	N.E.P.	DESCRIZIONE	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo
		RIPORTO			39.568,10
		viti tirafondi tipo DIN 571 di diametro 8 mm, testa esagonale 13 mm e sottotesta troncoconico.			
		cad	195,000	7,50	1.462,50
14	AN. 06	Fornitura e posa di ferri di tenuta ancorati nella muratura perimetrale. Acciaio FEB44K avente diametro di 14 mm lunghezza totale 80 cm. Tipologia appoggio a incastro nella muratura con componente chimico ad alta resistenza. il prezzo a lato è riferito ad ogni singola barra.			
		cad	60,000	13,00	780,00
15	AN. 07	Fornitura e posa in opera di telo traspirante prefabbricato da porre in opera su solai e copertura, fissato con banda di guaina adesiva. Impermeabile all'acqua e permeabile al vapore, resistente allo strappo da chiodo per forza >150 N, autoestinguente secondo la DIN 4102-B2, stabile ai raggi UV, termostabile. Fissato con banda di guaina adesiva. E' compreso ogni altro onere per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte.			
		mq	25,010	4,00	100,04
16	AN. 08	Fornitura e posa di calcestruzzo leggero strutturale preconfezionato per getti di rinforzo e solette collaboranti, costituito da premiscelato "tipo LecaCLS 1400" a base di argilla espansa inerti naturali, cemento tipo Portland e additivi. classe di massa volumica per calcestruzzo D1,5 conforme alla UNI EN 206-1, in classe di consistenza S4. Classe di resistenza caratteristica a compressione Rck 25 N/mm², massa volumica 1800 kg/m³.			
		mc	1,501	395,00	592,90
17	3.2.4	Fornitura e collocazione di rete d'acciaio elettrosaldata a fili nervati ad aderenza migliorata Classi B450 C o B450 A controllato in stabilimento, con diametro non superiore a 8 mm, di caratteristiche conformi alle norme tecniche vigenti, comprese le saldature ed il posizionamento in opera, gli eventuali tagli a misura, legature di filo di ferro, i distanziatori, gli sfridi, eventuali sovrapposizioni anche se non prescritte nei disegni esecutivi, compreso l'onere per la formazione dei provini ed il conferimento in laboratorio per le prove dei materiali previste dalle norme vigenti in materia.			
		kg	74,530	2,47	184,09
18	5.1.11.1	Massetto di sottofondo isolante per pavimentazioni, confezionato in conglomerato cementizio per strutture non armate o debolmente armate, in ambiente secco classe d'esposizione X0 (UNI 11104), in ambiente umido senza gelo classe d'esposizione XC1, XC2 (UNI 11104), classe di consistenza S4 oppure S5, di classe C 16/20, e con 0,80 m3 d'argilla espansa, di spessore variabile da 4 cm a 6 cm, dato in opera a qualsiasi altezza compreso additivi aeranti, il tiro in alto, il carico, il trasporto, lo scarico, la stesa e la livellatura nonché ogni onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte. realizzato all'interno degli edifici			
		mq	25,010	19,85	496,45
19	21.2.4	Sigillatura con malta di cemento e/o resine epossidiche o per sarcitura di piccole lesioni di larghezza fino a 2 cm su tramezzi o muratura di tamponamento compresi la scarnitura delle stesse, la pulitura e quanto altro occorre per dare l'opera completa a regola d'arte.			
		m	1,500	2,81	4,22
		A RIPORTARE			43.188,30

					Pag.5
N°	N.E.P.	DESCRIZIONE	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo
		RIPORTO			43.188,30
20		21.9.5.2 Fornitura e posa in opera di intonaco traspirante realizzato con malta di pura calce idraulica certificata NHL 3.5, pozzolana naturale ed inerti di sabbia calcarea dolomitica e silicea, avente curva granulometrica fino a 2,5 mm, per restauri e recuperi architettonici, dello spessore finito non superiore a 20 mm, costituito da un primo strato (arricciatura) di 3 ÷ 5 mm da applicare a cazzuola, un secondo strato (corpo) dello spessore non inferiore a 15 mm da applicare a fratazzo tra predisposti sest. Il tutto dato in opera su pareti verticali od orizzontali, compreso l'onere per la formazione di spigoli e angoli, e qualunque altro onere e magistero per dare l'opera completa a perfetta regola d'arte. per esterni	mq	47,32	1.353,92
21		21.9.6.2 Fornitura e posa in opera di strato di finitura con intonaco traspirante composta da malta ad altissima porosità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5, pozzolana extrafine, sabbia silicea e calcari dolomitici con curva granulometrica da 0,1 ÷ 1 mm per restauri e recuperi architettonici, dello spessore finito non superiore a 3 mm, steso in opera a due riprese con finitura fine fratazzata. Il tutto dato in opera su pareti verticali od orizzontali, compreso l'onere per la formazione di spigoli e angoli, e qualunque altro onere e magistero per dare l'opera completa a perfetta regola d'arte. per esterni	mq	19,92	569,95
22		26.1.1.1 Approntamento di ponteggio in elementi portanti metallici (sistema a telaio), compreso il nolo, manutenzione e controllo per i primi 30 giorni, realizzato per interventi ad altezze superiori a m 3,50, costituito in opera compreso il carico al deposito, il trasporto sul posto, lo scarico in cantiere, il montaggio, i pianali in legno o metallo, le tavole ferma piede, i parapetti, le scale interne di collegamento tra pianale e pianale, gli ancoraggi affinché il ponteggio sia efficacemente assicurato al manufatto almeno in corrispondenza ad ogni due piani dello stesso e ad ogni due montanti, con disposizione di ancoraggio a rombo, compreso la redazione del Pi.M.U.S., la segnaletica ed ogni altro onere e magistero per dare la struttura installata nel rispetto della normativa di sicurezza vigente, escluso l'illuminazione, i teli di protezione e le mantovane: munito dell'autorizzazione ministeriale di cui all'art. 131 del D.Lgs.81/2008, per ogni m2 di ponteggio in opera misurato dalla base e per i primi 30 giorni a decorrere dall'ultimazione del montaggio	mq	7,95	227,47
23		26.1.3 Smontaggio ad opera ultimata di ponteggio di cui alla voce 23.1.1.1, compreso il carico in cantiere, il trasporto e lo scarico al deposito: - per ogni m2 di ponteggio in opera misurato dalla base	mq	3,62	103,58
24		26.1.15 Schermatura di ponteggi e castelletti, con stuoie o reti di qualsiasi natura fornita e posta in opera con ogni onere e magistero, misurata per ogni m2 di faccia vista. Valutata per tutta la durata dei lavori e compresa la manutenzione ed eventuale sostituzione.	mq	2,90	82,97
25		21.5.17 Revisione di manto di tegole con l'onere della dismissione e pulitura delle tegole, della discesa, della legatura delle tegole con filo di ferro o			
		A RIPORTARE			45.526,19

					Pag.6	
N°	N.E.P.	DESCRIZIONE	Quantita'	Prezzo Unit.	Importo	
		RIPORTO			45.526,19	
		chiodi di ancoraggio e muratura delle stesse con malta bastarda, della formazione dei colmi, compluvi e displuvi, della collocazione delle tegole smesse e di quelle nuove occorrenti la cui fornitura sarà pagata a parte, escluso il trasporto a discarica delle tegole inutilizzabili e del materiale di risulta.- per ogni mq di superficie effettiva.	mq	32,458	28,96	939,98
26		AN. 09 Fornitura di tegole occorrenti nuove date posto il cantiere di utilizzazione compresi pezzi speciali tegole tipo coppo Siciliano.	mq	9,737	37,60	366,11
27		12.1.3 Fornitura e posa in opera di impermeabilizzazione con guaina prefabbricata a base di bitume dello spessore minimo di 4 mm, con armatura in poliestere, questo del peso non inferiore a 0,15 kg/m2, posta a qualsiasi altezza, per superfici orizzontali od inclinate, in unico strato, in opera a caldo, con giunti sovrapposti per almeno 10 cm, compresa spalmatura del sottofondo con emulsione bituminosa, compresi risvolti di raccordo con le pareti per una altezza minima di 20 cm, tiri in alto, ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera completa a perfetta regola d'arte.	mq	32,458	13,55	439,81
TOTALE LAVORI A BASE D'ASTA						47.272,09

## 2.4.7 Confronto tra metodo convenzionale e metodo semplificato

Al fine di confrontare i due metodi proposti dal DM 58 del 2017, si riportano i risultati ottenuti tramite il “metodo semplificato” e si confrontano con quelli ottenuti tramite il “metodo convenzionale”.

I dati di input richiesti per determinare la Classe di Rischio relativa allo stato di fatto sono:

- la zona sismica in cui ricade l’edificio, ovvero “Zona 2”;
- la tipologia strutturale, in termini di tipi di maglia muraria e di inerti, ovvero “Pietra sbazzata”;
- la presenza di possibili meccanismi locali.

A partire da tali informazioni, la Classe di Rischio attribuita in caso di assenza di interventi, quindi relativa allo stato di fatto, è la F\*.

### Dati Generali

Classificazione semplificata

#### Analisi dello stato di fatto e di progetto

Tipo struttura	Muratura
Tipo analisi	Semplificata
Zona sismica	2

#### Dati progettista

Cognome	
Nome	
Titolo	
Nato a	
Residente a	Prov.
Indirizzo	Nr.
Codice fiscale	
Ordine	Prov.
Nr. Iscrizione	
Telefono 1	Telefono 2
Fax	
e-mail	e-mail PEC

#### Dati cliente

Cognome	
Nome	
Codice fiscale	
Indirizzo	
Comune	Prov.
CAP	
Telefono 1	Telefono 2
Fax	
e-mail 1	e-mail 2

### Dati edificio

#### Dati catastali

Comune	Alcamo
Indirizzo	Corso VI Aprile
Foglio	
Particella	
Subalterno	

#### Coordinate geografiche di 2 spigoli opposti alla costruzione

	Latitudine	Longitudine	Fuso
Spigolo 1	37,9801060	12,9571970	
Spigolo 2	37,9799770	12,9572320	

Altitudine s.l.m.	
Andamento del terreno	

### Classificazione sismica della costruzione

Tipologia struttura muraria:	Muratura di pietra sbazzata
------------------------------	-----------------------------

#### Peculiarità negative

*Scarsa qualità costruttiva	
-----------------------------	--

* Accorgimenti per aumentare la resistenza(ad esempio listature).	
* Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti.	

V6 - Passaggio di classe	
PAM	4,5% < PAM ≤ 7,5%
Classe di rischio	F*

Progetto	Muratura di pietra sbazzata
----------	-----------------------------

#### Interventi di rafforzamento locale

* Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate.	
* Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate.	
* Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza).	
* Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti.	
!INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI!	
* Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni).	

#### Passaggio di classe

Da	V6
A	V5

PAM	3,5% < PAM ≤ 4,5%
Classe di rischio	E*

Documentazione della Classificazione Sismica ottenuta con il software Sismo Test STA DATA.

Tale risultato è difforme da quello ottenuto dal calcolo tramite il metodo convenzionale, in cui si constatava una situazione decisamente meno gravosa, definita inizialmente con una Classe di Rischio C.

Per determinare la nuova Classe di Rischio, (come riportato nel §1.4.5 e §1.4.6) si procede prevedendo il passaggio alla Classe immediatamente superiore, ovvero il massimo miglioramento ottenibile tramite l'impiego del metodo semplificato, ed effettuando gli interventi indicati dalla norma, ovvero: Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate; Eliminazione delle azioni orizzontali non contrastate; Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni, in larghezza ed altezza; Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti. Sono definiti invece "auspicabili ma non obbligatori" gli interventi di riduzione delle aperture di elevate dimensioni, soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni).

#### ASSEVERAZIONE CLASSI DI RISCHIO SISMICO

art. 4 comma 1 del decreto ministeriale MIT 65 del 07/03/2017

##### CLASSIFICAZIONE SISMICA DELLA COSTRUZIONE

Situata nel COMUNE DI Alcamo

al/ai seguente/i indirizzo/i Corso VI Aprile

riportata al Catasto al Foglio n. \_\_\_\_\_ Particella/e \_\_\_\_\_ Sub. n. \_\_\_\_\_

Coordinate geografiche di 2 spigoli opposti della costruzione (WGS84 – gradi decimali – fuso 32-33)			
Spigolo 1	Lat. <u>37,9801060</u>	Long. <u>12,9571970</u>	Fuso _____
Spigolo 2	Lat. <u>37,9799770</u>	Long. <u>12,9572320</u>	Fuso _____

Il sottoscritto ing./arch. \_\_\_\_\_

nato a \_\_\_\_\_ residente a \_\_\_\_\_

in \_\_\_\_\_ n. \_\_\_\_\_ C.F. \_\_\_\_\_

iscritto all'Ordine \_\_\_\_\_ della Prov. di \_\_\_\_\_

n. iscriz. \_\_\_\_\_, consapevole delle responsabilità penali e disciplinari in caso di mendace dichiarazione,

##### PREMESSO

- che è in possesso dei requisiti richiesti dall'art. 3 del decreto ministeriale MIT 65 del 07/03/2017;
- che opera nella qualità di tecnico incaricato di effettuare<sup>1</sup>:

la Classificazione del rischio sismico dello stato di fatto della costruzione sopra individuata;

il progetto per la riduzione del Rischio sismico della costruzione sopra indicata e la relativa Classificazione del Rischio sismico conseguente l'intervento progettato;

<sup>1</sup> Barrare la casella o le caselle di interesse

#### ASSEVERA

LA SEGUENTE DICHIARAZIONE

Dalle analisi della costruzione emerge quanto segue:

##### STATO DI FATTO (prima dell'intervento):

- Classe di rischio della costruzione<sup>2</sup>: A+  A  B  C  D  E  F  G
- Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V)<sup>3</sup>: \_\_\_\_\_%
- Valore della Perdita Annuale Media (PAM)<sup>4</sup>: \_\_\_\_\_%
- Linea Guida utilizzata come base di riferimento per le valutazioni, approvata con D.M. n. 65 del 07/03/2017 e successivi aggiornamenti.
- Classe di rischio attribuita utilizzando il metodo: convenzionale  semplificato
- si allega la relazione illustrativa dell'attività conoscitiva svolta e dei risultati raggiunti

##### STATO CONSEGUENTE L'INTERVENTO PROGETTATO<sup>5</sup>

- Classe di Rischio della costruzione : A+  A  B  C  D  E  F  G
- Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V) : \_\_\_\_\_%
- Valore della Perdita Annuale Media (PAM)<sup>4</sup> : \_\_\_\_\_%
- Linea Guida utilizzata come base di riferimento per le valutazioni, approvata con D.M. n. 65 del 07/03/2017 e successivi aggiornamenti.
- Classe di rischio attribuita utilizzando il metodo: convenzionale  semplificato
- estremi del Deposito/Autorizzazione al Genio Civile, ai sensi delle Autorizzazioni in zona sismica, n. \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_
- si allega la relazione illustrativa dell'attività conoscitiva svolta e dei risultati raggiunti. Inerenti la valutazione relativa alla situazione post-intervento

##### EFFETTO DELLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO CONSEGUITO MEDIANTE

##### L'INTERVENTO PROGETTATO<sup>5</sup>

Gli interventi strutturali progettati consentono una riduzione del rischio sismico della costruzione ed il passaggio di un numero di Classi di Rischio, rispetto alla situazione ante operam, pari a:

n. 1 classe  n. 2 o più classi

Data \_\_\_\_\_

Timbro e firma \_\_\_\_\_

<sup>2</sup> Alla lettera che identifica la Classe di Rischio aggiungere il simbolo (\*) se attribuita con il metodo semplificato.

<sup>3</sup> Da omettere per attribuzioni effettuate con il metodo semplificato.

<sup>4</sup> Sezione da compilare quando si attribuisce la Classe di Rischio in conseguenza della redazione di un progetto di intervento strutturale.

*Asseverazione delle Classi di Rischio utilizzando il metodo semplificato.*

In tal modo, la Classe di Rischio ottenuta è la F\*, ed il beneficio fiscale ottenuto è la detrazione del 50% della spesa.

#### **2.4.8 Ipotesi di progetto**

L'edificio, come precedentemente detto nel Capitolo 2, è ubicato tra il Corso VI Aprile e via Crapis e ricade specificatamente nella zona "A" del vigente P.R.G. nel Comune di Alcamo. La fabbrica dovrà avere una destinazione d'uso per civile abitazione e dovrà essere utilizzata come residenza secondaria di supporto all'attività commerciale del proprietario dell'immobile svolta nel Corso VI Aprile. L'intervento si articola nella ristrutturazione di un vecchio fabbricato, suddiviso in 2 corpi: il primo si sviluppa sul Corso VI Aprile per tre piani fuori terra, che crea un'unica unità abitativa, mentre il secondo si compone di una elevazione fuori terra sulla via Crapis.

Nel primo corpo al piano terra è presente il vano scala, composto da vecchi gradoni in pietra, incastrati nelle due pareti, che danno accesso al piano superiore in modo da formare una zona giorno al piano terra e una zona notte al primo piano, oltre al secondo piano mansardato con tetto a falda in legno che sarà adibito in parte a sottotetto e in parte a deposito.

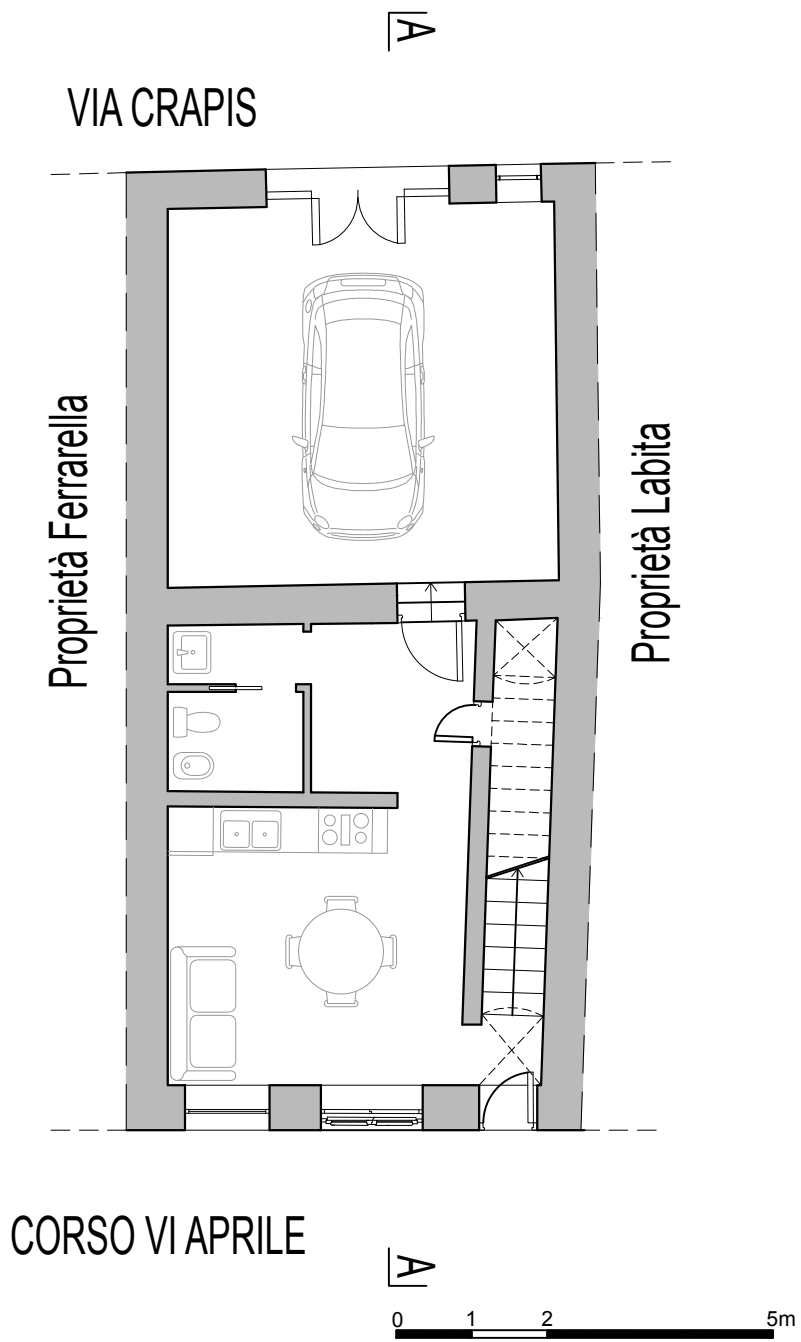
In fase di progettazione si è ritenuto fondamentale tener conto dell'esposizione solare, in particolare per quanto riguarda gli ambienti vivibili della casa (cucina-soggiorno). Per questo motivo si è ritenuto necessario realizzare una cucina-soggiorno con piano cottura e zona pranzo ben illuminato attraverso due aperture, che si affacciano lungo il Corso VI Aprile, tranne il bagno che sarà dotato di condotto d'aerazione forzata. Il piano terra è adibito a cucina-soggiorno di mq. 15, dove, per mezzo di un disimpegno interno, si accede alla cucina-soggiorno, al bagno, al vano sottoscala adibito a deposito e l'accesso diretto all'autorimessa, che si affaccia sulla via Crapis.

Il primo piano, la cui destinazione rappresenta la zona notte del fabbricato, è composto da una camera da letto matrimoniale di mq. 16, con un armadio

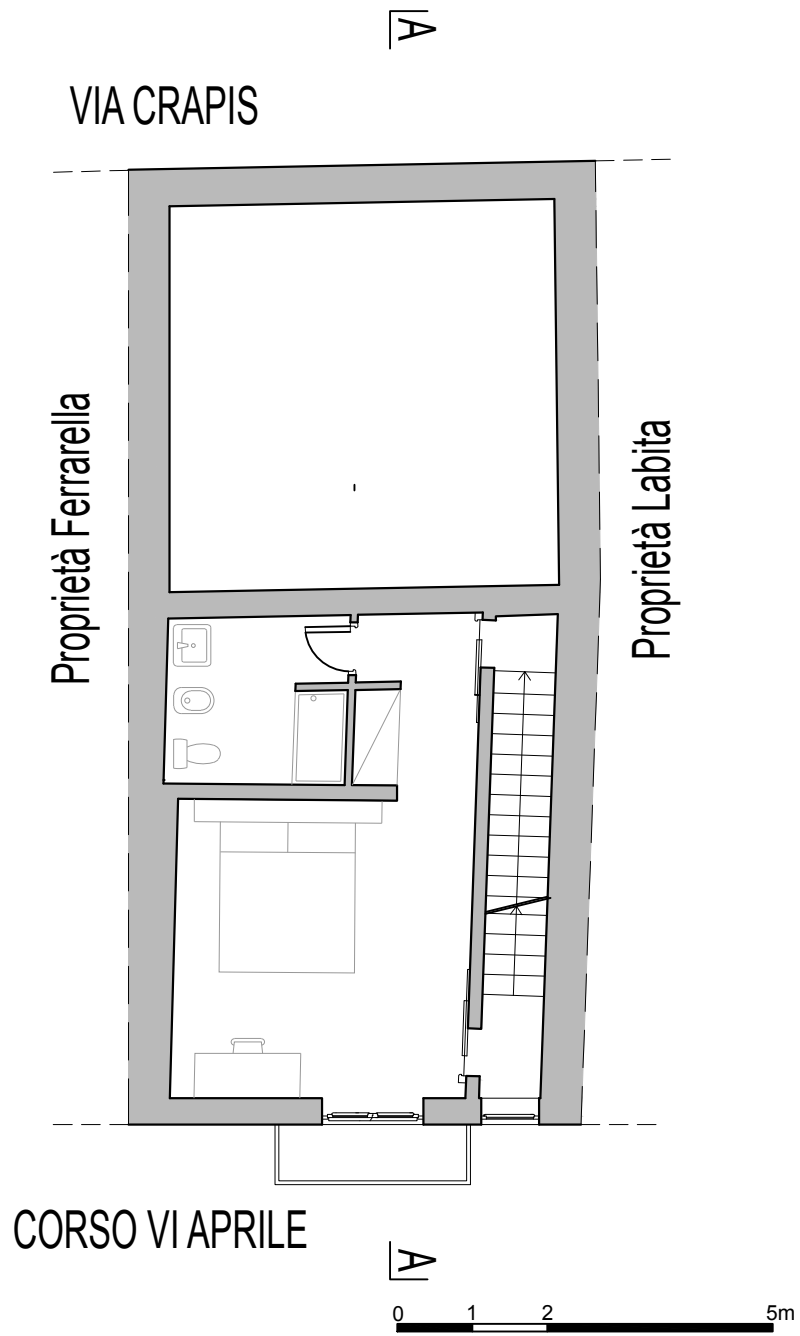


incassato nei muri, in modo tale da recuperare spazi più ampi, oltre al disimpegno interno che dal vano scala dà accesso alla stessa camera da letto e al bagno. La stanza è dotata di un balcone, ad eccezione del bagno che anch'esso sarà dotato di condotto d'aerazione forzata.

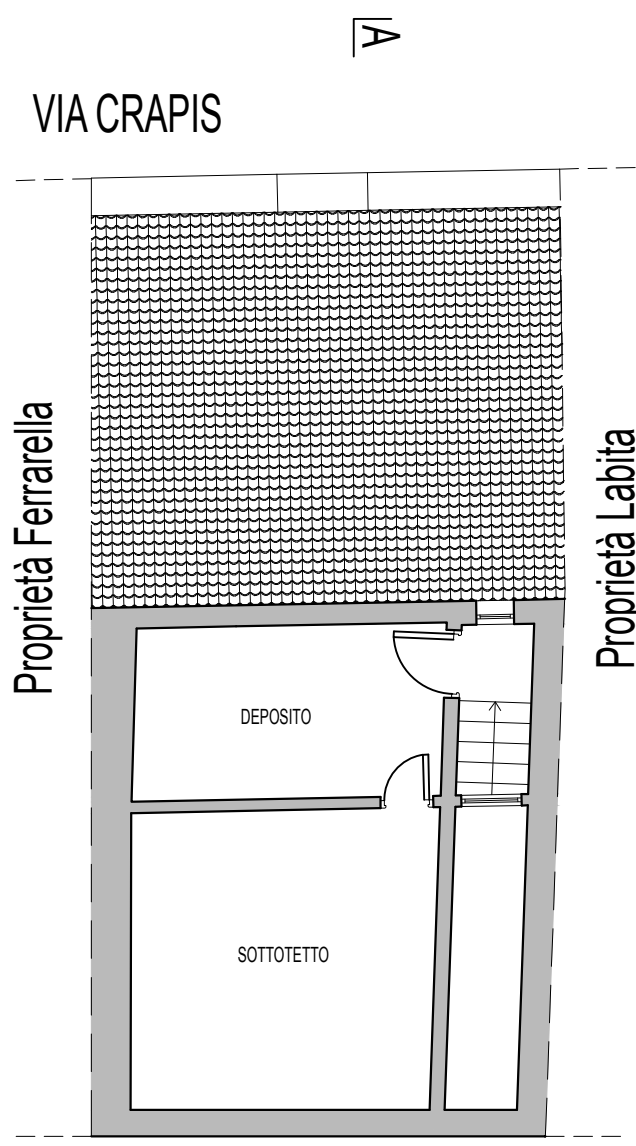
Le pareti divisorie interne del piano terra e primo piano saranno realizzati con tavolati di laterizio di spessore 8 cm e 12 cm, tutti i muri interni dell'edificio, le pareti, i soffitti saranno intonacati con (finitura a malta fina) con intonaco premiscelato a base di calce, previa la posa di rete nailon a maglia fine in corrispondenza di giunture che nel tempo possano causare micro fessurazioni. Tutti gli spigoli delle pareti saranno protetti con profilo paraspigolo posato sotto intonaco. Nei bagni il rivestimento delle pareti sarà realizzato in piastrelle di gress e/o ceramica porcellanata e/o monocottura nei formati 20x20 o 30x30 cm, a posa normale e di altezza massima di 200 cm. Di seguito vengono riportate le piante di progetto del fabbricato e una foto rendering della facciata principale una volta ripristinata.



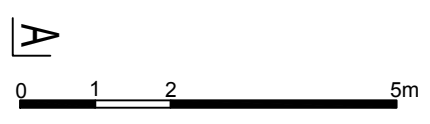
*Pianta primo livello dell'ipotesi di progetto, scala 1:100*



*Pianta secondo livello dell'ipotesi di progetto, scala 1:100*



CORSO VI APRILE



*Pianta terzo livello dell'ipotesi di progetto, scala 1:100*



*Rappresentazione rendering del ripristino del Prospetto in Corso VI Aprile*

## CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo la valutazione della risposta sismica di un edificio in muratura esistente nel comune di Alcamo attraverso l'applicazione dei metodi di analisi previsti dalla normativa tecnica vigente entrata in vigore il 17 gennaio 2018 (NTC 2018).

Si è proceduto con la descrizione del comportamento strutturale dell'edificio campione, prestando particolare attenzione alle diverse modalità di collasso previste in funzione dei livelli di collegamento degli elementi costruttivi che compongono l'edificio stesso. In particolare si è proceduto con la verifica in termini di meccanismi globali attraverso un'analisi pushover.

Le suddette analisi sono state effettuate attraverso il software di calcolo 3MURI, programma basato su una schematizzazione a telaio equivalente attraverso macroelementi delle strutture murarie. È stato dunque necessario procedere ad una descrizione della modellazione a macroelementi per le strutture murarie prestando particolare attenzione al tipo di macroelemento implementato nel software di calcolo utilizzato.

Terminata la fase di modellazione dell'edificio oggetto di studio, si è passati alla fase di analisi, con riferimento alle NTC2018 sono state eseguite 24 analisi pushover.

Le curve di capacità relative alle analisi pushover più gravose hanno permesso di determinare l'andamento del livello di danneggiamento della struttura per ogni variazione di carico significativa.

I risultati delle analisi nei confronti dei cinematismi locali hanno fornito invece, per ogni meccanismo analizzato, i relativi valori di accelerazione di attivazione dello stesso. Ottenuti i dati di verifica dello stato di fatto dell'edificio si è proceduto a valutare la vulnerabilità sismica in termini di Classe di Rischio, attraverso l'ausilio del modulo SismoTest, ideato dalla STA DATA, che permette di valutare la classe di appartenenza attraverso lo

studio delle analisi effettuate. Valutata la Classe di Rischio dello stato di fatto è emerso dunque che, al fine di migliorare la risposta dell'edificio in condizioni sismiche è necessario effettuare interventi di miglioramento sismico, quali iniezioni di malta, consolidamento tramite GFRP e la progettazione del solaio al primo livello, atti ad aumentare la resistenza della struttura in termini di risposta sismica.

Infine viene rivalutata la Classe di Rischio, questa volta, dello stato di progetto al fine di ottenere un avanzamento di classe e di poter usufruire dei benefici fiscali del decreto Sisma Bonus.

## Bibliografia

---

- A. Borri, A. De Maria, *L'indice di qualità muraria (IQM)*, in *Evoluzione ed applicazione nell'ambito delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008*, Atti del XIII Convegno Nazionale l'Ingegneria Sismica in Italia, Bologna 2009.
- M. Vinci, *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura*, Dario Flaccovio Editore, [Palermo 2012] Palermo 2018.
- A. Castagnone, *Sismabonus: come fare. Guida al calcolo pratico della classificazione sismica degli edifici (fare sismica vol.1)*, S.T.A. Data, Torino 2017.
- A. Castagnone, *Calcolo strutture in muratura con 3Muri (fare sismica vol. 3)*, S.T.A. Data, Torino 2017.
- DM 7.03.2017, n. 65, in materia di "*Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni*", in Allegato A.
- *3Muri. Manuale d'uso. Versione 11.5*, S.T.A. Data, Torino 2018.
- DM 28.02.2017, n. 58, in materia di "*Sismabonus*", in Allegato Decreto ministeriale n.58 del 28.02.2017.
- DM 7.03.2017, n. 65, in materia di "*Sismabonus*", in Allegato Testo coordinamento del decreto n.58 del 28.02.2017 come modificato dal Decreto Ministeriale 7.03.2017 n 65.
- DM 14.01.2008, NTC 2008, in materia di "*Norme tecniche per le costruzioni*".
- CM 2.02.2009, n. 617, in materia di "*Nuove Norme tecniche per le costruzioni*".
- DM 17.01.2018, NTC 2018, in materia di "*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*".
- CNR.- D.T. 21.02.2018, n. 206, in materia di "*Istruzioni per la progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture in legno*".



- UNI EN 1.01.1995, Eurocodice 5, in materia di “*Progettazione delle strutture in legno*”.
- L. 1.01.2017, n. 232, in materia di “*Detrazioni fiscali per interventi di ristrutturazione edilizia*”.

## **Sitografia**

---

- [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuida\\_BBCC\\_2010\\_11\\_26\\_1.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuida_BBCC_2010_11_26_1.pdf)
- <http://www.protezionecivile-imbersago.com/rischio-sismico.html>
- <https://www.infobuild.it/prodotti/connettori-per-solai-misti-legno-calcestruzzo-rinforzo-solai/>
- <https://magazine.darioflaccovio.it/2016/06/20/frp-consolidamento-edifici-in-muratura/>
- <https://yumesrl.it/servizi/consolidamento-strutturale/consolidamento-murature/>
- [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/descrizione\\_sismico.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/descrizione_sismico.wp)
- [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/schede\\_tecniche.wp?contentId=SCT105](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/schede_tecniche.wp?contentId=SCT105)
- <http://www.azimutingeegneria.it/sismica/pericolosita-sismica/>
- [http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1295444865088\\_LINEE.pdf](http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1295444865088_LINEE.pdf)
- [http://www.ingballiana.it/Vulnerabilita\\_part1.html](http://www.ingballiana.it/Vulnerabilita_part1.html)



## **RINGRAZIAMENTI**

Desidero ringraziare il mio relatore il professore Giuseppe Trombino per la grande disponibilità e cortesia prestata. Ringrazio, inoltre, i miei due correlatori: la professoressa Lidia la Mendola e il professore Piero Colajanni, per l'infinita pazienza, cordialità e l'enorme supporto dato, che sono risultati elementi fondamentali per la redazione di questa tesi.

Ringrazio i miei genitori per il sostegno dimostratomi nei momenti di sconforto e per l'aiuto ricevuto durante la mia carriera universitaria. Senza il loro supporto e i loro continui incoraggiamenti non avrei raggiunto questo meraviglioso traguardo. Un ringraziamento va a mia sorella Maria, che con molta pazienza mi ha sopportato fino alla fine dei miei studi universitari.

Infine ringrazio i miei amici e colleghi tutti per il loro sostegno in questi anni, in particolare Elide che mi ha sostenuto tra ansie e gioie fino alla fine del mio percorso ascoltando i miei interminabili discorsi come se non li avesse già sentiti un milione di volte.