



Comune di Santa Sofia d'Epiro

Provincia di Cosenza

**Lavori di adeguamento strutturale e antisismico - D.P.C.M. 8 luglio 2014 -**

**Scuola elementare e materna, Piazza S. Attanasio**

**Codice edificio: 0781330686**

Progetto esecutivo



**R.U.P.**

Ing. Francesco Giorgio

**PROGETTISTI**

Arch. Giulio Cesare Guccione

Ing. Michele Leone

**COLLABORATORE**

Ing. Tania Armentano

## SOMMARIO

1. Premessa.....	2
2. Contesto territoriale.....	2
2.1 Parametri climatici e rischio sismico.....	4
3. Descrizione generale dell'opera .....	4
3.1 Rilievo fotografico.....	6
4. Livello di conoscenza .....	7
5. Indagini geologiche e strutturali.....	8
5.1 Indagini geologiche .....	8
5.2 Indagini strutturali.....	9
6. Vulnerabilità sismica e modellazione strutturale.....	10
6.1 Valutazione della vulnerabilità sismica .....	10
6.2 Modellazione strutturale e individuazione indicatore di rischio.....	12
7. Interventi di progetto .....	14
7.1 Sistema delle cuciture attive .....	14
7.2 Intonaco armato con rete elettrosaldata .....	20
7.3 Rete estrusa in pp maglia quadrata, tipo Tenax ed intonaco .....	22
7.4 Risultati di calcolo: definizione del coefficiente di sicurezza post-intervento .....	22
7.5 Ripristino architettonico.....	23
7.6 Ripristino impianti tecnologici .....	23
8. Conclusioni.....	23

## 1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta allo scopo di descrivere il progetto esecutivo finalizzato ai lavori di adeguamento strutturale e antisismico della scuola elementare e materna (Codice edificio: 0781330686), in Piazza S. Attanasio nel comune di Santa Sofia d'Epiro.

La valutazione della sicurezza sismica del fabbricato in questione viene condotta nel rispetto dei requisiti e dei procedimenti che vengono esposti dalle NTC 2018. Lo scopo principale di tale approfondimento è quello di stabilire se l'edificio esistente è in grado di resistere alla combinazione di progetto richiesta dalla norma.

Per conseguire un adeguato livello di conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado si è fatto riferimento alla documentazione già disponibile, su verifiche visive in situ e su indagini sperimentali.

Trattandosi di un edificio esistente, ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni, occorre procedere allo studio del manufatto in modo da raggiungere un Livello di Conoscenza previsto dalla Norma. In considerazione della tipologia strutturale ripetitiva degli elementi prefabbricati, dei documenti rinvenuti, delle informazioni ricevute, dei rilievi geometrici effettuati, dei dettagli costruttivi determinati e dei risultati delle indagini sperimentali sui materiali per la struttura in oggetto si è raggiunto un Livello di Conoscenza LC2 (Conoscenza Adeguata), al quale si associa un Fattore di Confidenza pari all'unità  $FC = 1,2$ . Ciò permette di effettuare interventi più mirati e meno onerosi utilizzando delle resistenze di calcolo più elevate.

Le fasi lavorative si sono articolate come segue:

- Analisi degli elaborati d'archivio storico;
- Analisi dello stato di fatto mediante:
  - Rilievo fotografico;
  - Rilievo geometrico;
  - Rilievo dei dettagli costruttivi e dello stato fessurativo;
  - Indagini distruttive e non distruttive sulle strutture portanti;
  - Indagini geognostiche;
- Modellazione e verifica sismica;
- Progettazione degli interventi;
- Redazione elaborati progettuali.

## 2. CONTESTO TERRITORIALE

Santa Sofia d'Epiro è un comune italiano di 2.574 abitanti della provincia di Cosenza in Calabria.

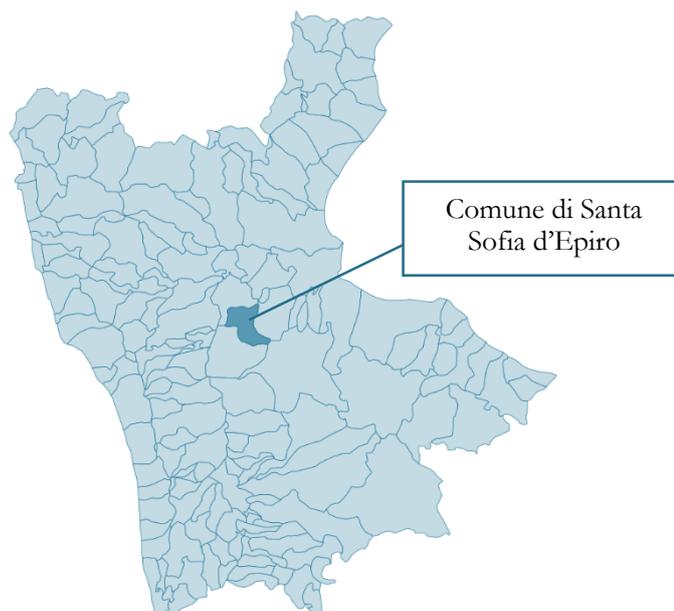


FIGURA 1 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL COMUNE DI CASSANO ALL'JONIO NEL TERRITORIO PROVINCIALE

È una comunità di lingua e cultura arbëreshe (italo-albanese), fondata da Albanesi emigrati in Calabria nel XV sec. Tuttora la cittadinanza conserva le proprie tradizioni civili e religiose assieme all'uso della lingua albanese nella vita di tutti i giorni.

È la patria del grecista e paleografo Pasquale Baffi (1747-1799), martire al tempo della Repubblica Partenopea, del giurista Angelo Masci (1758-1821), Procuratore Generale della Corte d'Appello di Napoli e del Vescovo di rito Greco Francesco Bugliari (1742-1806), Presidente del Collegio di Sant'Adriano in San Demetrio Corone.

Il territorio comunale è compreso tra 51 e 785 metri sul livello del mare.



FIGURA 2 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL COMUNE DI SANTA SOFIA D'EPIRO

## 2.1 PARAMETRI CLIMATICI E RISCHIO SISMICO

I parametri climatici del sito e il rischio sismico sono di seguito riportati:

Zona climatica	Gradi giorno	Altitudine	Zona sismica
D	1.935	558 m. s.l.m.	2

TABELLA 1 – PARAMETRI CLIMATICI E RISCHIO SISMICO – SANTA SOFIA D’EPIRO

## 3. DESCRIZIONE GENERALE DELL’OPERA

L’edificio oggetto dell’intervento è la scuola elementare e materna (Codice edificio: 0781330686) situata in Piazza S. Attanasio nel comune di Santa Sofia d’Epiro.



FIGURA 3 – INQUADRAMENTO DELL’EDIFICIO NEL TERRITORIO COMUNALE

Sulla base dei documenti reperiti e facendo seguito ai sopralluoghi ed ai rilievi eseguiti è stato possibile identificare nel dettaglio la geometria strutturale ed architettonica dell’immobile, nonché la stratigrafia e lo spessore dei solai e dei maschi murari.

Il rilievo è stato mirato nell’individuare l’organismo resistente della costruzione, analizzando dettagliatamente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Sono stati rilevati i dissesti, in atto o stabilizzanti, ponendo particolare attenzione all’individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

Il fabbricato oggetto di intervento è del tipo in muratura portante organizzato su tre livelli, uno dei quali seminterrato.

I livelli sono collegati da due vani scala differenti: il primo, ad una rampa, collega il piano seminterrato al piano terra; il secondo, a tre rampe, con servoscala, mette in collegamento il piano terra con il primo piano.

Il piano seminterrato occupa una superficie lorda di 253 m<sup>2</sup> per un'altezza di piano pari a 2,75 m e accoglie i locali della mensa e cucina, entrambi con affaccio autonomo sul cortile esterno, e servizi.

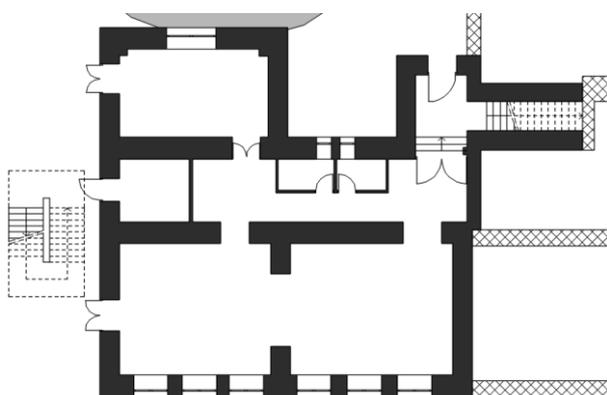


FIGURA 4 – PLANTA PLANO SEMINTERRATO

Al piano terra si accede attraverso il porticato di ingresso posto sul lato sud del lotto, in prossimità di via Roma.

Dall'ingresso si articola la rampa di scale che conduce al piano superiore e un corridoio che si sviluppa ad "L" su due lati e sul quale si affacciano le aule didattiche, la segreteria, una stanza Computer/TV e i servizi igienici.

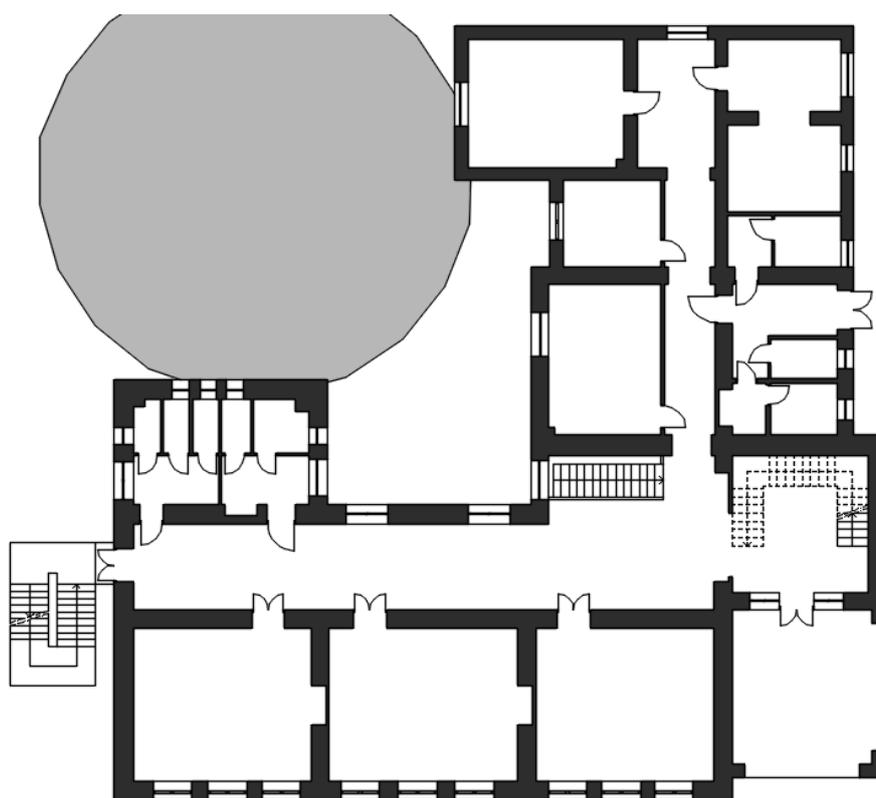


FIGURA 5 – PLANTA PLANO TERRA

Il piano terra e il piano primo occupano la medesima superficie, pari a circa 583 m<sup>2</sup>.

Il piano primo, oltre alle aule didattiche, alla direzione e ai servizi, ospita un'aula computer con 20 postazioni. Dal livello si può accedere ad un terrazzo corrispondente al portico di ingresso.

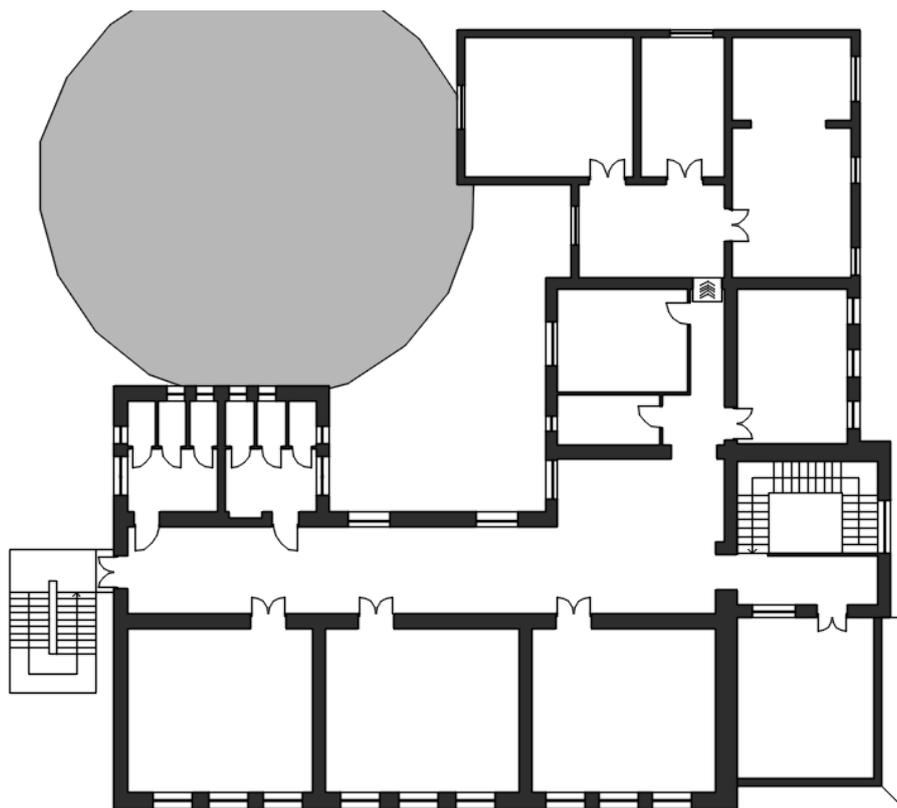


FIGURA 6 – PLANTA PIANO PRIMO

Sul lato nord dell'edificio è presente una scala antincendio in acciaio composta da quattro rampe.

### 3.1 RILIEVO FOTOGRAFICO

La fotografia costituisce un supporto fondamentale per le operazioni di rilievo che si accompagna a tutte le fasi di acquisizione dei dati. In molti casi la fotografia costituisce essa stessa un documento utile ai fini del rilievo in quanto è possibile derivare dall'immagine fotografica alcune informazioni utili per la determinazione metrica degli elementi.





FIGURA 7 – RILIEVO FOTOGRAFICO DELL'EDIFICIO OGGETTO DI INTERVENTO

## 4. LIVELLO DI CONOSCENZA

In base alla tipologia strutturale, ai documenti rinvenuti e alle informazioni ricevute durante la fase conoscitiva della struttura, è stato individuato il Livello di Conoscenza dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali) e definito il fattore di confidenza da utilizzare come ulteriore coefficiente parziale di sicurezza che tiene conto delle carenze nella conoscenza dei parametri del modello.

I Fattori di Confidenza sono stati valutati in modo differenziato per i diversi materiali, sulla base di considerazioni statistiche condotte su un insieme di dati significativi per gli elementi in esame e di metodi di valutazione di comprovata validità.

- Per l'identificazione della geometria, i dati raccolti includono i seguenti:
  - identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;
  - tessitura dei solai;
  - larghezza e profondità delle fondazioni;
- Per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere i seguenti:
  - tipologia degli ammorsamenti tra le pareti portanti;
  - posizione e dimensione degli architravi;
- Per l'identificazione dei materiali, i dati raccolti includono i seguenti:
  - tipologia e resistenza delle murature;
  - tipologia dei giunti di malta.

Si stabilisce il raggiungimento del livello di conoscenza del tipo “adeguata” **LC2**, così come descritto nell’appendice C8A della Circolare n.617/2009. Pertanto alle caratteristiche meccaniche dei materiali si applica un Fattore di Confidenza  $FC=1,20$  che ne va a dividere i valori medi delle resistenze determinate con le indagini strumentali.

## **5. INDAGINI GEOLOGICHE E STRUTTURALI**

Al fine di ottenere una corretta valutazione dell’edificio di progetto, sia dal punto di vista dei meccanismi strutturali che lo coinvolgono ma anche dal punto di vista geologico, si tiene conto della documentazione già disponibile, e di ulteriori indagini effettuate in sito.

### **5.1 INDAGINI GEOLOGICHE**

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, attraverso la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici e strutturali, consentono di effettuare la definizione della pericolosità geologica del territorio in modo da valutarne l’idoneità degli interventi progettuali.

Nella logica prestazionale adottata dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C. 2008 – D.M. 14/01/2008), si richiede, inoltre, di affrontare anche la valutazione della risposta sismica locale (RSL). Essa è definita come l’azione sismica che emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite dal moto di input passando dal substrato rigido al terreno di copertura. Tali modificazioni possono avere diversa natura ed in particolare sono legate, principalmente, ad effetti stratigrafici (presenza di un terreno deformabile sovrastante un substrato a più elevata rigidità), ad effetti di bordo (risposta sismica ai margini di depositi di valle con geometria dell’interfaccia 2D e 3D) e ad effetti topografici, cioè a modifiche del moto sismico causate da fenomeni di focalizzazione delle onde in corrispondenza di particolari morfologie (creste, rilievi).

L’azione sismica di progetto è stata ricavata da analisi di pericolosità sismica locale (RSL) effettuata sul sito attraverso appositi studi ed indagini geognostiche.

Per ottenere i dati geofisici e geotecnici sono state effettuate le seguenti indagini in sito:

- N.1 sondaggio a carotaggio continuo fino a 35 m di profondità dal p.c. attrezzato per prova Down-Hole;
- N.3 prove SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- N.2 prelievi di campione indisturbato analizzati in laboratorio con esame tipo identificazione, analisi granulometrica, determinazione dei limiti di Atterberg, prova di taglio diretto CD e prova edometrica;
- N. 1 prova geofisica Down-Hole fino a 32 m di profondità dal p.c. con acquisizione ogni metro;
- N.2 stendimenti di sismica rifrazione;
- N.1 stendimento di sismica tipo MASW;
- N.4 prove penetrometriche dinamiche medie DPSH.



FIGURA 8 – TIPOLOGIA DI PROVE EFFETTUATE

Le prove sopracitate sono riportate e descritte dettagliatamente nell'elaborato di riferimento.

## 5.2 INDAGINI STRUTTURALI

La conoscenza della costruzione in muratura in oggetto è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi e di una successiva valutazione degli interventi. Tali operazioni sono state individuate in funzione degli obiettivi preposti e hanno interessato tutto o in parte la costruzione, a seconda della ampiezza e della rilevanza dell'intervento previsto.

In particolare saranno eseguite le seguenti tipologie di prove specialistiche sui materiali:

- Prove sulla muratura con doppio martinetto piatto;
- Prove sulla muratura con martinetto piatto;
- Saggi visivi e ispezioni sulla muratura portante per determinare la tipologia costruttiva, ammorsamenti e cordoli, verifica e dimensioni dei giunti di malta;
- Scavo in fondazione per saggi visivi, al fine di determinare il rilievo materico e dimensionale;
- Ispezioni solai di piano, per determinare la tipologia costruttiva, stratigrafia e orditura;
- Indagini termografiche per l'identificazione dell'orditura dei solai.

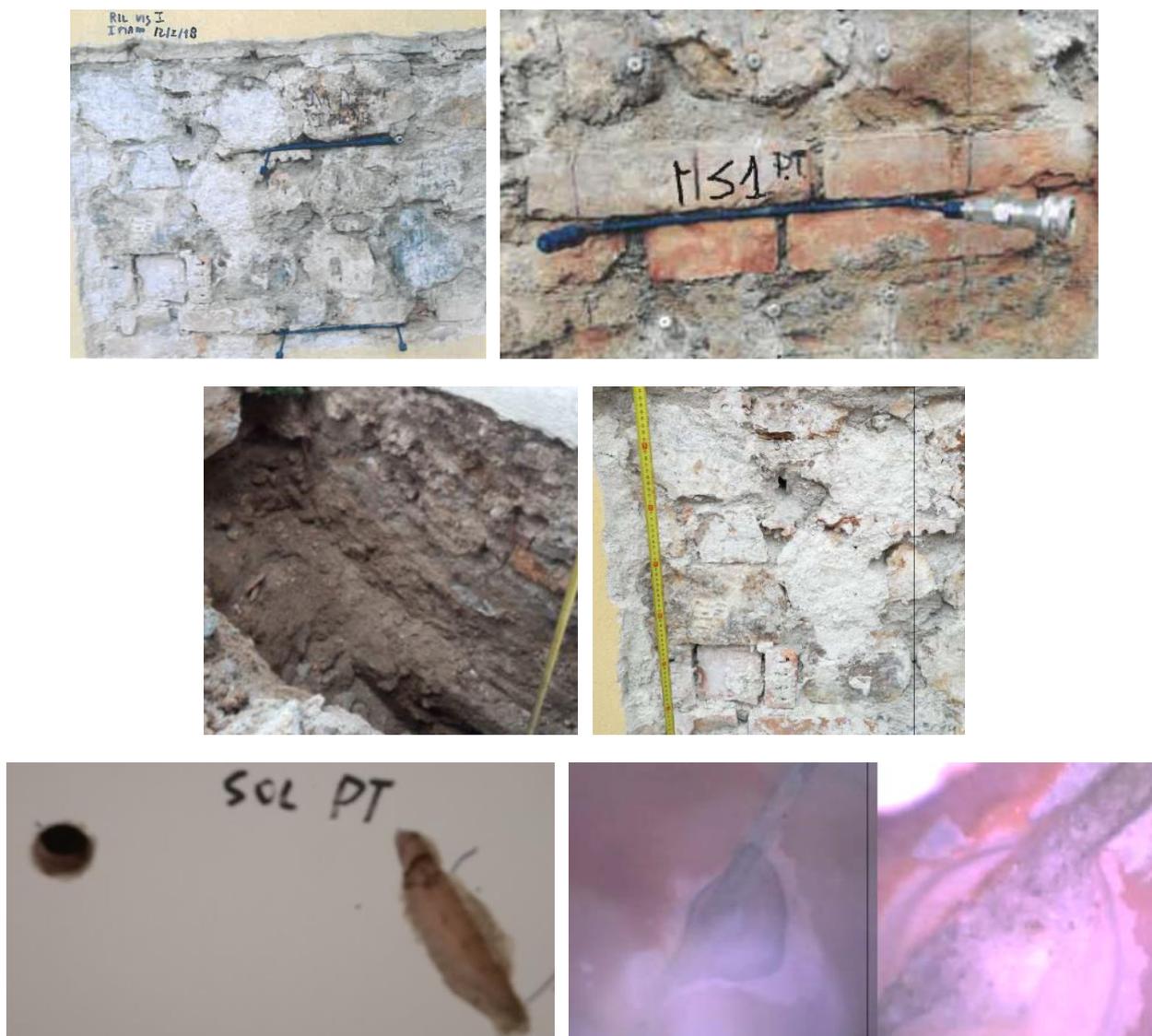


FIGURA 9 – TIPOLOGIA DI PROVE EFFETTUATE

La campagna di indagini ed i risultati ottenuti è descritta in maniera dettagliata nello specifico elaborato di progetto.

## 6. VULNERABILITÀ SISMICA E MODELLAZIONE STRUTTURALE

### 6.1 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA

L'analisi storico-critica dell'immobile è stata basata sull'identificazione di alcune informazioni temporali utili sia alla definizione della geometria della costruzione, sia a stabilire le varie fasi costruttive dell'opera. La struttura è stata oggetto di verifiche in situ in modo da approfondire la conoscenza dei dettagli costruttivi per le varie tipologie di elementi. I dettagli costruttivi degli elementi strutturali sono stati elaborati con l'ausilio di indagini magnetometriche e saggi visivi.

La sicurezza sismica di un'opera civile, è funzione sia dell'intensità del terremoto (livello di moto sismico – pericolosità) che della risposta del complesso edilizio (livello di prestazione – vulnerabilità). Il terremoto è un

evento non prevedibile a priori, né per intensità e neanche per posizione (epicentro). È però possibile stimare, per ciascun sito, la probabilità che una scossa sismica di una certa intensità si verifichi in un fissato periodo di tempo, ad esempio nei prossimi 50 anni. La curva che lega coppie di intensità-probabilità si chiama curva di pericolosità sismica. Convenzionalmente, la pericolosità di un sito è espressa dal valore dell'accelerazione di picco al suolo (PGA), misura dell'intensità del terremoto, cui corrisponde una probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. La risposta del fabbricato all'azione sismica dipende invece dalla tipologia costruttiva (muratura, cemento armato o acciaio), dall'epoca e dalla qualità di costruzione, dallo stato di conservazione e dagli eventuali interventi di ristrutturazione eseguiti nel corso degli anni. La risposta di un edificio è definita in termini di spostamenti, deformazioni e forze che agiscono sugli elementi che lo compongono. In termini concettualmente sintetici, il rischio sismico di un'opera è dato dalla opportuna combinazione della pericolosità del sito e della vulnerabilità dell'opera. La pericolosità sismica è oggi completamente definita per tutto il territorio italiano grazie agli studi elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica Vulcanologia (INGV). È stata utilizzata una metodologia che costituisce lo stato dell'arte in materia, nella quale le incertezze legate all'intensità ed alla posizione degli eventi sismici sono esplicitamente ed adeguatamente considerate (approccio probabilistico). Una prima ma significativa indicazione sulla pericolosità sismica in Italia è data dalla mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio Nazionale 1, riportata nella figura sottostante.

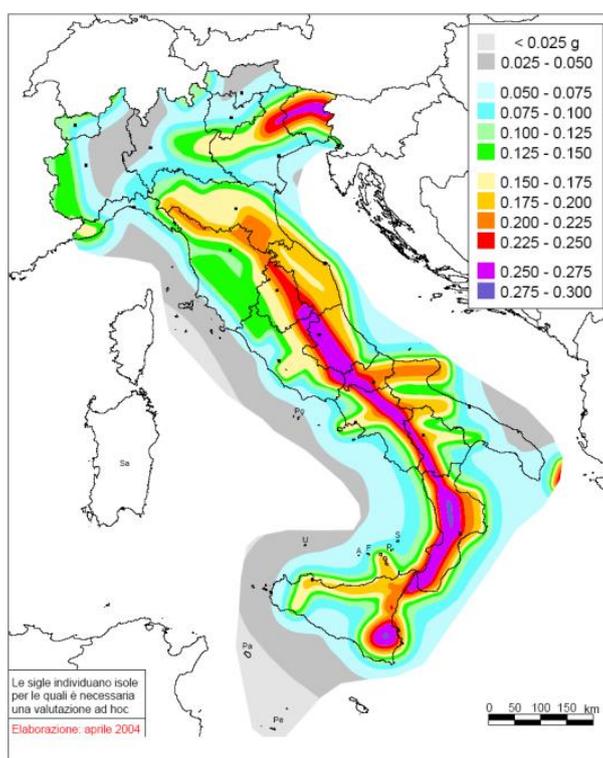


FIGURA 10 – INGV: MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE ESPRESSA IN TERMINI DI PGA CON  $TR=475$  ANNI RIFERITA A SUOLI RIGIDI (ORDINANZA PCM 3519/2006)

La mappa riporta i valori della PGA con probabilità di superamento ( $Pr$ ) del 10% in 50 anni, a cui corrisponde un periodo medio di ritorno pari a 475 anni. Il periodo di ritorno  $Tr$  è il numero medio di anni che trascorre tra due eventi di una prefissata  $Pr$ . Al diminuire di  $Pr$ , fissato l'intervallo temporale), cresce il periodo di ritorno: ad

esempio, ad un evento sismico con probabilità d'occorrenza pari al 2% in 50 anni, corrisponde un periodo di ritorno di 2475 anni. Questo parametro, di immediata capacità comunicativa, è utilizzato correntemente per indicare l'intensità di un evento sismico. In Italia il massimo valore atteso di PGA per un evento sismico con TR = 475 anni è circa pari a 0,3g, come risulta osservando la mappa di pericolosità. Le aree ad elevato rischio sismico (PGA>0.25g) sono le zone appenniniche dell'Umbria alla Calabria, la parte sud-orientale della Sicilia e la zona del Friuli. Per la determinazione dell'azione sismica di progetto del sito si fa riferimento alle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni NCT 2018. L'azione sismica di progetto è definita a partire dalla "pericolosità sismica di base del sito della costruzione", da identificarsi in un reticolo di riferimento che ricopre il territorio nazionale i cui nodi, definiti in termine di latitudine e longitudine, sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km). Dunque, la vulnerabilità sismica di un edificio dipende principalmente da tre fattori: la tipologia costruttiva; l'epoca di realizzazione e qualità costruttiva; la storia e stato di manutenzione del fabbricato.

## **6.2 MODELLAZIONE STRUTTURALE E INDIVIDUAZIONE INDICATORE DI RISCHIO**

La campagna di indagini è stata opportunamente e attentamente progettata al fine di permettere di pervenire ad un modello numerico estremamente accurato e rappresentativo dello stato di fatto della struttura, consentendo di effettuare adeguate verifiche di sicurezza strutturale, la contestuale valutazione della capacità sismica allo stato attuale e procedere correttamente all'individuazione delle più idonee tecniche di miglioramento sismico, compatibili con tutte le altre esigenze tecniche e funzionali.

Dall'analisi del rilievo eseguito in sito e dall'acquisizione dei risultati delle prove, è stato costruito il modello di calcolo che meglio rappresenta il fabbricato oggetto di intervento. Il modello rappresenta l'opera sia per geometria che per caratteristiche di rigidità, per dettagli costruttivi e per punti singolari, scartando gli elementi complementari che non vengono coinvolti nel lavoro di deformazione dell'intera struttura soggetta ad evento sismico.

Sono eseguite tutte le verifiche richieste dalle NTC 2018 per le costruzioni in muratura in assenza e in presenza di sisma, utilizzando il metodo degli stati limite. La sicurezza sotto azione sismica è stata determinata con analisi statica non lineare, eseguita in accordo con le disposizioni contenute nelle NTC 2018 e tenendo presenti le indicazioni fornite nelle relative istruzioni per l'applicazione, con riferimento agli stati limite di operatività (Slo), di danno (Sld), di salvaguardia vita (Slv).

Il quadro complessivo delle verifiche svolte è il seguente:

- Verifica della snellezza dei setti;
- Verifica della eccentricità massima trasversale;
- Verifica eccentricità massima longitudinale;
- Verifica a taglio per azioni non sismiche;
- Verifica a pressoflessione trasversale per azioni non sismiche;
- Verifica a pressoflessione longitudinale per azioni non sismiche;
- Verifica a pressoflessione trasversale per azioni sismiche;

- Verifica pushover dello stato limite di operatività;
- Verifica pushover dello stato limite di danno;
- Verifica pushover dello stato limite di salvaguardia vita;
- Verifica del terreno di fondazione;
- Verifica a ribaltamento;
- Verifica dei collegamenti.

Le combinazioni di carico considerate, invece, sono le seguenti:

- Statica locale: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche locali in assenza di sisma a pressoflessione trasversale, pressoflessione e taglio longitudinale, a ribaltamento;
- Statica fondazioni: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche sul terreno di fondazione in assenza di sisma;
- Sismica locale: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche locali in presenza di sisma a pressoflessione trasversale e a ribaltamento;
- Sismica fondazioni: rappresentativa della combinazione di stato limite ultimo per le verifiche sul terreno di fondazione in presenza di sisma;
- Sismica pushover: rappresentativa della combinazione dei carichi statici considerata nell'analisi sismica pushover, nella quale le azioni statiche così determinate sono mantenute costanti e si esegue un processo di carico incrementale sull'azione sismica, nel corso del quale si controllano le condizioni che determinano il raggiungimento degli stati limite di interesse.

A seguito della modellazione FEM e di una analisi statica non lineare, si sono potute riscontrare ed esaminare tutte le vulnerabilità sismiche presenti sul corpo di fabbrica.

In particolare emergono vari problemi strutturali relativi ad aspetti di ordine esecutivo, tipici di strutture costruite in epoche passate:

- scarsa qualità del collegamento tra pareti verticali;
- architravi strutturalmente non efficienti al di sopra delle aperture;
- letti di malta di spessore eccessivo (2.5-3.0 cm);
- aperture nei pannelli che non rispettano le distanze minime dagli incroci murari.
- filari di malta verticali irregolari;
- Presenza di dissesti e cedimenti.

Il livello di danneggiamento di alcuni elementi strutturali potrebbe compromettere l'agibilità, la sicurezza e quindi l'uso. La struttura risente quindi di tutti quegli accorgimenti, esecutivi e di calcolo, che oggi sono superati soprattutto da norme tecniche di tipo prettamente prestazionali e non prescrittive e da elaborazioni di calcolo avanzate.

Dall'analisi di vulnerabilità sismica della struttura allo stato di fatto, in accordo alla vigente normativa, si è potuto definire il rapporto capacità/domanda che esprime il livello di adeguatezza rispetto allo stato limite di salvaguardia della vita. Il fattore di sicurezza  $\alpha$  allo stato di fatto risulta essere pari a **0,71**.

Di seguito si riporta il quadro delle verifiche sismiche e del relativo coefficiente per i diversi stati limite:

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC %	PgaD %	TrC	TrD	Esito
Pressoflessione trasversale	SLV	-	0.367	0.177	0.482	176	712	no
Portanza delle fondazioni	SLV	-	0.000	0.000	0.482	0	712	no
Ribaltamento pareti	SLV	-	1.645	0.793	0.482	>2475	712	si
Pushover al limite di operatività	SLO	0.73	1.692	0.151	0.089	126	45	si
Pushover al limite di danno	SLD	1.30	1.101	0.198	0.180	224	75	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	3.14	0.710	0.342	0.482	822	712	no

FIGURA 11 – QUADRO DELLE VERIFICHE SISMICHE: COEFFICIENTE DI SICUREZZA ALFA ALLO STATO DI FATTO

Per i dettagli di calcolo delle verifiche eseguite si rimanda agli elaborati di calcolo delle strutture.

## 7. INTERVENTI DI PROGETTO

Gli interventi da realizzare sono finalizzati all'adeguamento sismico dell'organismo edilizio e ripristino architettonico.

Gli interventi prevedono le seguenti opere:

- Rinforzo dei pannelli murari con sistema delle cuciture attive;
- Rinforzo mediante intonaco armato con rete elettrosaldata;
- Ripristino architettonico;
- Ripristino impianti architettonici.

Gli interventi proposti consentono un incremento della sicurezza strutturale esistente con una notevole riduzione della vulnerabilità sismica, da valutarsi nel quadro generale della conservazione e della funzione della costruzione. Le strategie delle tecniche di intervento dipendono dai risultati della precedente fase di conoscenza e analisi considerando quelle meno invasive e maggiormente compatibili con i criteri della conservazione, dei requisiti di sicurezza e durabilità.

### 7.1 SISTEMA DELLE CUCITURE ATTIVE

Il Sistema delle cuciture attive consiste in un "impacchettamento" della muratura con nastri in acciaio inox disposti nelle direzioni orizzontale e verticale, passanti attraverso lo spessore murario, e richiusi su sé stessi previa applicazione di una pretensione. La Circolare n. 617 del 02/02/09 esalta tale tecnologia, sottolineando che l'adozione di sistemi di tirantature diffuse nelle tre direzioni ortogonali, in particolare anche nella direzione trasversale, migliorano la monoliticità ed il comportamento meccanico del corpo murario, incrementandone la resistenza a taglio e a flessione nel piano e fuori del piano.

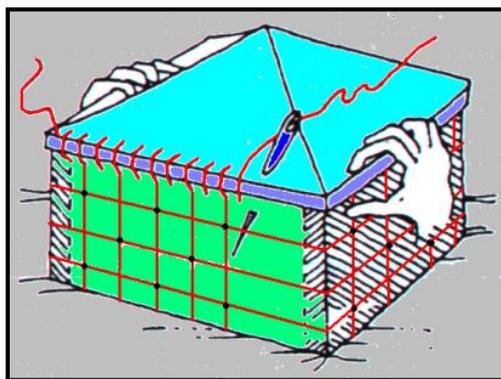


FIGURA 12 – RICOMPATTAZIONE DEL TESSUTO MURARIO E COLLEGAMENTO DEI VARI PARAMENTI MURARI TRA LORO

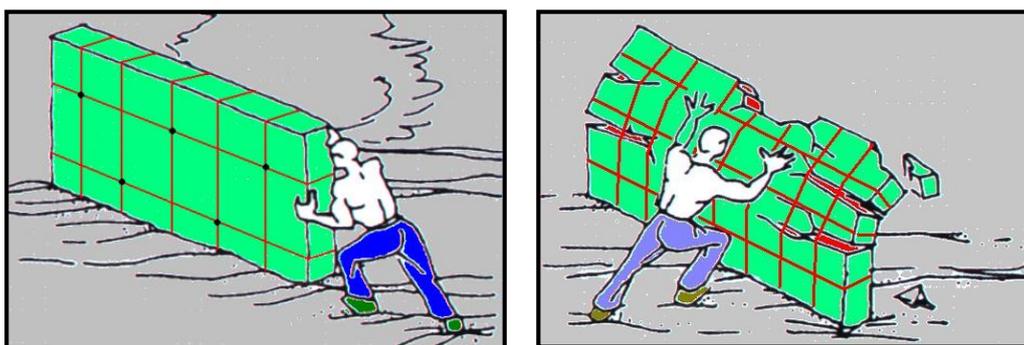


FIGURA 13 – AUMENTO DELLA RESISTENZA NEL PIANO DEL PANNELLO E FUORI DAL PIANO

Attraverso gli speciali elementi di connessione (piastre in acciaio inox di dimensioni 125x125 mm, dotate di foro ad imbuto), i nastri di acciaio inox consentono di realizzare un sistema continuo di tirantature, in grado di ripercorrere tutte le irregolarità della muratura, sia in orizzontale che in verticale. Ogni nastro viene utilizzato per cucire la muratura attraverso due fori a distanza compresa tra i 100 ed i 200 cm e viene chiuso ad anello mediante una macchina capace di imprimere al nastro una pretensione regolabile e, dunque, una precompressione nella muratura, sia trasversale che complanare alla parete trattata. Le piastre imbutite svolgono la funzione di distribuzione delle forze di contatto tra nastro e muratura e di assorbimento delle tensioni di trazione prodotte dalla muratura intorno al foro da due avvolgimenti contigui. A completamento del sistema sono previsti degli *elementi d'angolo diffusori di carico*, sempre in acciaio inox, da utilizzare per l'avvolgimento dei nastri in corrispondenza delle aperture o delle zone terminali delle pareti, al fine di ripartire il carico della risultante che agisce a 45° su una superficie d'appoggio sufficientemente ampia.



*FIGURA 14- ANGOLI D'ANGOLO E PLASTRE IMBUTITE*

Il sistema può essere posto in opera secondo maglie quadrate, rettangolari o triangolari, anche irregolari; normalmente si adotta una disposizione dei fori a quinconce. Quest'ultima modalità ha il vantaggio di limitare la formazione di linee di rottura preferenziali nelle posizioni delle forature trasversali.



*FIGURA 15 – POSA IN OPERA DELLA MAGLIA A CUCITURE ATTIVE SECONDO FORATURE A QUINCONCE*

I vantaggi conseguibili con il sistema delle cuciture attive sono i seguenti:

- il sistema è modulabile ed aperto: in quanto si può aumentare o diminuire il numero delle legature in funzione delle richieste locali, e si possono variare gli interassi delle maglie in funzione delle particolari esigenze puntuali;
- ne discende la possibilità di seguire lo sviluppo delle pareti anche quando questo non fosse rettilineo, pur conseguendo la stessa efficacia di incatenamento/consolidamento;
- i nastri di acciaio inox svolgono un ruolo attivo, imprimendo alla muratura un benefico stato di precompressione, sia nel piano della parete, orizzontalmente e verticalmente, sia in direzione trasversale, collegando efficacemente i paramenti dell'apparecchio murario; questo stato di precompressione ritarda la formazione di lesioni e fessure e rende le armature immediatamente attive e capaci di impedire o limitare significativamente la formazione di grandi lesioni e di sconessioni;
- la resistenza delle murature viene sfruttata integralmente, non essendo il loro coinvolgimento legato all'aderenza tra la muratura e l'intonaco cementizio, ma, al contrario, ad un collegamento meccanico totalmente controllabile;
- lo stato di presollecitazione del nastro di acciaio fa sì che il contributo della resistenza a trazione di questo sia subito attivo fin dai valori più bassi di incremento di sollecitazione nella muratura (in presenza di armatura 'scarica', invece, ulteriori cedimenti/spostamenti sono necessari per chiamarne in causa il contributo resistente significativo);
- l'acciaio inox garantisce la totale affidabilità nel tempo del sistema e una buona duttilità d'insieme;
- l'efficacia delle legature trasversali, garantita dai collegamenti meccanici e dalla pretensione dei nastri di acciaio, permette di ridurre il loro numero, e, conseguentemente, il numero di perforazioni da effettuare sulla muratura, riducendo l'invasività dell'intervento (il numero delle forature è limitato ad interassi che

- possono variare solitamente da 100 a 200 cm convenientemente posti a quinconce (maglia conseguente  $50 \div 100$  cm));
- non vi è incremento di peso e, quindi, di massa “sismica”: il piccolo spessore dei nastri permette l’adozione di intonaci tradizionali, negli spessori usuali, così da non alterare i pesi strutturali;
  - la conservazione degli intonaci tradizionali elimina le problematiche create dall’uso degli intonaci cementizi, indispensabili nelle applicazioni delle reti elettrosaldate;
  - la tecnologia è poco invasiva (la rimozione dei nastri richiede solo l’asportazione dell’intonaco non più necessariamente cementizio); a meno delle forature, il sistema è completamente reversibile;
  - la messa in opera dei nastri di acciaio può essere, eventualmente, completata con l’iniezione della muratura attraverso i fori praticati per il passaggio dei nastri stessi, iniezione che, grazie all’inossidabilità dell’acciaio, può essere effettuata anche con miscele leganti non cementizie. Si ottiene in tal modo la possibilità di reintegrare la continuità muraria specialmente in quelle situazioni in cui appaia particolarmente evidente la presenza di vuoti; l’effetto di imbibizione è inoltre reso particolarmente efficace dal numero dei fori, dalla loro dimensione ( $\varnothing$  35 mm) e dal fatto che sono a tutto spessore, assicurando così una ottimale permeazione del legante;
  - i collegamenti tra avvolgimenti adiacenti è assicurato meccanicamente in maniera totalmente controllabile ed affidabile;
  - i collegamenti in verticale tra le pareti di piani successivi sono facili da realizzare (anche senza la demolizione del solaio);
  - il sistema di cucitura risolve automaticamente anche il problema delle connessioni, spesso carenti, tra pareti ortogonali; per contrastare il ribaltamento dei paramenti murari. Tale azione di collegamento integra quella espletata dai cordoli e dai tiranti;
  - nel suo complesso il sistema consente quindi di perseguire un reale comportamento a scatola, nel collegamento delle pareti tra di loro, delle pareti agli orizzontamenti, e del profilo di colmo al cordolo quando presente, realizzando nella sostanza un corpo unico ideale;
  - a correttezza dell’esecuzione è intrinsecamente garantita: stabilito il reticolo, lo stato di pretensionamento è facilmente verificabile anche da un non esperto.

La posa in opera presenta, a sua volta, vari aspetti positivi, quali:

- non è richiesta nessuna preparazione delle superfici, in quanto l’azione di rinforzo non interviene per aderenza, ma è conseguente ad un collegamento meccanico;
- non vanno rimossi gli impianti ed, anzi, essi rimangono pienamente accessibili, interferendo il passaggio delle legature solo puntualmente, senza che ci debba essere, peraltro, alcun contatto;
- l’asportazione dell’intonaco, qualora in buono stato, può essere limitato alla sola realizzazione delle tracce lungo il percorso delle legature.

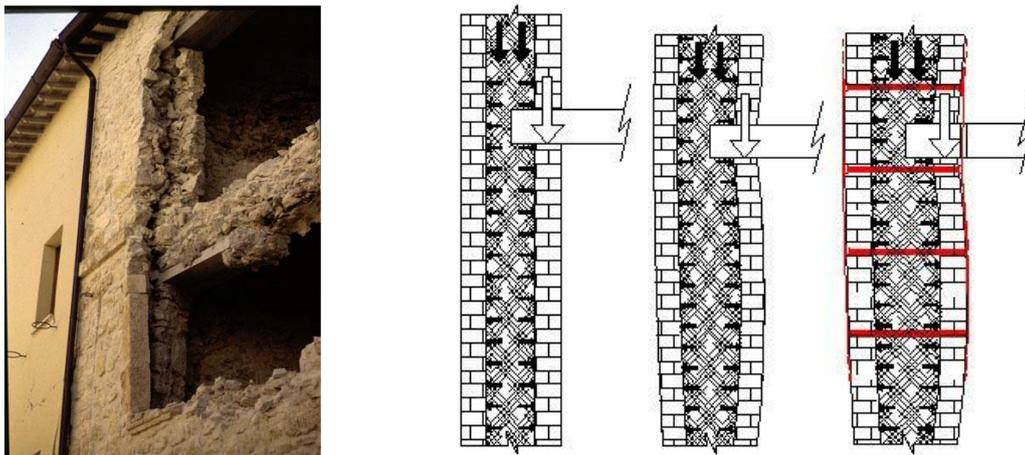


FIGURA 16 - COMPATTAZIONE DEI PARAMENTI MURARI MEDIANTE PRESOLLECCITAZIONE TRIASSIALE DIFFUSA (COLLEGAMENTO TRASVERSALE MECCANICO DEI PARAMENTI; CONSEGUENTE ASSORBIMENTO DELLE EVENTUALI SPINTE INTERNE AL PARAMENTO; RICENTRAGGIO DELLE ECCENTRICITÀ)



FIGURA 17 - RISOLUZIONE DEL PROBLEMA DELLE CONNESSIONI TRA PARETI ORTOGONALI CONTRASTANDO IL RIBALTAMENTO DEI PARAMENTI MURARI E REALIZZANDO UN REALE COMPORTAMENTO A SCATOLA

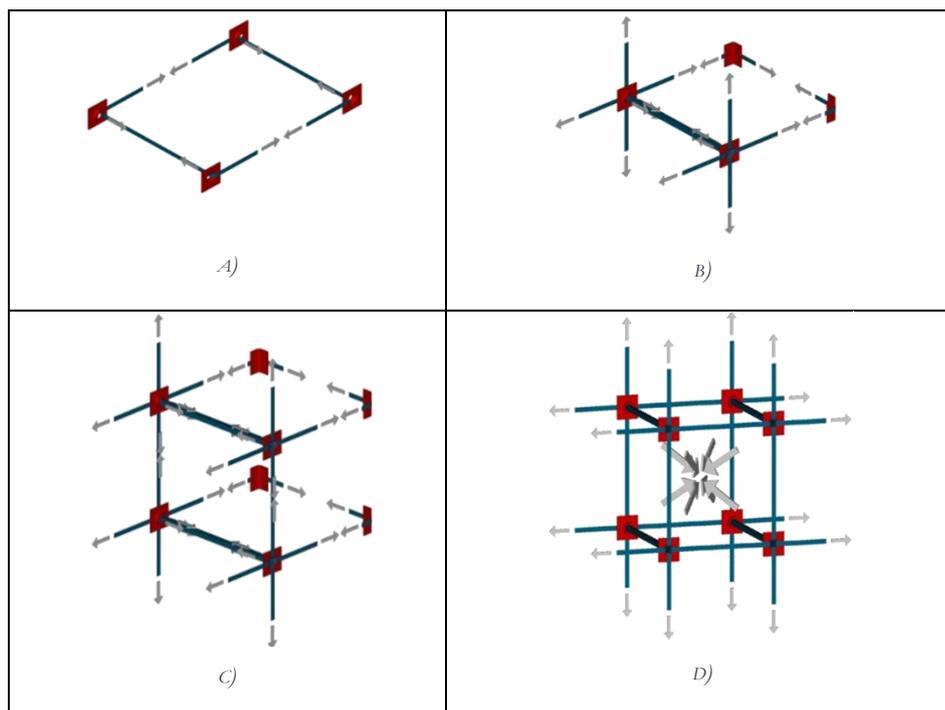


FIGURA 18 – SCHEMI STATICI DI RIFERIMENTO

In cantiere, le diverse fasi di lavorazione si svolgono secondo procedure omologate. Per maggior chiarezza si illustrano di seguito le fasi di posa in opera del Sistema delle cuciture attive per interventi su struttura portante in muratura, così da mostrare in modo chiaro ed esplicativo la flessibilità ed il valore aggiunto che tale rinforzo dà anche nella fase di applicazione.

**FASE n.01:** Fase tracciamento intervento. La prima operazione consiste nel tracciare, sulle murature stonacate e pronte per la posa in opera dell'intervento a cuciture attive, quello che sarà l'effettivo fissaggio delle fascette e il collocamento delle forature. Si riporta l'elaborato grafico progettuale alla realtà del cantiere, in modo poi che l'operatore eseguirà correttamente ogni fase e nulla sarà lasciato al caso in fase di esecuzione.

**FASE n.02:** Fase di foratura del paramento murario. In questa fase vengono utilizzati trapani adeguati a seconda dei casi e delle necessità, il foro può avvenire a percussione "a secco" o con punta carotatrice ad acqua; ciò dipende anche dalle prescrizioni di progetto o da eventuali richieste della sovrintendenza ai beni monumentali ed architettonici.

**FASE n.03:** Fase di posizionamento degli angolari 62,5x62,5x4 h.125 (o h.300 in base alla necessità di progetto) in acciaio inox e delle piastre imbutite 125x125x4 sempre in acciaio inox. Entrambe vengono posizionati in aderenza alla muratura ed allettati con malta cementizia EMACO. Hanno il compito di accompagnare la fascetta (nastro) durante la tesatura in modo da non rovinare il laterizio sottostante che non avrebbe resistenza al taglio e permettere così la corretta posa in opera.

**FASE n.04:** Fase di passaggio nastri e messa in tensione dei nastri in acciaio inox tramite macchinetta tensionatrice pneumatica. Ogni macchinetta è tarata presso un istituto con rilascio di certificato di taratura e viene utilizzata nello specifico cantiere a cui è destinata.

Il sistema delle cuciture attive verrà applicato su tutte le pareti perimetrali e su alcune pareti interne, come indicato in figura.

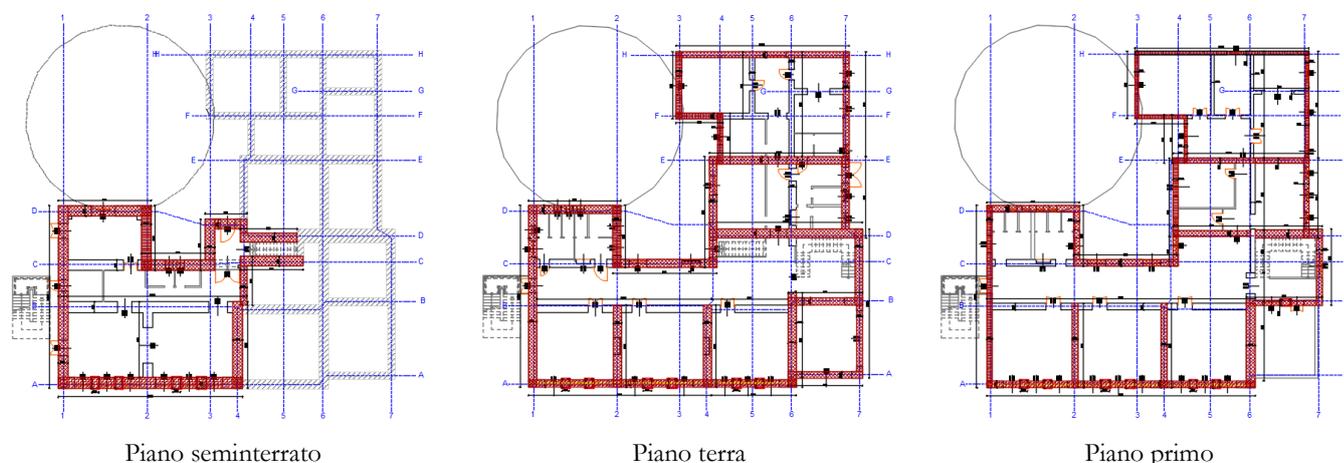


FIGURA 19 – INDIVIDUAZIONE ELEMENTI DA RINFORZARE CON IL SISTEMA DELLE CUCITURE ATTIVE

## 7.2 INTONACO ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA

La tecnica di consolidamento dell'intonaco armato consiste nel realizzare due lastre in calcestruzzo (spessore 3-5 cm) affiancate sui due lati della muratura, armate con una rete metallica e rese solidali alla muratura stessa tramite connettori trasversali.

Questo intervento consente di migliorare le caratteristiche meccaniche della parete in termini sia di resistenza che di rigidezza. Affinché il consolidamento sia efficace è fondamentale che le lastre in calcestruzzo siano presenti su entrambi i lati della parete e che siano rese solidali dalla presenza di connettori trasversali.

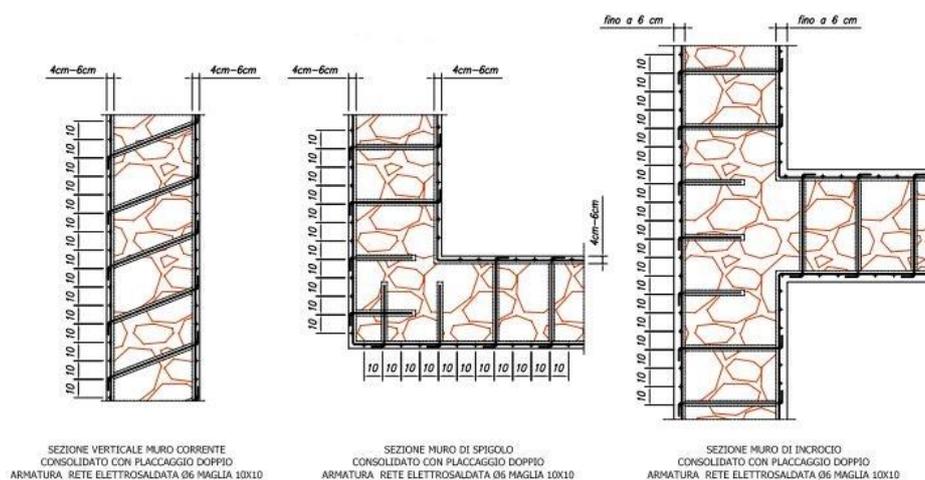


Figura 20 – Tecnica di consolidamento con intonaco armato con rete elettrosaldata

Questa tecnica di consolidamento presenta i seguenti vantaggi:

- L'incremento di resistenza della parete sia nel piano che fuori piano;
- Elimina gli effetti di eventuali lesioni isolate;
- Facilità di esecuzione;

- Non altera lo stato tensionale della muratura;
- L'economicità dell'intervento;
- La facile reperibilità dei materiali.

La procedura di applicazione della tecnica di rinforzo consiste nelle seguenti fasi:

- rimozione dell'intonaco esistente e della malta dai giunti tra gli elementi di muratura (10-15 mm in profondità), da entrambe le facce del pannello;
- applicazione di un primo strato di intonaco (rinzaffo);
- esecuzione di fori passanti, per consentire l'inserimento dei connettori;
- inserimento nei fori dei connettori;
- stesura di un nuovo strato di intonaco di malta bastarda.

È fondamentale inoltre curare l'adeguata sovrapposizione dei pannelli di rete elettrosaldata, in modo da garantire la continuità dell'armatura in verticale ed in orizzontale. L'intonaco armato può essere efficace nell'incrementare la resistenza fuori piano di una parete solo nei casi in cui le armature sono ben ancorate con quelle delle pareti ortogonali e con il cordolo superiore ed inferiore.

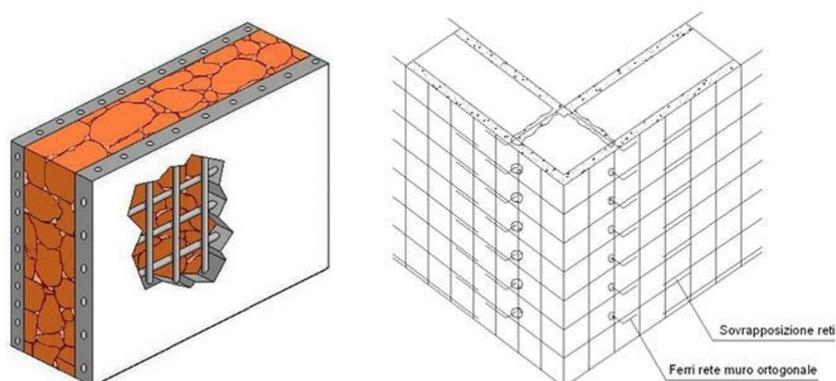


FIGURA 21 – ANCORAGGIO DELLE ARMATURE CON LE PARETI ORTOGONALI

L'intonaco armato sarà applicato su tutti i livelli lungo le pareti interne, come indicato in figura.

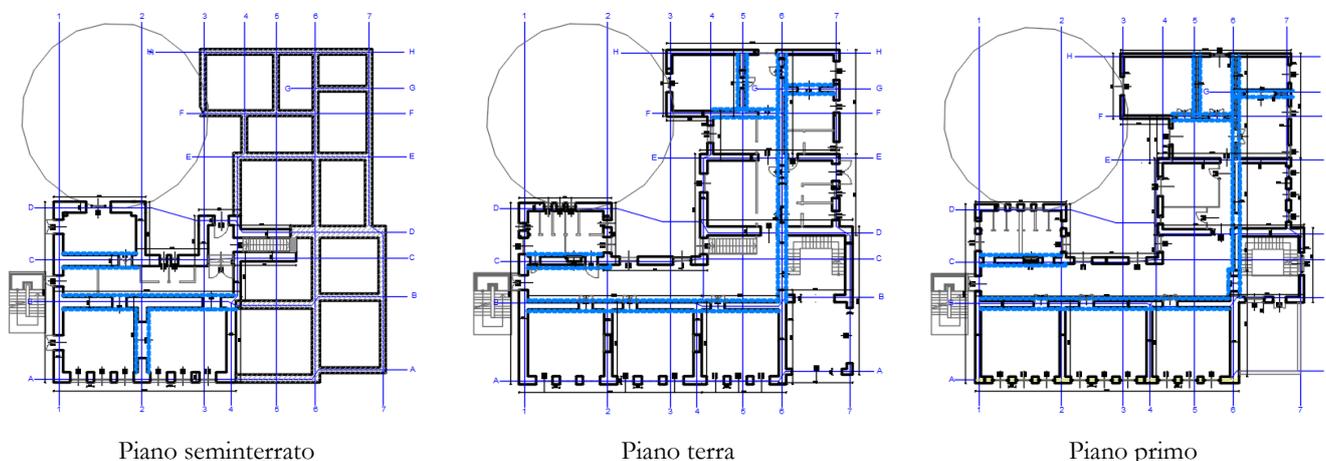


FIGURA 22 – INDIVIDUAZIONE ELEMENTI DA RINFORZARE CON INTONACO ARMATO

### 7.3 RETE ESTRUSA IN PP MAGLIA QUADRATA, TIPO TENAX ED INTONACO

Si tratta di una rete leggera in Polipropilene con elevate tensioni massime sostenibili e resistenza allo strappo. Fungono da contenimento, supporto e rinforzo di materiali impermeabilizzanti e isolanti, non sono corrodili e non si ossidano.

Pur dotata di buone caratteristiche di leggerezza, è molto resistente agli agenti chimici (Sali, acidi, alcali forti) e gode di ottime doti meccaniche. Presenta una discreta resistenza alle alte temperature; viene utilizzato soprattutto per reti bi-orientate.

In definitiva, essa gode dei seguenti vantaggi:

- Stabilità e regolarità dimensionale;
- Alta resistenza meccanica;
- Flessibilità;
- Resistenza allo strappo;
- Materiale riciclabile e inceneribile;
- Leggerezza;
- Basso spessore dei nodi.

La rete sarà applicata, insieme al Sistema delle Cuciture attive solo all'ultimo livello, come indicato in figura.

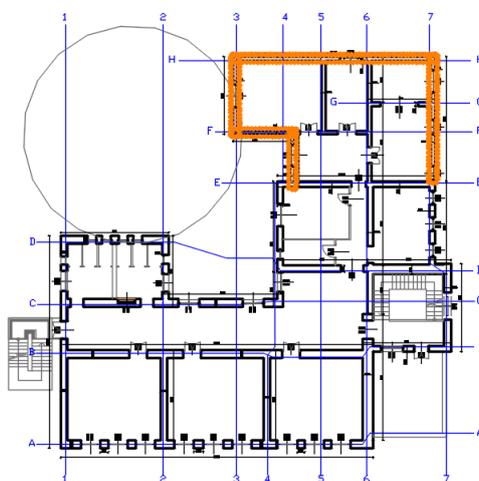


FIGURA 23 – INDIVIDUAZIONE ELEMENTI DA RINFORZARE CON RETE TIPO TENAX – PLANO PRIMO

### 7.4 RISULTATI DI CALCOLO: DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI SICUREZZA POST-INTERVENTO

Dall'analisi di vulnerabilità sismica della struttura a seguito del rinforzo strutturale e del nuovo intervento di completamento architettonico, in accordo alla vigente normativa, si è potuto definire il rapporto capacità/domanda in termini di PGA che esprime il livello di sicurezza rispetto allo stato limite di salvaguardia della vita.

Come si evidenzia nella tabella la struttura, a seguito dell'intervento in progetto, risulta adeguata sismicamente alle normative vigenti (NTC 2008 e Circolare n.617 del 2009).

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC %	PgaD %	TrC	TrD	Esito
Pressoflessione trasversale	SLV	-	1.003	0.483	0.482	2064	712	si
Portanza delle fondazioni	SLV	-	0.000	0.000	0.482	0	712	no
Ribaltamento pareti	SLV	-	1.561	0.752	0.482	>2475	712	si
Pushover al limite di operatività	SLO	0.47	2.907	0.259	0.089	413	45	si
Pushover al limite di danno	SLD	0.83	1.888	0.340	0.180	804	75	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	2.04	1.204	0.580	0.482	>2475	712	si

FIGURA 24 - QUADRO DELLE VERIFICHE SISMICHE: COEFFICIENTE DI SICUREZZA ALFA POST INTERVENTO

In particolare il fattore di sicurezza  $\alpha$  post intervento risulta essere superiore a 1 e nello specifico pari a **1,204**.

## 7.5 RIPRISTINO ARCHITETTONICO

Il progetto prevede, a seguito degli interventi di adeguamento sismico, il ripristino architettonico delle parti coinvolte dall'intervento.

Senza variare la disposizione degli ambienti interni, si prevedono interventi di ripristino architettonico, dopo aver adeguato accuratamente la struttura. Nel dettaglio è prevista la tinteggiatura interna ed esterna di pareti e soffitti, la sostituzione di canali di gronda e discendenti, la rimozione e la messa in opera di nuovi battiscopa in tutti gli ambienti e di rivestimenti nei bagni e nella cucina, la sostituzione di due porte interne (WC disabili) al fine di rispettare gli standard dimensionali delle normative vigenti.

Si prevede inoltre la realizzazione di un bagno per disabili al piano primo mediante la demolizione di un tramezzo, la chiusura di un vano porta e l'installazione di apparecchi igienico sanitari adatti all'utilizzo dei disabili.

## 7.6 RIPRISTINO IMPIANTI TECNOLOGICI

Il progetto prevede, a seguito degli interventi di adeguamento sismico, il ripristino di elementi impiantistici coinvolti dall'intervento.

Durante le fasi di demolizione degli intonaci verranno rimosse tutte le apparecchiature installate sulle pareti e tutte le condotte sotto traccia per poi essere installate nuovamente al termine degli interventi sulla struttura portante.

## 8. CONCLUSIONI

Gli interventi proposti, che consentono di aumentare la sicurezza strutturale esistente, sono da valutarsi nel quadro generale della conservazione e della funzione della costruzione. La valutazione della sicurezza e una chiara conoscenza della struttura sono state alla base delle decisioni e delle scelte degli interventi. In particolare, la scelta delle tecniche d'intervento è stata valutata, dando la preferenza a quelle meno invasive e maggiormente compatibili con i criteri della conservazione, tenendo conto dei requisiti di sicurezza e durabilità.

Gli interventi proposti migliorano le condizioni generali dell'edificio e sotto un'azione sismica migliorano la risposta in termini di vulnerabilità sismica. La valutazione delle insufficienze di resistenza ha reso possibile la progettazione del miglioramento sismico. Si è scelto di utilizzare i materiali con quantitativi, tecniche e modalità di installazione tali da ottenere, in opera, il massimo delle loro prestazioni meccaniche.

I tecnici