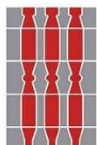


ROBERTO TOMASSINI
ingegnere



REGIONE DELL'UMBRIA



FIRMA

Piazza del Tabacchificio n.14
06083 - Bastia Umbra - Perugia
T. 075.8003511 - M. 349.4691816
tomassini.ing@gmail.com
roberto.tomassini@ingpec.eu

COMMITTENTE

A.P.S.P. " FUSCONI - RENZI - LOMBRICI" REGIONE UMBRIA

INTERVENTO

**Recupero e miglioramento sismico di un Edificio in Norcia (PG)
Piazza Verdi**

**Proprietà: APSP Fusconi-Lombrici-Renzi
Soggetto Attuatore: Regione Umbria**

COMUNE

NORCIA

LOCALITA'

PIAZZA VERDI

CATASTO

Foglio 120, particella 463 sub.1

Foglio 120, particella n.464 sub.39/42/45

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Rocco Cristiano

ingegnere

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE

Roberto Tomassini

ingegnere

ARCHITETTURA

Roberto Tomassini

ingegnere

Enrico Rossi

architetto

STRUTTURE

Roberto Tomassini

ingegnere

IMPIANTI

Marco Vergoni

ingegnere

ELABORATO R.02

TITOLO

RELAZIONE TECNICA-ILLUSTRATIVA

SCALA

FILE

☐ PROGETTO ESECUTIVO ☐ PROGETTO DEFINITIVO ☐ PROGETTO PRELIMINARE ☐ STATO ATTUALE

REV.	EMISSIONE	DATA	RED.	CONTR.
00				
01				
02				
03				
04				
05				
06				

1 – PREMESSA

La presente relazione tecnico illustrativa ha come oggetto la descrizione degli interventi strutturali relativi all'intervento di recupero e miglioramento sismico di "Palazzo Fusconi" di proprietà dell'APSP Fusconi-Renzi-Lombrici che ha subito danneggiamenti in occasione degli eventi sismici che si sono susseguiti a partire dal 24 agosto 2016, tali eventi hanno comportato danneggiamenti di diversa natura sia su elementi strutturali che non, amplificati anche da vulnerabilità preesistenti.

2 - INQUADRAMENTO

Gli immobili oggetto di intervento sono ubicati a Norcia in Piazza Verdi risultano essere censiti al NCEU al foglio 120 particella n.463 sub.1 e particella n.464 sub.39-42-45.

Nel PRG Parte Operativa del Comune di Norcia gli immobili ricadono nella area classificata come "Tessuto Centro Storico "CS"".

Inoltre l'edificio "Palazzo Fusconi" viene definito nello stesso PRG come appartenente alla categoria "Morfotipologia Speciali".

3 – INTERVENTI DI PROGETTO

L'edificio, oggetto di intervento, è costituito da due corpi di fabbrica posti in aderenza, a diversa destinazione d'uso.

Il primo, "Palazzo Fusconi", presenta una forma in pianta pressoché rettangolare con dimensioni massime d'ingombro pari a 24,50x14,50 e si sviluppa su due livelli fuori terra, un sottotetto e un piano seminterrato ed ha una destinazione a servizi privati/commerciali (al piano terra) e turistico-ricettiva (al piano primo, secondo e sottotetto).

Il secondo corpo di fabbrica, presenta una forma in pianta pressoché rettangolare con dimensioni massime d'ingombro pari a 7,50x4,60 e si sviluppa su due livelli fuori terra oltre un piano seminterrato ed ha una destinazione a servizi privati/direzionale.

La soluzione proposta quale intervento di ripristino è un intervento di miglioramento sismico ai sensi delle NTC 2018 conseguito mediante una serie di opere di riparazione e rafforzamento riguardanti le murature portanti di entrambi i corpi di fabbrica (ad esclusione di quelle ai livelli seminterrati) e, nel caso di "Palazzo Fusconi", anche l'impalcato di copertura. Il progetto si pone l'obiettivo da un lato di ripristinare puntualmente i danni provocati dal sisma e dall'altro di "ridurre" in modo significativo le vulnerabilità esistenti attraverso un insieme sistematico di interventi strutturali.

A piano seminterrato, per entrambi i corpi di fabbrica, così come per il sistema fondale non sono previsti interventi strutturali di consolidamento.

Le murature di **piano terra, primo, secondo e sottotetto** verranno consolidate tramite interventi con reti fibro-rinforzate in materiale composito.

E' prevista quindi la realizzazione di un intonaco armato mediante rete in fibra di vetro; il limitato spessore di intonaco ottenibile con tale intervento e il ridotto modulo elastico del composito permettono di contenere la rigidità del rinforzo non alterando perciò significativamente i mutui rapporti di rigidità tra le pareti. Il

consolidamento delle murature viene realizzato attraverso l'applicazione di sistemi di rinforzo strutturale costituiti da barre, reti ed accessori in materiale composito. La tecnica utilizzata è quella del convenzionale "betoncino armato", utilizzando tuttavia reti in FRP/CRM a sostituire quelle in acciaio; tale tecnica è come noto riconosciuta dalla normativa come tra le più efficaci in quanto garantisce elevati gradi di miglioramento. La rete di rinforzo viene resa solidale alle murature con elementi di connessione, anch'essi in FRP/CRM, distribuiti uniformemente sulla superficie in modo tale da ottenere una struttura collaborante con miglior comportamento meccanico risolvendo problematiche di ponte termico. L'efficacia del sistema di consolidamento viene garantita, nel tempo, dalla totale assenza di corrosione agli agenti atmosferici e dalla compatibilità della rete e degli accessori in FRP/CRM con malte a base calce, gesso, pozzolana.

Dove necessario la riparazione dei paramenti murari, seguendo le linee guida della Circ. 617/09 appendice al punto C8A.5.6, è prevista mediante la sarcitura o scuci – cucì. Detto intervento è finalizzato al ripristino della continuità muraria lungo le linee di fessurazione ed al risanamento delle porzioni di muratura gravemente deteriorate. E' previsto di utilizzare materiali simili a quelli originari per forma, dimensioni, rigidità e resistenza, collegando i nuovi elementi alla muratura esistente con adeguate ammorsature nel piano del paramento murario e ove possibile anche trasversalmente, in profondità al paramento stesso, in modo da conseguire la massima omogeneità e monoliticità della parete riparata. Tale intervento sarà utilizzato anche per la chiusura di nicchie, canne fumarie e per la riduzione dei vuoti, in particolare nel caso in cui la nicchia/apertura/cavità è posizionata a ridosso di angolate o martelli murari.

Per la **copertura di "Palazzo Fusconi"** è prevista la rimozione degli attuali lucernai e quindi la realizzazione di successive cerchiature delle aperture con profili in acciaio, volte a garantire e ripristinare il comportamento rigido del solaio.

L'effetto dell'azione sismica inoltre ha prodotto localmente in copertura scorrimenti e scivolamenti del manto che hanno causato in diverse zone l'infiltrazione delle acque meteoriche, rendendo pertanto necessario la riparazione del manto stesso ipotizzando la sostituzione dei coppi per una porzione almeno pari al 20%.

4 - RIFERIMENTI NORMATIVI

L'analisi della struttura e le verifiche sugli elementi sono state condotte in accordo alle vigenti disposizioni legislative ed in particolare delle seguenti norme:

- *Legge n.1086 del 05/11/71*
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- *Legge n.64 del 02/02/74*
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- *D.M. del 17/01/18*
Norme tecniche per le costruzioni (2018).

Sono state inoltre tenute presenti le seguenti referenze tecniche:

- *C.M. n.7 del 19/01/2019*
Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni

5 - LIVELLO DI CONOSCENZA

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sono individuati i livelli di conoscenza dei diversi parametri coinvolti nel modello e definiti i correlati fattori di confidenza da utilizzare nelle verifiche di sicurezza.

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza si distinguono 3 livelli di conoscenza

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

I fattori di confidenza sono utilizzati per la riduzione dei valori dei parametri meccanici dei materiali e devono essere intesi come indicatori del livello di approfondimento raggiunto. Si è adottato un livello di conoscenza LC1 in quanto è stato effettuato un'accurata ricostruzione storico critica del fabbricato, affiancata ad un rilievo geometrico puntuale ma senza effettuare prove sui materiali, pertanto si è assunto, a favore di sicurezza, un fattore di confidenza $FC=1,35$.

6 – PARAMETRI SISMICI

In funzione della classe d'uso degli edifici, sono stati considerati i seguenti stati limite di verifica, per i quali la normativa fissa l'azione sismica con una data probabilità di superamento, in un periodo di riferimento dipendente dal tipo e dalla classe d'uso della costruzione:

- Sld: Stato limite di Danno sismico (probabilità di superamento 63%)
- Slv: Stato limite di Salvaguardia della vita (probabilità di superamento 10%)

Per ciascuno degli stati limite indicati sono stati valutati i periodi di ritorno dell'azione sismica, tenendo conto della probabilità di superamento prescritta dalla norma e ricavando il periodo di riferimento per l'azione sismica in base al tipo di costruzione e alla classe d'uso.

In funzione dei periodi di ritorno e delle coordinate geografiche del sito, si valutano infine i parametri di pericolosità sismica per gli stati limite di interesse, estrapolando i valori dalle tabelle allegate alla normativa.

In particolare, le coordinate geografiche del sito WGS 84 sono: latitudine 42.792425°, longitudine 13.092276°.

Il tipo di costruzione è ordinario, la classe d'uso è la II (normale) e la muratura prevalente è di tipo ordinaria. Le caratteristiche del suolo di fondazione corrispondono alla categoria stratigrafica B e alla categoria topografica T1.

Si valuta per l'edificio una vita nominale di 50 anni e un periodo di riferimento per l'azione sismica di 50 anni.

Per lo stato limite di Danno sismico (Sld) sono stati considerati i seguenti parametri di pericolosità:

- Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]: 50
- Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]: 0,103
- Fattore di amplificazione per spettro orizzontale: 3,59
- Periodo spettrale di riferimento [s]: 0,22

Per lo stato limite di Salvaguardia della vita (Slv) sono stati considerati i seguenti parametri di pericolosità:

- Periodo di ritorno dell'azione sismica [anni]: 475
- Accelerazione orizzontale massima al suolo [g]: 0,255
- Fattore di amplificazione max per spettro orizzontale: 2,68
- Periodo spettrale di riferimento [s]: 0,22

In base ai parametri di pericolosità sismica sono stati definiti gli spettri sismici di progetto per la componente orizzontale e verticale in corrispondenza degli stati limite di interesse. La definizione completa degli spettri di risposta è riportata nell'omonima tabella nella sezione dei risultati globali di analisi, nel seguito del presente tabulato.

7 – MODELLAZIONE E VERIFICHE SISMICHE

Il modello strutturale dell'edificio assume come ipotesi di base che i maschi murari abbiano un comportamento tipo shear-type, ovvero abbiano rotazioni al piede e in testa impedito e che il loro spostamento in pianta sia descrivibile come roto-traslazione rigida.

La prima ipotesi è generalmente accettabile ai fini tecnici quando sussiste fra le pareti un sufficiente grado di ammassamento tale da garantire un comportamento scatolare dell'insieme. In queste condizioni infatti, la presenza dei muri trasversali limita notevolmente la rotazione delle sezioni terminali delle murature, rendendo plausibile l'ipotesi di rotazioni impedito al piede e in testa. Inoltre, nel caso di setti adiacenti ad aperture, la deformabilità del collegamento può essere messa in conto, come in effetti si fa nel programma, attraverso un appropriato trattamento del nodo a dimensione finita.

Per quanto riguarda la seconda ipotesi, questa non discende dalla presenza di solai di piano sufficientemente rigidi da impedire la deformazione in pianta della struttura, in quanto nel caso specifico delle murature la rigidezza dei solai, anche se realizzati in latero-cemento, resta pur sempre bassa se comparata a quella della muratura portante, ma discende anch'essa dal comportamento scatolare dell'edificio. Se i muri sono validamente ammassati negli incroci, la pianta di un edificio murario può essere assimilata ad una sezione pluriconnessa e quindi manifesta una forte rigidezza torsionale, anche in assenza di solai.

In questo contesto, la risposta ad una spinta orizzontale lungo un setto non produce effetti solo locali, ma porta ad una collaborazione dell'insieme dei setti, che si manifesta con una roto-traslazione dell'insieme e pertanto gli spostamenti in pianta risultano tali da poter essere decritti con buona approssimazione tramite un moto rigido del solaio.

La validità di entrambe le ipotesi resta ovviamente legata ad un pieno ammorsamento agli incroci murari e ad una corretta realizzazione delle aperture, requisiti essenziali piuttosto comuni nelle costruzioni murarie. In tal caso le ipotesi forniscono un buon compromesso fra semplicità di analisi ed accuratezza di modellazione e sono accettabili ai fini tecnici, specie se si considera anche il livello delle approssimazioni coinvolte negli altri aspetti della modellazione (identificazione dei parametri elastici e di resistenza delle murature, valutazione dello stato di degrado ed altro).

Si può anche osservare che, all'estremo opposto, una modellazione apparentemente più sofisticata, che veda pareti separate trattate come strutture intelaiate, porterebbe a trascurare del tutto gli effetti legati alla rigidità torsionale della cassa muraria, con ciò perdendo l'aspetto forse più importante del comportamento della struttura.

L'analisi sismica è eseguita in campo statico non lineare, secondo una strategia incrementale push-over, considerando due diverse distribuzioni delle forze sismiche: una distribuzione lineare sull'altezza e una distribuzione proporzionale alle masse di piano, e facendo variare l'angolo di incidenza del sisma da 0 a 360 gradi secondo una scansione predefinita, tale da campionare in modo esauriente la risposta strutturale sotto sisma.

Inoltre, è stata eseguita una analisi dinamica modale in campo lineare, per determinare i modi di vibrazione dell'edificio e per valutare quindi le percentuali di massa eccitata sui singoli modi di vibrare, prodotte da ogni scansione sismica considerata nell'analisi statica non lineare, variabili in direzione e nella distribuzione delle forze sull'altezza.

Nel caso in esame, è stata adottata una scansione di incidenza sismica di 11 gradi. Sono state quindi eseguite analisi per 32 direzioni sismiche, ripetute per due diverse distribuzioni di forze sull'altezza.

Nell'ambito di una singola analisi si segue una tecnica incrementale che consiste nell'aumentare gradualmente il carico sismico e di controllare, in ogni passo di carico, il livello tensionale e deformativo raggiunto nei maschi. La soluzione incrementale è ottenuta imponendo l'equilibrio tra il tagliante di piano, quale risultante delle forze sismiche cumulate sino al piano considerato, e la risultante degli sforzi di taglio dstantesi in ciascun maschio, ottenuti in funzione dello scorrimento di interpiano e del legame elasto-plastico ad essi associato.

In particolare, il contributo dei maschi è limitato dalle resistenze ultime a taglio e a pressoflessione longitudinale e si annulla quando lo spostamento raggiunge il corrispondente valore ultimo. Il tipo di crisi sarà da pressoflessione o da taglio, in funzione dei rapporti di rigidità e di resistenza fra le due risposte. Quando ciò avviene, il maschio è dichiarato collassato e non dà più alcun contributo nei passi di carico successivi. Nel corso del processo vengono registrati in continuo i valori raggiunti per il tagliante sismico e lo spostamento orizzontale di riferimento, in modo da costruire per ogni direzione sismica la curva di equilibrio forze-spostamenti. L'analisi si conclude quando si raggiunge lo stato limite di collasso, definito dalle condizioni indicate nella normativa.

Nella analisi push-over condotta intervengono i valori di resistenza e di duttilità dei maschi murari. I valori resistenti sono relativi alla risposta a taglio e a pressoflessione dei maschi e si ottengono in base alle caratteristiche meccaniche delle murature tenendo conto dell'effetto riduttivo del fattore di confidenza. I valori limiti di calcolo della duttilità si ottengono dai valori assegnati al tipo muratura, in base alle indicazioni di normativa, che definiscono i valori per lo stato limite di danno e per gli stati limiti ultimi di collasso a taglio e a pressoflessione longitudinale.

Per tener conto inoltre di possibili effetti sfavorevoli all'estrinsecarsi della duttilità, ad esempio dovuti a fenomeni di localizzazione delle deformazioni o alla presenza di un danneggiamento già esistente, si applica a vantaggio di statica un ulteriore fattore di sicurezza sulle duttilità limiti pari a 1.56.

Lo stato limite di danno è raggiunto quando il primo maschio murario raggiunge uno spostamento orizzontale relativo pari al valore limite prefissato per tale evenienza (duttilità limite di danno).

Lo stato limite di salvaguardia vita è raggiunto quando, per effetto della progressiva eliminazione dei maschi murari arrivati a collasso (quelli cioè con spostamenti relativi maggiori della duttilità ultima a taglio o a flessione), la forza resistente manifesta una riduzione pari al 15% del valore massimo raggiunto.

La verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite sismici Sld,Slv viene effettuata controllando che per ogni direzione sismica la capacità di spostamento, valutata mediante l'analisi non lineare pushover, sia maggiore della domanda di spostamento che si ottiene costruendo il sistema bilineare equivalente ad un grado di libertà, valutandone il periodo proprio in base alla rigidezza elastica secante e ricavando lo spostamento richiesto dallo spettro elastico corrispondente allo stato limite di verifica, eventualmente amplificato con un fattore di correlazione fra sistema elastico e sistema anelastico.

Si controlla, inoltre, che il fattore di struttura $q=f_e/f_y$ del sistema bilineare equivalente, valutato come rapporto fra il taglio alla base ottenuto dallo spettro elastico e il taglio resistente, non ecceda il valore limite 3.0 per gli stati limite sopra menzionati.

Il risultato delle verifiche viene quindi riportato in maniera equivalente in termini di P_ga , ovvero in accelerazione di picco al suolo, normalizzata alla categoria A (roccia). In particolare si valuta la capacità di P_ga (accelerazione al suolo che produce il raggiungimento di un particolare stato limite) e la domanda di P_ga (accelerazione al suolo fissata dalla normativa). Il fattore di sicurezza è quindi espresso come rapporto di P_ga fra il valore di capacità e il valore di domanda.

Come già indicato in precedenza, l'analisi sismica globale contiene implicitamente le verifiche a pressoflessione longitudinale e a taglio. Le verifiche a pressoflessione e a ribaltamento fuori piano vengono invece eseguite separatamente in quanto la valutazione delle forze equivalenti indicate dalla normativa richiede la conoscenza di alcuni parametri meccanici, come il periodo proprio della struttura nella direzione di verifica, disponibili come risultato a conclusione dell'analisi globale. In questi casi si fa riferimento a modellazioni locali che tengono conto del grado di ammorsamento fra muratura e solaio, per effetto dei cordoli e dei tiranti presenti.

Il tecnico incaricato
Ing.Roberto Tomassini

