



COMUNE DI MONTONE

D.G.R. N. 1001 del 06/09/2016 - Interventi di prevenzione del rischio sismico su edifici pubblici strategici o rilevanti ex art. 2 co. 1 lett. b dell'OCDPC n. 293/15



VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA E INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO "PALAZZO COMUNALE"

PROGETTO ESECUTIVO

Elaborato		PROGETTO STRUTTURALE				
S.R1		Relazione tecnica illustrativa				
		File: S.R1_e01	Layout: S.R1			
ed.	data	motivo	redatto	verificato	approvato	autorizzato
01	18/12/2019	Emissione e Consegna	LeB	LeB	LuR	PM
02						
03						
STUDIO MARCUCCI E ASSOCIATI ing. Paolo Marcucci - arch. Gianluca Sforna - ing. Maurizio Spigarelli - ing. Luigi Rossi - ing. Learco Boccali via S.Apollinare 4 - 06081 ASSISI (PG) - 075/812945 - fax. 075/813757 - e-mail: posta@marcucciassociati.it						
Questo documento è di proprietà esclusiva. E' proibita la riproduzione anche parziale. La proprietà tutelerà i suoi diritti in termini di legge.						

PROGETTO STRUTTURALE
RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

INDICE

1	PREMESSA	2
2	STATO DI FATTO	2
2.1	Oggetto e ubicazione dell'intervento	2
2.2	Descrizione dello Stato Attuale	2
2.3	Conoscenza del manufatto ed indagini eseguite	3
3	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA.....	4
4	LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA	6
5	LIVELLO DI SICUREZZA ALLO STATO DI FATTO	7
6	PROGETTO STRUTTURALE	8
6.1	Consolidamento diffuso delle murature del piano primo	8
6.2	Consolidamento delle murature al piano seminterrato e secondo	8
6.3	Collegamento degli orizzontamenti e delle coperture alle murature perimetrali	9
6.4	Inserimento di catene al livello del piano mezzanino	9
6.5	Rifacimento della copertura soprastante la Sala Consiliare	9
6.6	Consolidamento del solaio di calpestio della sala Consiliare	10
7	LIVELLO DI SICUREZZA DOPO GLI INTERVENTI DI PROGETTO.....	11
8	MIGLIORAMENTO SISMICO CONSEGUITO.....	11

1 PREMESSA

Il progetto esecutivo di seguito descritto è stato redatto a seguito dell'affidamento dei *"Servizi tecnici di verifica di vulnerabilità sismica, progettazione esecutiva, direzione dei lavori, contabilità, coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione e certificato di regolare esecuzione delle opere per lavori di miglioramento sismico su Edificio Palazzo Comunale"* sito in Piazza Fortebraccio n. 3, nel centro storico di Montone.

I lavori sono ricompresi negli *"Interventi di prevenzione del rischio sismico su edifici pubblici strategici o rilevanti ex art 2 comma 1 lett. b dell'OCDPC n. 293/15"*, in ottemperanza a quanto previsto dal bando di cui alla DGR n.1001 del 06/09/2016.

L'edificio è stato individuato come *"Edificio strategico e rilevante"* ai sensi del DPCM n. 3685 del 21/10/2003", ed è pertanto classificato in **Classe d'Uso IV** ai sensi delle NTC18; esso, inoltre, è individuato come **Bene Monumentale** e sottoposto a tutela ai sensi della Parte II, Titolo I, Capo I del D.Lgs. n. 42/2004, art. 21.

Il progetto di seguito descritto riguarda interventi di **"miglioramento sismico"** ai sensi del punto 8.4.2 delle NTC08 in quanto è finalizzato a conseguire un aumento della sicurezza della costruzione.

Si evidenzia che per tale edificio in classe d'uso IV, il valore del coefficiente di sicurezza a seguito degli interventi di miglioramento sismico, deve essere non minore di 0,60.

2 STATO DI FATTO

2.1 Oggetto e ubicazione dell'intervento

Il Palazzo Comunale è ubicato nella zona nord- est del centro storico di Montone, posto a ridosso delle mura medioevali sulla testata dell'isolato compreso tra viale S. Albertino e Piazza Braccio Fortebraccio.

L'immobile è individuato al Catasto dei Fabbricati del Comune di Montone al Foglio n.38 con la particella n. 75 (cfr. Elab. SF.02 – Estratti Prg, Estratto Mappa Catastale, Planimetria Generale), di proprietà del Comune di Montone, ed è destinato a sede degli uffici Comunali e del Centro Operativo Comunale (COC).

2.2 Descrizione dello Stato Attuale

Si tratta di un edificio in muratura posizionato all'estremità di una stecca di edifici e rappresenta un "unicum" strutturale di dimensioni massime in pianta pari a circa 24 m di lunghezza e 19 m di larghezza e circa 13,50 m di altezza massima fuori terra.

L'assetto planimetrico è pressoché rettangolare, salvo la porzione a nord, in corrispondenza del passaggio che collega Piazza Fortebraccio con viale Sant'Albertino, in cui l'edificio piega leggermente rimanendo addossato alle scale di via San Francesco.

Dal punto di vista altimetrico l'edificio si sviluppa su 4 livelli fuori terra e presenta un piano seminterrato in corrispondenza dei locali situati lungo via Sant'Albertino.

Ogni livello è costituito da una successione di locali organizzati e distribuiti senza alcun disimpegno o corridoio.

Dal punto di vista funzionale e distributivo, il Palazzo Comunale si articola su quattro livelli fuori terra raccordati da un collegamento verticale posizionato a sud del fabbricato e costituito da un corpo scala, realizzato con il progetto di ristrutturazione degli anni Ottanta, e da un ascensore di più recente realizzazione.

Dai vani che si affacciano sulla connessione verticale è possibile raggiungerne altri senza la presenza di vani-filtro.

Il Piano Terra ospita l'Ufficio informazioni, e i locali afferenti al Comando di Polizia; il Piano Mezzanino due vani che ospitano gli archivi; il Piano Primo gli uffici del Sindaco, le Segreterie e la Sala Consiliare; il Piano Secondo le sale server, gli uffici tecnici e di ragioneria.

Al Piano Primo, dal vano della Segreteria è possibile accedere ad una terrazza a Sud del fabbricato. Il Piano Interrato e Terra accolgono altri vani che ospitano attività commerciali.

La tipologia costruttiva è caratterizzata in prevalenza da muratura mista in pietra e laterizio con solai di vario genere, prevalentemente in acciaio e tavelloni e in laterizio e laterocemento, e copertura in coppi e contro-coppi a falde inclinate.

Al Piano Interrato e Terra sono presenti anche volte in laterizio a botte e a crociera, mentre, al Piano Primo e Secondo fa eccezione il solaio di calpestio e di copertura della Sala Consiliare in tavelle e travi varesi.

Il passaggio che collega Piazza Fortebraccio con via Sant'Albertino è scandito dal susseguirsi di due arconi riconducibili alla tipologia in pietra a spacco ed è caratterizzato da un controsoffitto a doppia orditura di travi e travicelli in legno, e pannelle in laterizio con sovrastante solaio in acciaio e tavelloni in laterizio.

La struttura portante è in muratura mista di pietra locale e laterizi.

Le murature sono caratterizzate da spessori variabili e assimilabili a più tipologie sulla base di quelle individuate dalla Circolare applicativa alle Norme Tecniche per le costruzioni.

Nello specifico, la muratura delle pareti perimetrali del Piano Terra di parte del prospetto ovest ed est (zona del passaggio coperto) è riconducibile al tipo in pietre a spacco a buona tessitura mentre quella del prospetto nord al tipo in pietre a conci sbazzati di spessore disomogeneo. Gli altri livelli di tutti i prospetti sono caratterizzati da muratura mista in pietra e laterizi.

Per le strutture portanti interne al corpo di fabbrica, in funzione della tipologia e degli spessori, è possibile riscontrare, oltre a quanto già esposto per le pareti perimetrali, anche murature in mattoni pieni in laterizio e blocchi di tufo a livello del sottotetto.

Le pareti interne dei vani sono tutte completamente intonacate fatta eccezione per i locali al piano interrato.

Allo stato attuale l'edificio, presenta un quadro fessurativo limitato, che interessa solo localizzate porzioni del fabbricato, ma in maniera non rilevante e puntuale.

Sono presenti lesioni non passanti in corrispondenza del piano nobile (primo), in numero di due e al piano secondo, in numero di quattro.

Le lesioni del Piano Primo sono ubicate nella Sala Consiliare (a doppia altezza) e una di esse ha danneggiato il già lacunoso affresco presente nella Sala che, posta sul fronte nord-est dell'edificio presenta importanti elementi di vulnerabilità strutturale.

Al Piano Secondo le lesioni sono concentrate nel lato nord del locale Sala Server (adiacente con la Sala Consiliare): tra queste tre sono isolate e una di tipo diffuso.

Le facciate esterne non presentano danneggiamenti.

2.3 Conoscenza del manufatto ed indagini eseguite

Al fine di raggiungere una adeguata conoscenza del manufatto, e raggiungere pertanto il richiesto livello di conoscenza **LC2**, sono state eseguite diverse tipologie di indagini, come diffusamente riportato nella Relazione dei Calcoli. In particolare le fasi salienti sono state:

- Rilievo architettonico,
- Analisi storico-critica;
- Rilievo materico-costruttivo;
- Esecuzione di saggi ed indagini a carattere esteso.

Nei calcoli di verifica strutturale sono stati pertanto assunti i valori medi di resistenza e dei moduli elastici, in accordo a quanto prescritto dalla normativa per il livello di conoscenza LC2.

3 CRITERI DI ANALISI E VERIFICA

La valutazione della sicurezza e l'analisi della vulnerabilità sismica sono condotte secondo quanto riportato al par. 8.3 e C.8.3 delle NTC18. In particolare, il livello di sicurezza del fabbricato nei confronti dei diversi stati limite deve essere valutato in rapporto a quello richiesto per gli edifici nuovi.

Le verifiche richieste per la valutazione del livello di sicurezza della struttura esistente in classe d'uso IV sono:

- verifiche agli SLU in condizioni statiche;
- verifiche agli SLU in condizioni sismiche;
- verifiche agli SLE in condizioni sismiche;

La valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio è condotta secondo quanto riportato al par. 7.3.6 delle NTC18 ed in Tab. 7.3.III., in cui le verifiche globali necessarie a garantire il rispetto dei diversi stati limite, riguardano:

- verifiche di resistenza agli SLV;
- verifiche di resistenza agli SLD;
- verifiche di rigidezza agli SLO;

Sulla base di quanto riportato in precedenza, è stato implementato un modello globale della struttura mediante il quale è stata condotta **l'analisi statica e l'analisi modale** per valutare carichi verticali, periodo proprio della struttura, masse modali partecipanti e deformate nei modi di vibrare significativi.

Successivamente sono state effettuate le verifiche di resistenza degli elementi murari in fase statica:

- pressoflessione nel piano;
- taglio scorrimento;
- taglio per fessurazione diagonale;
- pressoflessione ortogonale.

Lo studio della struttura in condizioni sismiche è stato poi eseguito mediante:

- L'analisi statica non sismica: è stata effettuata per tutte le combinazioni che comprendono i soli carichi statici ed altre che includono anche il carico da neve e da vento e consente di valutare lo stato di sollecitazione dei vari elementi strutturali, nelle diverse condizioni e combinazioni di carico, adottato per le verifiche agli SLU.
- L'analisi dinamica modale lineare: è stata effettuata in combinazione sismica, mediante fattore di struttura q. I risultati ottenuti sono stati utilizzati per le verifiche di rigidezza nei confronti degli SLO.
- L'analisi statica non lineare (pushover): ha consentito di indagare la risposta della struttura considerando gli elementi murari a comportamento non lineare (elasto-plastico). Il risultato dell'analisi è costituito dalla curva di capacità, un diagramma riportante in ascissa lo spostamento del punto di controllo e in ordinata la forza orizzontale totale applicata (taglio alla base). Tale analisi statica non lineare è stata effettuata assegnando come distribuzioni principale e secondaria rispettivamente la prima distribuzione del Gruppo 1 (distribuzione lineare, proporzionale alle forze statiche utilizzate per l'analisi statica lineare) e la seconda del Gruppo 2 (distribuzione uniforme di forze proporzionale alle masse). I risultati delle analisi sono stati utilizzati per valutare il livello di sicurezza allo stato attuale e ricavare gli indici di rischio sismico nei confronti delle verifiche di resistenza agli SLD ed SLV richieste dalle NTC18.
- Analisi sismica mediante studio dei cinematismi di collasso locale: le verifiche cinematiche costituiscono un riferimento fondamentale per gli edifici monumentali; per questo sono state condotte numerose verifiche dei meccanismi locali per indagare la stabilità dei pannelli rispetto alle azioni ortogonali che inducono meccanismi di ribaltamento e flessione verticale.

Tali meccanismi di I modo, sono quelli più facilmente attivabili, per un edificio esistente, in caso di evento sismico.

L'analisi di tali meccanismi ha restituito i relativi indici di sicurezza in termini di fattore di accelerazione e di tempi di ritorno allo Stato Limite Ultimo di salvaguardia della Vita (SLV) e di Danno (SLD).

Lo studio della vulnerabilità sismica è stato pertanto condotto in maniera esaustiva e completa, indagando la struttura sia nel suo comportamento "globale" che eseguendo valutazioni "locali" sui singoli pannelli murari.

Si riporta una tabella riepilogativa delle analisi condotte e delle corrispondenti verifiche effettuate:

TIPOLOGIA DI ANALISI	TIPO DI VERIFICA	STATO LIMITE
Analisi statica non sismica	Resistenza	SLU
Analisi dinamica modale lineare	Rigidezza	SLO
Analisi statica non lineare (pushover)	Capacità Globale	SLV ed SLD
Analisi cinematica	Meccanismi locali	SLV ed SLD

Ai fini della analisi di vulnerabilità della struttura sotto le azioni sismiche, per l'individuazione di un indice di sicurezza rappresentativo delle condizioni allo stato attuale, nei confronti di ciascun stato limite, si è ritenuto significativo assumere il parametro minore tra quelli ricavati dalle analisi sismiche sopra riportate.

4 LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

Poiché l'edificio Palazzo Comunale di Montone è un edificio storico sottoposto a tutela diretta ai sensi del D. Lgs. 42/2004, la valutazione della vulnerabilità sismica e i conseguenti interventi di miglioramento sismico sono condotti con riferimento alle "Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018" (di seguito "Linee Guida BB.CC."), contenuta nella Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011.

Rispetto a quanto previsto nelle NTC18, per gli edifici esistenti, la Direttiva suddetta consente di determinare tale fattore come somma di quattro diversi fattori parziali di confidenza F_{Ck} ($k=1,2,3,4$), sulla base dei coefficienti numerici riportati nella tabella che segue (tab. 4.1), ciascuno associato alle quattro categorie di indagini ad al livello di conoscenza in esse raggiunto.

Tabella 4.1 – Definizione dei livelli di approfondimento delle indagini sui diversi aspetti della conoscenza e relativi fattori parziali di confidenza.

Rilievo geometrico	rilievo geometrico completo	$F_{C1} = 0.05$
	rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	$F_{C1} = 0$
Identificazione delle specificità storiche e costruttive della fabbrica	restituzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)	$F_{C2} = 0.12$
	restituzione parziale delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su: a) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione e alla verifica delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); b) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche)	$F_{C2} = 0.06$
	restituzione completa delle fasi costruttive e interpretazione del comportamento strutturale fondate su un esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche)	$F_{C2} = 0$
Proprietà meccaniche dei materiali	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	$F_{C3} = 0.12$
	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0.06$
	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	$F_{C3} = 0$
Terreno e fondazioni	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geotecnici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni	$F_{C4} = 0.06$
	disponibilità di dati geotecnici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0.03$
	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni	$F_{C4} = 0$

In funzione dello specifico livello di conoscenza raggiunto (**LC2**) , si può assumere:

$$FC = 1,00 + [FC1 + FC2 + FC3 + FC4] = 1,00 + [0,00 + 0,06 + 0,00 + 0,00] = \mathbf{1,06}$$

Al fine di definire il livello di conoscenza e il relativo fattore di confidenza, nonché per la caratterizzazione meccanica dei diversi materiali esistenti si è fatto riferimento alla documentazione messa a disposizione dalla committenza ed in particolare alla campagna di indagini condotta dalla società Unilab Sperimentazione srl.

5 LIVELLO DI SICUREZZA ALLO STATO DI FATTO

Si riportano di seguito gli indici di sicurezza dello stato di fatto, al fine di valutare l'entità del miglioramento conseguito a seguito degli interventi di progetto.

TIPOLOGIA DI ANALISI	OGGETTO DI INDAGINE E TIPO DI VERIFICA	STATO LIMITE CONSIDERATO	INDICE DI RISCHIO $\zeta_{E,SL} (PGA_c/PGA_D)$
ANALISI DINAMICA MODALE LINEARE	Analisi Globale 3D	SLO	0,778
PUSHOVER	Analisi Globale 3D	SLD	0,558
		SLV	0,566
ANALISI CINEMATICA*	Ribaltamento	SLD	0,000
		SLV	0,000

Dalle considerazioni eseguite, al fine di individuare per l'intero edificio un indice di sicurezza rappresentativo delle condizioni allo stato attuale, si ritiene significativo assumere il parametro minore allo SLV tra quelli ricavati dalle analisi sopra riportate.

Si assume, quindi, il seguente indice di sicurezza, in relazione all'accelerazione sismica e al tempo di ritorno, ed il conseguente valore di Vita nominale residuo della struttura:

STATO LIMITE	INDICE DI RISCHIO SISMICO $\zeta_{E,SL} (PGA_c/PGA_D)$
SLV	0,000

6 PROGETTO STRUTTURALE

6.1 Consolidamento diffuso delle murature del piano primo

Sulle strutture verticali del primo piano (piano uffici Segreteria, Sindaco e Sala Consiliare) si prevede l'esecuzione dei seguenti interventi:

- ripristino della continuità ed integrità delle murature lesionate, con sostituzione delle parti più fatiscenti e/o ammalorate, attraverso l'uso del scuci-cuci di mattoni pieni e malta bastarda sulle pareti interne intonacate, mentre su quelle a faccia a vista e su quelle esterne si userà pietra e mattoni di recupero e malta a base di calce idraulica ed inerti locali;
- incremento della resistenza dei maschi murari attraverso:
 - la chiusura delle nicchie con muratura di mattoni pieni e malta M15 a base di calce idraulica naturale NHL 3.5, compatibile con gli interventi sulle murature storiche;
 - consolidamento e rinforzo di maschi murari tramite iniezioni con malta iperfluida a base di calce idraulica naturale NHL 3.5 e inserimento diffuso di diatoni in fibra d'acciaio galvanizzato hardwire ad altissima resistenza UHTSS (1200 gr/mq) tipo KIMISTEEL GLV 1200 formato da micro-trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una microrete in fibra di vetro;
 - l'esecuzione di rinzafo eseguito con idonea malta M15 a base di calce idraulica naturale NHL 3.5, premiscelata, di ottime caratteristiche sia meccaniche che igroscopiche, compatibile con gli interventi sulle murature storiche, previa scarnitura profonda delle connessioni e accurata pulizia delle pareti da trattare prima dell'applicazione;
 - consolidamento dei pannelli murari mediante inserimento di diatoni a "secco" di collegamento dei paramenti della muratura, con barre elicoidali del tipo KIMISTEEL INOX X-BAR certificate EN 845-1/2008 in acciaio inox AISI 316, provviste di marcatura CE, in apposito foro pilota nell'elemento strutturale;
 - consolidamento e rinforzo di maschi murari mediante realizzazione di intonaco armato con rete in fibra di vetro alcalino resistente e malta di calce idraulica naturale M15 attraverso la demolizione dell'intonaco esistente, la successiva scarnitura profonda e la realizzazione di collegamenti (connettori/diatoni) realizzati mediante connettori artificiali a fiocco in fibra di acciaio galvanizzato, realizzati con tessuto in acciaio galvanizzato tipo Kimisteel GLV 1200, preformato arrotolando il tessuto.

Sulla parete della Sala Consiliare ove è presente l'affresco, la demolizione e il rifacimento dell'intonaco e il consolidamento della muratura riguarderanno il solo intonaco "recente": la zona affrescata verrà protetta e salvaguardata lasciando una fascia di intonaco "recente" di circa 30cm lungo tutto il perimetro dell'affresco.

6.2 Consolidamento delle murature al piano seminterrato e secondo

Sulle strutture verticali al piano seminterrato (enoteca) e al piano secondo (ragioneria e sala server) si prevede l'esecuzione dei seguenti interventi:

- sarcitura di lesioni con catenelle di mattoni eseguita con idonea malta a base di calce idraulica e sabbia locale rispondente alle caratteristiche di quella originale, compresa la suggellatura con materiali di recupero, previa accurata scarnitura, pulitura e bagnatura;
- ripristino della continuità ed integrità delle murature con sostituzione dei conglomerati di fondazione affioranti attraverso l'uso del scuci-cuci con pietra e mattoni di recupero a faccia a vista e malta a base di calce idraulica ed inerti locali;
- incremento della resistenza dei maschi murari attraverso il ripristino della stuccatura e rinzeppatura dei giunti delle volte e delle murature a faccia a vista con l'uso di malta di calce idraulica naturale e sabbia fina lavata di fiume o del luogo, rispondente alle caratteristiche di quella originale.

6.3 Collegamento degli orizzontamenti e delle coperture alle murature perimetrali

Solai in acciaio e tavelloni

I solai coprenti i vani M.2 e M.3 al piano mezzanino saranno collegati alle murature perimetrali attraverso l'inserimento di angolari intradossali in acciaio alloggiati sotto intonaco all'intersezione tra pareti e soffitti, saldati alle travi in acciaio del solaio e ancorati alle murature tramite perfori armati con barre in acciaio filettate M16 iniettati con resina epossidica.

Solai in laterocemento : travetti e pignatte

I solai in latero cemento coprenti il piano primo saranno collegati alle murature perimetrali attraverso l'inserimento di angolari intradossali in acciaio alloggiati sotto intonaco all'intersezione tra pareti e soffitti, saldati a piatti in acciaio disposti trasversalmente rispetto ai travetti tralicciati e ad essi ancorati tramite spinotti in acciaio iniettati con resina epossidica, e ancorati alle murature tramite perfori armati con barre in acciaio filettate M16 iniettati con resina epossidica.

Qualora non fosse possibile alloggiare completamente gli angolari sotto l'intonaco, sarà utilizzata una cornice perimetrale con modanatura a "gola" per schermare l'intervento.

I solai inclinati di copertura coprenti il piano secondo e il sottotetto saranno collegati alle murature perimetrali dall'estradosso attraverso la realizzazione di un cordolo sommitale costituito da un piatto in acciaio ancorato alle murature sottostanti mediante perfori sub verticali armati con barre in acciaio filettate M16, iniettati con malta di calce idraulica antiritiro a base di caolino e alluminati: a completamento dell'intervento sarà realizzata una camicia estradosale con malta fibrorinforzata armata con rete in fibra di vetro, ancorata ai travetti tralicciati tramite spinotti in acciaio iniettati con resina epossidica, sopra la quale saranno predisposti uno strato isolante in lana di roccia e una guaina impermeabile autoprotetta con ardesia, sulla quale verrà ripristinato il manto di copertura con sottocoppi e coppi di recupero.

Gli sporti di gronda saranno conservati, mentre i canali di gronda ed i pluviali, attualmente in lamiera zincata, saranno sostituiti con nuovi canali e discendenti in rame a sezione circolare.

6.4 Inserimento di catene al livello del piano mezzanino

Le volte a botte e a crociera lunettate coprenti il vano T.12 del fabbro ed i vani T.9 e T.10 del negozio al piano terra saranno collegate alle murature perimetrali attraverso l'inserimento di catene estradosali sotto il pavimento del mezzanino costituite da tondi in acciaio alloggiati in apposita guaina di scorrimento e ancorati alle murature di facciata mediante capochiave a forchetta e spinotto con paletto in vista.

Le volte a padiglione lunettate coprenti i vani T.2 e T.8 al piano terra, e M4 al mezzanino, saranno collegate alle murature perimetrali attraverso l'inserimento di catene metalliche intradossali posizionate alle reni delle volte, costituite da tondi in acciaio a vista ancorati alle murature di facciata mediante capochiave a forchetta e spinotto con paletto in vista e alle murature interne tramite piastre metalliche in nicchia poste alle estremità.

6.5 Rifacimento della copertura soprastante la Sala Consiliare

L'intervento mira, allo stesso tempo, all'eliminazione degli elementi incongrui aggiunti in epoca recente (solai in travi "Varese" e tavelle con orditura spingente realizzati negli anni '60 con sottostante controsoffitto in quadrotti di gesso) e alla riduzione delle carenze strutturali attraverso l'eliminazione delle spinte e la realizzazione di opportuni collegamenti alle murature perimetrali.

Infatti, la copertura ad un'unica falda inclinata della Sala Consiliare (parte in travi "Varese" e tavelloni e parte in laterocemento con soprastanti muricci e tavelloni), oltre ad essere inappropriata rispetto al contesto storico della Sala dove è presente un affresco del 1453, è ordita in modo spingente e non è sufficientemente collegata e ammorsata ai maschi murari d'ambito.

Il progetto, pertanto, ne prevede la completa sostituzione mediante la realizzazione di un nuovo solaio inclinato in legno lamellare per i seguenti motivi:

- utilizzare una tipologia "tradizionale" e un materiale antico rielaborati con una tecnologia contemporanea in modo da rendere evidente la novità dell'intervento rispetto al contesto storico;

- contenere lo spessore degli elementi costitutivi dell'orditura primaria costituita da puntoni e arcarecci. La nuova copertura sarà realizzata con struttura in legno lamellare costituita da puntoni dotati di appoggi orizzontali (per eliminare la spinta sulle murature) e di contraffissi e tiranti in acciaio ancorati al legno mediante fazzoletti e staffe sagomate ad U (per mantenerne snella la sezione), arcarecci e travicelli in legno, pianellato e soprastante soletta in cls strutturale alleggerito, tipo LECA CLS 1600, armata con rete elettrosaldata, resa collaborante ai travicelli tramite appositi connettori in acciaio a vite mordente e ben collegata al cordolo perimetrale in acciaio, posto sopra le murature e ancorato alle murature sottostanti con perfori armati e a tutti gli elementi della copertura con viti metalliche; sopra la soletta saranno disposti un freno al vapore, uno strato isolante costituito da un doppio pannello in fibre di legno e una guaina impermeabile autoprotetta con ardesia, sulla quale verrà posato direttamente il manto di copertura con sottocoppi e coppi di recupero.

Gli sporti di gronda e il comignolo saranno conservati, mentre i canali di gronda ed i pluviali, attualmente in lamiera zincata, saranno sostituiti con nuovi canali e discendenti in rame a sezione circolare.

6.6 Consolidamento del solaio di calpestio della sala Consiliare

Il solaio in laterocemento con travi in c.a. e tavelle coprente il sotto passo che da Porta del Borgo conduce a Piazza Braccio Fortebraccio sarà collegato alle murature d'ambito attraverso l'inserimento all'estradosso di piatti in acciaio lungo le pareti perimetrali ancorati tramite perfori armati con barre in acciaio iniettati con malta a base di calce idraulica a ritiro controllato; vista l'eccessiva deformabilità di alcuni campi, si provvederà inoltre ad irrigidire il solaio sia nel proprio piano che in quello verticale, mediante la realizzazione di soletta in calcestruzzo strutturale alleggerito, tipo LECA CLS 1600, resa collaborante con le travi in c.a. mediante l'inserimento di opportuni spinotti in acciaio iniettati con resina epossidica, previa demolizione dell'attuale pavimento in cotto levigato della Sala Consiliare e ripristino con un nuovo pavimento in cotto realizzato con piastrelle del tipo fatto a mano levigate e trattate a cera naturale trasparente.

7 LIVELLO DI SICUREZZA DOPO GLI INTERVENTI DI PROGETTO

Si riportano di seguito gli indici di sicurezza dopo gli interventi di progetto, al fine di valutare l'entità del miglioramento conseguito.

TIPOLOGIA DI ANALISI	OGGETTO DI INDAGINE E TIPO DI VERIFICA	STATO LIMITE CONSIDERATO	INDICE DI RISCHIO $\zeta_{E,SL} (PGA_c/PGA_D)$
ANALISI DINAMICA MODALE LINEARE	Analisi Globale 3D	SLO	0,917
PUSHOVER	Analisi Globale 3D	SLD	0,619
		SLV	0,718
ANALISI CINEMATICA	Flessione verticale	SLD	1,312
		SLV	1,220

Dalle considerazioni eseguite, al fine di individuare per l'intero edificio un indice di sicurezza rappresentativo delle condizioni in progetto, si ritiene significativo assumere i parametri minori allo SLV tra quelli ricavati dalle analisi sopra riportate.

Si assume, quindi, il seguente indice di sicurezza, in relazione all'accelerazione sismica:

STATO LIMITE	INDICE DI RISCHIO SISMICO $\zeta_{E,SL} (PGA_c/PGA_D)$
SLV	0,718

8 MIGLIORAMENTO SISMICO CONSEGUITO

Al fine di quantificare il miglioramento ottenuto nei confronti dei diversi Stati Limite previsti dalle NTC18, per le costruzioni in classe d'uso IV, si presenta il confronto tra gli indici di rischio espressi in termini di (PGA_c/PGA_D) tra Stato Attuale e Progetto con il relativo incremento di resistenza

TIPOLOGIA DI ANALISI	STATO LIMITE CONSIDERATO	STATO ATTUALE $\zeta_{E,SL} (PGA_c/PGA_D)$	PROGETTO $\zeta_{E,SL} (PGA_c/PGA_D)$	Variazione Indice di rischio $\Delta\zeta_{E,SL}$
ANALISI DINAMICA MODALE LINEARE	SLO	0,778	0,917	0,139
PUSHOVER	SLD	0,558	0,619	0,061
	SLV	0,566	0,718	0,152
ANALISI CINEMATICA	SLD	0,000	1,312	1,312
	SLV	0,000	1,220	1,220