



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.R7		Relazione di valutazione della sicurezza				
		File: S.R7.e01	Layout: S.R7			
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.						

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 di vulnerabilità sismica e Interventi di miglioramento sismico
PALAZZO COMUNALE

PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTO STRUTTURALE
Relazione di valutazione della sicurezza

S-R7_e01

rev_00

pagina 1 di 12

PROGETTO STRUTTURALE**RELAZIONE DI VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA****INDICE**

1	PREMESSA	2
2	VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLA SICUREZZA	5
2.1	Verifiche in condizioni statiche – Stato Attuale e Progetto	5
2.2	Verifiche in condizioni sismiche– Stato Attuale e Progetto	9
2.3	Valutazione del miglioramento sismico conseguito	10
3	ESITI DELLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	12

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". 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).

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.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di progettazione e calcolo è riportata nel dettaglio nella Relazione dei calcoli.

La descrizione dello stato attuale dell'immobile e degli interventi previsti è riportata nella "Relazione Tecnica Illustrativa".

L'intervento previsto nel progetto strutturale si configura come "Intervento di miglioramento di un edificio esistente" ai sensi dei par. 8.4.2 delle NTC18 e C8.4.2 della Circolare del Consiglio Superiore dei LL.PP. n° 7 del 21 gennaio 2019, in quanto è mirato ad accrescere le capacità di resistenza della struttura esistente, pur senza raggiungere necessariamente i livelli di sicurezza richiesti dalla norma.

In questo caso, la valutazione della sicurezza è estesa a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme ed è finalizzata a determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento; in particolare si determina l'entità massima delle azioni cui la struttura può resistere con il grado di sicurezza richiesto.

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche, il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto ζ_E tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve raggiungere comunque un valore dell'indicatore di rischio sismico non minore di 0,600.

Nella fattispecie il palazzo Comunale è, come detto, un edificio sottoposto a tutela ai sensi della Parte II, Titolo I, Capo I del D.Lgs. n. 42/2004, art. 21, per cui la valutazione della vulnerabilità sismica e i conseguenti interventi di miglioramento sismico possono essere condotti con riferimento alla DIRETTIVA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 9 febbraio 2011: Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008. (11A02374) (GU n. 47 del 26-2-2011 - Suppl. Ordinario n.54) che non fornisce prescrizioni numeriche minime sul valore dell'indicatore di rischio sismico finale. Nel progetto si è deciso quindi di far riferimento al DPCM 2011 al fine di valutare il Fattore di confidenza utilizzato nei calcoli ma di rispettare i livelli minimi prescritti dalle NTC2018 per gli indicatori di rischio sismico complessivi.

Per quanto attiene al livello di conoscenza, tenendo conto dell'analisi storico critica del manufatto, dei rilievi geometrici, delle indagini effettuate al fine di conoscere i dettagli costruttivi e di parametrizzare meccanicamente sia le malte che le murature nel loro complesso, nel progetto si è assunto un **Livello di**

Conoscenza LC2, utilizzando, sia per le resistenze che per i moduli elastici, i valori medi dell'intervallo di cui alla tab. C8.5.1, in accordo a quanto prescritto dalla normativa per il livello di conoscenza LC2.

Per il dettaglio delle analisi e prove strumentali eseguite si rimanda agli elaborati **I.01, I.02 I.03 I.04**

Il fattore di confidenza da utilizzare è stato valutato come detto, facendo riferimento alla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011 che rispetto a quanto previsto nelle NTC18, consente di determinare il relativo Fattore di Confidenza come somma di quattro diversi fattori parziali di confidenza F_{ck} ($k=1,2,3,4$).

Per il caso dell'edificio in esame si è quindi adottato un fattore di Confidenza **$F_c = 1,06$** .

Per i dettagli del calcolo si rimanda a quanto riportato al capitolo 3 della Relazione dei Calcoli.

L'analisi statica e sismica dell'intera struttura è stata eseguita con il programma **PCM di Aedes**, con il quale è stato realizzato un modello globale che ha consentito di condurre sia le verifiche di resistenza globali dei vari elementi strutturali che di indagare meccanismi di collasso di I modo (cinematismi) che si sviluppino fuori piano. Trattandosi di una costruzione in classe IV, sono state condotte anche le verifiche di resistenza allo SLD, nonché le verifiche di rigidezza allo SLO. E' stata poi eseguita la verifica statica e sismica delle strutture fondali in termini di capacità portante e di scorrimento sul piano di posa.

Tali analisi sono state condotte sia nello stato attuale che tenendo conto degli interventi di progetto, per valutare il miglioramento delle condizioni di sicurezza a seguito degli interventi ipotizzati.

Il software esegue il calcolo attraverso la schematizzazione mediante "telaio equivalente" in cui i maschi murari, le fasce di piano, le travi e gli architravi sono rappresentati da aste che si collegano tra loro nei nodi del modello.

I carichi sono stati raggruppati in diverse condizioni elementari, organizzate in varie combinazioni, statiche e sismiche.

L'analisi globale della struttura è svolta tramite quattro diversi tipi di analisi:

- analisi statica non sismica;
- analisi sismica dinamica lineare;
- analisi statica non lineare (pushover);
- analisi dei meccanismi di collasso.

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.

Con tale analisi sono state condotte le verifiche globali di resistenza del fabbricato e le verifiche in fondazione.

L'analisi dinamica lineare ha consentito di eseguire le verifiche sismiche in fondazione e le verifiche di rigidezza agli SLO di tutta la struttura.

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 (A) (distribuzione proporzionale alle forze statiche) e la seconda del Gruppo 2 (E) (distribuzione uniforme di forze proporzionale alle masse).

Con tale analisi sono state condotte le verifiche globali di resistenza del fabbricato allo SLD e SLV.

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 di vulnerabilità sismica e Interventi di miglioramento sismico
PALAZZO COMUNALE

PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTO STRUTTURALE
Relazione di valutazione della sicurezza

S-R7_e01

rev_00

pagina 4 di 12

Metodi di analisi dei meccanismi di collasso

L'analisi dei meccanismi di collasso è stata effettuata con il metodo dell'analisi limite dell'equilibrio delle strutture murarie, considerate come corpi rigidi non resistenti a trazione, secondo quanto indicato nei par. C8.7.1.6 e C8A.4 della Circolare Applicativa.

Sono stati analizzati i meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione, non tenendo conto, cautelativamente di eventuali ancoraggi presenti a livello dei solai e di cui, ad oggi, non si ha certezza. Si è invece tenuto conto dei presidi anti-ribaltamento esistenti.

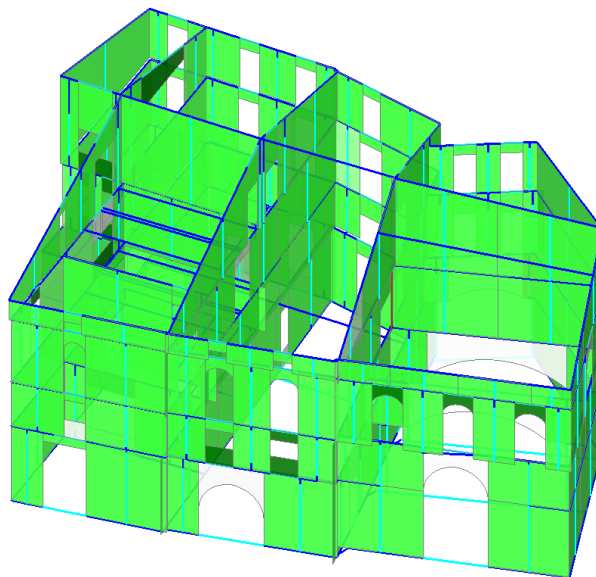
I criteri di analisi e verifica sono riportati dettagliatamente nella *Relazione dei calcoli* e nei *Tabulati* allegati; di seguito si riporta solo la sintesi dei risultati, necessaria per eseguire la valutazione della sicurezza.

2 VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLA SICUREZZA

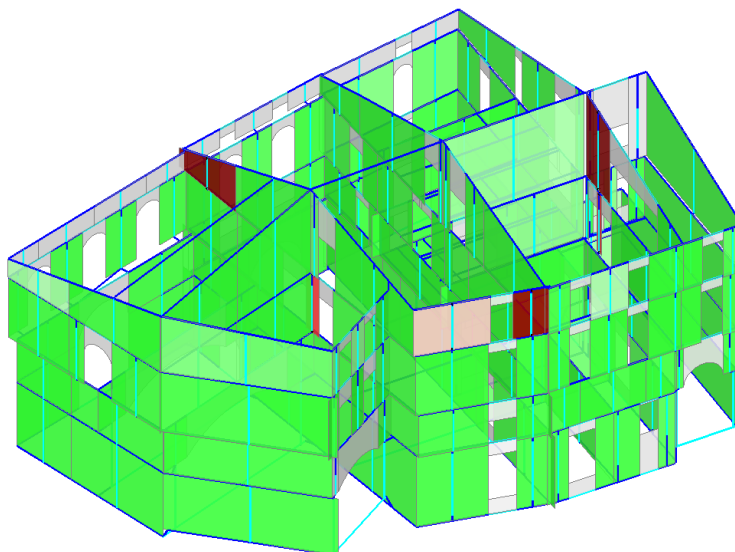
La valutazione quantitativa della sicurezza viene effettuata sia in condizioni statiche, sia in quelle sismiche.

2.1 Verifiche in condizioni statiche – Stato Attuale e Progetto

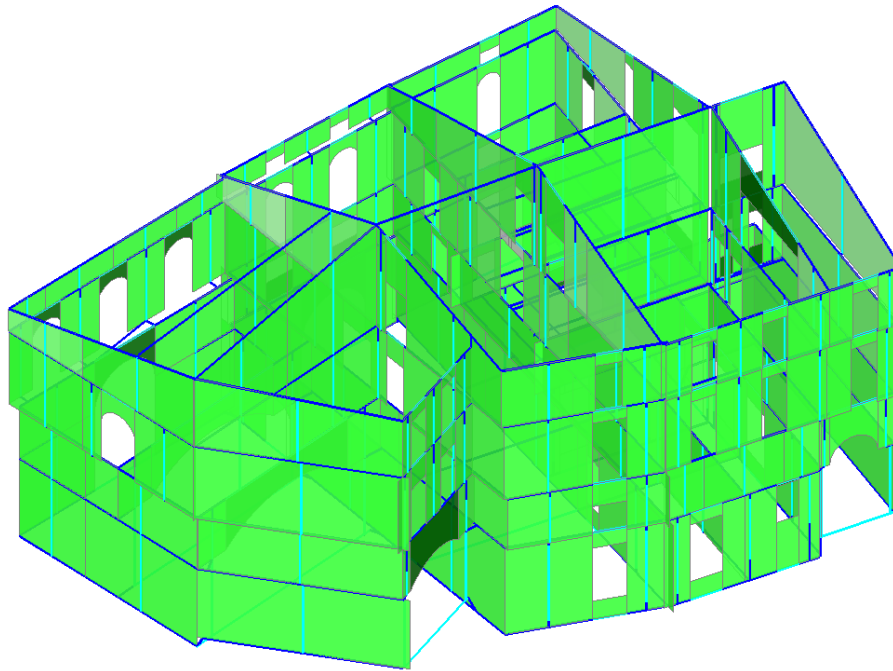
Si riportano a seguire gli esiti delle verifiche di resistenza condotte con riferimento ai quattro meccanismi richiesti dalla normativa vigente. In rosso sono graficizzati gli elementi non verificati.



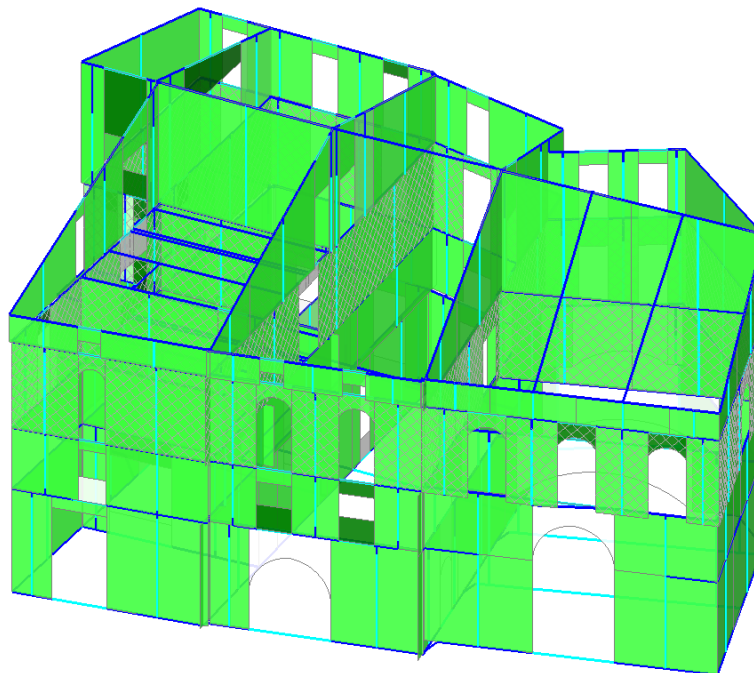
Stato attuale – Analisi statica – Pressoflessione complanare



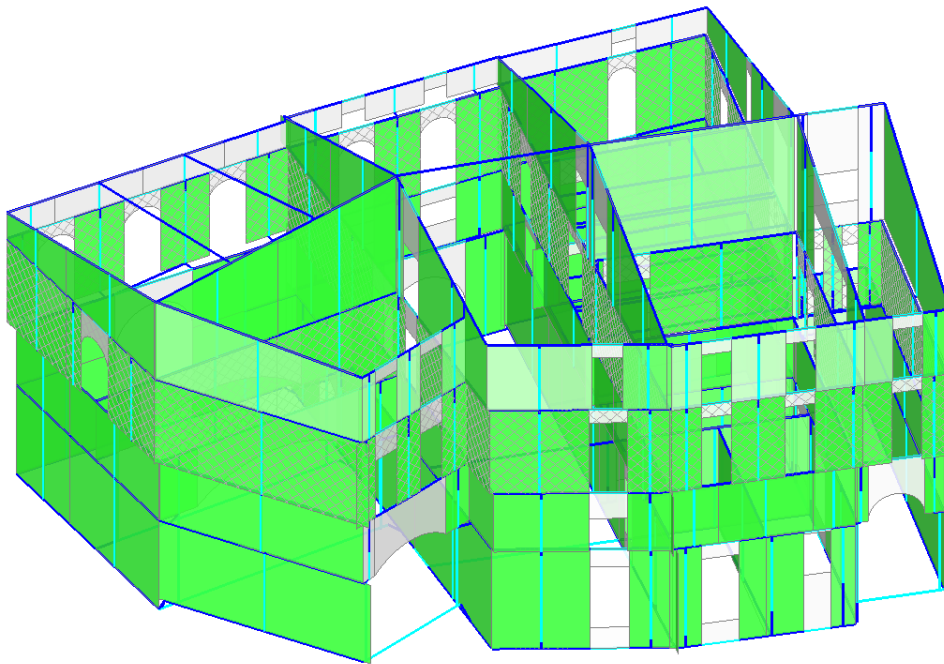
Stato attuale – Analisi statica – Pressoflessione ortogonale



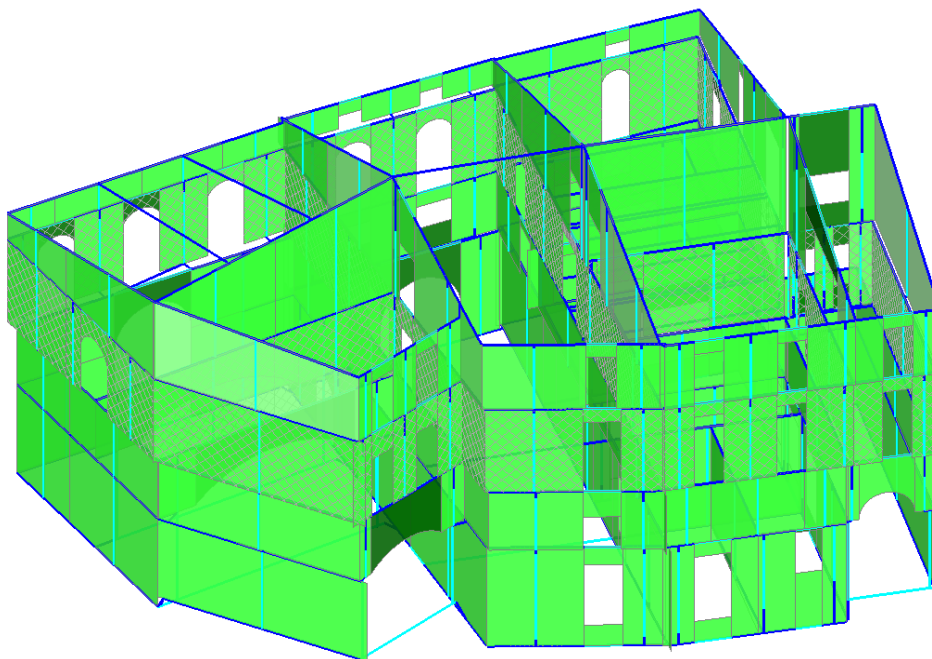
Stato attuale – Analisi statica – Taglio per fessurazione diagonale



Progetto – Analisi statica – Pressoflessione complanare



Progetto – Analisi statica – Pressoflessione ortogonale



Progetto – Analisi statica – Taglio per fessurazione diagonale

Di seguito si riporta la sintesi dei coefficienti minimi di sicurezza ottenuti per lo Stato attuale e per il Progetto, riferiti all'involuppo delle combinazioni di carico, valutando quindi la combinazione più gravosa.

Nella tabella è riportato:

- a sinistra il valore del coefficiente di sicurezza più basso riscontrato nelle verifiche;
- a destra la percentuale degli elementi verificati rispetto al totale.

Analisi Statica Lineare, NON Sismica (D.M.17.1.2018)		
Analisi Statica Lineare NON Sismica [§4.5.5] Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura		
SLU di salvaguardia della Vita (SLV) Verifica di Resistenza (RES)		
Involuppo CCC		
Pressofless. complanare [§4.5.6]	0.000	98.6%
Taglio scomimento [§4.5.6]	2.573	100%
Taglio fessuraz. diag. [§4.5.6]	1.663	100%
Pressofless. ortogonale (da modello 3D)	0.000	95.9%
Pressofless. ortog. [§4.5.6.2]		
SL di tipo geotecnico (GEO): Capacità portante del terreno e Scomimento sul piano di posa [§6.4.2.1]	2.504	

Stato attuale – Analisi statica – Involuppo combinazioni SLU

Analisi Statica Lineare, NON Sismica (D.M.17.1.2018)		
Analisi Statica Lineare NON Sismica [§4.5.5] Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura		
SLU di salvaguardia della Vita (SLV) Verifica di Resistenza (RES)		
Involuppo CCC		
Pressofless. complanare [§4.5.6]	1.036	100%
Taglio scomimento [§4.5.6]	2.473	100%
Taglio fessuraz. diag. [§4.5.6]	1.646	100%
Pressofless. ortogonale (da modello 3D)	1.170	100%
Pressofless. ortog. [§4.5.6.2]		
SL di tipo geotecnico (GEO): Capacità portante del terreno e Scomimento sul piano di posa [§6.4.2.1]	2.463	

Progetto – Analisi statica – Involuppo combinazioni SLU

Dall'analisi dei coefficienti si nota che allo Stato Attuale alcuni maschi presentano problemi per verifiche a pressoflessione sia nel piano che fuori piano, ma si tratta di situazioni locali e molto ridotte in termini numerici.

In progetto, invece, tutte le verifiche sono soddisfatte.

2.2 Verifiche in condizioni sismiche– Stato Attuale e Progetto

L'edificio in oggetto è in classe d'uso IV, pertanto la valutazione della sicurezza e le analisi di vulnerabilità sismica sono state condotte agli SLU ed agli SLE secondo quanto previsto dai paragrafi 8.3 e 7.3.6 delle NTC18.

Le verifiche condotte evidenziano che:

- L'analisi cinematica condotta in stato attuale evidenzia che tutti i cinematismi indagati risultano non verificati, pur tenendo conto delle catene esistenti.
Tutti i cinematismi, in progetto, forniscono indici di rischio in termini di PGA superiori all'unità e risultano di fatto impediti sotto le azioni di progetto definite dalle NTC18;
- Le analisi globali dimostrano che l'edificio ha raggiunto i livelli minimi stabiliti dalle NTC18 ai fini del "Miglioramento sismico", senza peraltro garantirne l'adeguamento.

Indicatori di rischio - Stato Attuale

A seguire si riporta una tabella riepilogativa degli indici di rischio in termini di PGA, derivanti dalle diverse analisi effettuate in condizioni sismiche:

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:

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

Indicatori di rischio - Progetto

A seguire si riporta una tabella riepilogativa degli indici di rischio in termini di PGA, derivanti dalle diverse analisi effettuate in condizioni sismiche:

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

2.3 Valutazione del miglioramento sismico conseguito

Gli interventi di miglioramento sismico previsti dal presente progetto strutturale conducono alla riduzione del rischio sismico della struttura in oggetto. 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:

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

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 di vulnerabilità sismica e Interventi di miglioramento sismico
PALAZZO COMUNALE

PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTO STRUTTURALE
Relazione di valutazione della sicurezza

S-R7_e01

rev_00

pagina 11 di 12

3 ESITI DELLA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Con gli interventi previsti in progetto si ha che:

- i nuovi elementi del solaio di copertura della sala consiliare, sono stati progettati e verificati secondo quanto previsto dalla normativa vigente per le nuove strutture;
- in progetto l'edificio risulta staticamente idoneo a sopportare le azioni costituite dai pesi propri, dai carichi permanenti, dai carichi variabili di esercizio oltreché l'azione del vento e della neve;
- a livello di verifica sismica globale l'edificio, a seguito degli interventi di progetto, registra un aumento della capacità di resistenza calcolata mediante analisi sismica pushover raggiungendo un indice di Sicurezza maggiore del limite imposto dalla normativa per edifici in classe IV e quindi risulta sismicamente migliorato;
- i cinematismi di collasso delle pareti fuori piano, che risultano attivabili allo Stato Attuale e che determinano l'Indice di Sicurezza del fabbricato ante interventi, ($\zeta_E = 0,000$) sono impediti dopo gli interventi di progetto, risultando verificati con coefficienti di sicurezza maggiori dell'unità ($\zeta_E = 1.22$) e maggiori di quelli dell'analisi globale;
- la verifica geotecnica delle fondazioni esistenti, risulta soddisfatta sia in stato attuale che in progetto.

In sintesi, a seguito degli interventi in progetto:

- l'edificio risulta **migliorato sismicamente** avendo raggiunto il limite minimo imposto di $\zeta_E = 0,6$, così come chiesto dalle normative vigenti;
- non si pongono limitazioni alle condizioni d'uso e alla classe d'uso riportate negli elaborati di progetto.

L'indicatore di rischio sismico del fabbricato dopo gli interventi di progetto, espresso come rapporto tra capacità e domanda in termini di PGA, risulta allo SLV: $\zeta_E = 0,718$, per cui **l'edificio risulta idoneo a sopportare le azioni sismiche previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17 gennaio 2018).**