



Gruppo Sismica srl
Viale Andrea Doria, 27 - Catania

mail: info@grupposismica.it
www.3dmacro.it - www.histra.it

Le cerchiature come intervento di rinforzo locale per gli edifici esistenti in muratura:

Aspetti peculiari di modellazione e verifica ai sensi delle NTC2008 e linee guida regionali

Francesco Oliveto (Gruppo Sismica s.r.l.)

1. INTRODUZIONE

Il presente documento tratta una particolare tipologia di interventi, detti di "di rinforzo locale", atti ad eliminare carenze localizzate della struttura, riparare eventuali danni pregressi o attuali post-sisma e ripristinare lo stato ante-operam, senza che ne venga modificato il comportamento sismico globale. A seguito di tali interventi non è necessario procedere alla verifica dell'intero organismo strutturale, ma ci si può limitare a verificare il singolo elemento strutturale che, nel caso di strutture in muratura, è possibile identificare con la singola parete.

Nella prima parte del documento viene presentata una panoramica degli interventi, che possono essere inquadrati come "interventi di rafforzamento locale", ai sensi delle recenti normative antisismiche (D.M.14.01.2008 e relativa Circolare n°617 del 2009) e alla luce di alcuni orientamenti normativi regionali, quali quelli proposti dalle Regioni Toscana, Emilia Romagna etc. che offrono delle utili linee guida per la progettazione e la verifica di questo tipo di interventi.

La metodologia di verifica degli interventi locali si basa sulla determinazione della curva di push-over relativa alla parete interessata dall'intervento, modellata da cielo a terra. Mentre la metodologia secondo cui viene modellato solo il livello interessato dall'intervento, ripristinando la precedente rigidità ante intervento (per esempio a seguito dell'allargamento di un vano porta) alla luce delle nuove norme tecniche è da ritenersi valido unicamente come procedura di pre-dimensionamento o al fine di formulare il giudizio di accettabilità dei risultati.

Quanto riportato nel presente documento è stato predisposto alla luce delle seguenti normative:

- D.M.14.01.08 Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare n°617/2009 – Istruzioni di cui al D.M.14.01.08
- Orientamenti interpretativi su interventi locali o di riparazione - Regione Toscana, Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico, D.G.R n.606 del 21/6/2010);
- Regione Emilia Romagna – CTS (art. 4, L.R. n. 19/2008 e D.G.R. n. 1430/2009)

2. INTERVENTI LOCALI: definizione e verifica

Il punto 8.4 del D.M.14.01.2008 individua e classifica le seguenti tipologie d'intervento:

- Interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;
- Interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;
- Riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

In particolare il D.M.14.01.2008 al punto 8.4.3 e la relativa Circolare al punto C8.4.3 individuano gli interventi di rafforzamento locale, fornendone le seguenti definizioni:

- **C8.4.3 - Riparazione o Intervento Locale:** *In generale, tali interventi riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati. Si dovrà documentare che, rispetto allo stato attuale, non ci siano sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.*
- **C8.4.3 - Riparazione o Intervento Locale:** *Può rientrare in questa categoria anche la sostituzione di coperture e solai, a condizione che non comporti una variazione significativa di rigidità nel proprio piano, importante ai fini della ridistribuzione di forze orizzontali, né un aumento dei carichi verticali statici. Interventi di ripristino o rinforzo delle connessioni tra elementi strutturali diversi (ad esempio tra pareti murarie, tra pareti e travi o solai, anche attraverso l'introduzione di catene/tiranti) ricadono in questa categoria, in quanto comunque migliorano anche il comportamento globale della struttura, rispetto alle azioni sismiche. Interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale, attraverso la sua sostituzione o un rafforzamento localizzato (ad esempio l'apertura di un vano in una parete muraria, accompagnata da opportuni rinforzi) possono rientrare in questa categoria solo a condizione che si dimostri che la rigidità dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.*

Inoltre, secondo gli **orientamenti interpretativi della Regione Toscana**, Comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico, D.G.R n.606 del 21/6/2010, il processo di analisi e verifica di interventi locali deve essere articolato secondo le seguenti fasi:

Ai fini del dimensionamento degli elementi e della parete nel suo stato di progetto, deve essere dimostrato e sufficientemente argomentato che:

- La rigidità dell'elemento variato (parete) non cambi significativamente rispetto allo stato preesistente ($\pm 15\%$);
- La resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali. Il taglio ultimo della parete e lo spostamento ultimo dovranno essere superiori ai valori dello stato di fatto.
- Tale intervento non cambia significativamente il comportamento globale della struttura. Il ripristino di rigidità (elemento principale dell'intervento) può avvenire secondo le tecniche previste al punto

C8.5.5 e C8.5.6. Generalmente si opera con l'inserimento di telai metallici rigidi in acciaio o in cemento armato a cerchiatura del vano di progetto oppure con rinforzi sulle porzioni di murature residue laterali. Pertanto le verifiche si effettueranno comparando la parete nello stato ante/post/operam, comprensiva degli interventi di rinforzo. Nel caso si adottino cerchiature metalliche o in cemento armato occorrerà verificare le sezioni e le unioni secondo le sollecitazioni derivanti dall'analisi eseguita secondo le NTC 2008.

Infine, ulteriori Orientamenti Normativi vengono aggiunti dalla **Regione Emilia Romagna – CTS (art. 4, L.R. n. 19/2008 e D.G.R. n. 1430/2009)**, la quale evidenzia i seguenti aspetti:

- Ai fini della formazione e/o modifica di aperture in pareti murarie, si può considerare "singola parte" una parete (nel suo intero sviluppo verticale) e/o un insieme di pareti pressoché complanari (purché efficacemente connesse tra loro), inclusi gli elementi di connessione;
- Il confronto, tra lo stato di fatto e quello di progetto della "singola parte", deve prendere in considerazione il comportamento in campo anelastico, comparando i diagrammi forza –spostamento. La dimostrazione sulla rigidezza può essere condotta confrontando la rigidezza elastica iniziale oppure una "rigidezza equivalente", in termini di "energia di deformazione";
- Infine, si sottolinea la necessità di valutare, in generale e anche in presenza di interventi locali, il comportamento dell'intera parete ("terra-cielo") oggetto di intervento, quantomeno in termini qualitativi, al fine di individuare le porzioni potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, potendo successivamente limitare a queste ultime il progetto e la valutazione della sicurezza.

Verifica dell'intervento

La verifica consiste nel determinare le curve di capacità dell'intera parete, considerata da "terra a cielo", sia nello stato di fatto e nello stato di progetto. Essa viene condotta in modo analogo a quanto previsto per il calcolo globale dell'intero edificio. Determinata la curva di capacità della parete, l'obiettivo è quello di ricavarne la rigidezza elastica, la resistenza ultima e la duttilità disponibile. Il dettaglio delle operazioni di verifica da eseguire verranno esposte nel capitolo che segue e applicate al caso di studio, riportato al capitolo 8. Di seguito di riporta l'esempio di un intervento locale rappresentato dall'inserimento di cerchiature in calcestruzzo armato. La modellazione di pareti in muratura viene eseguita mediante un macroelemento introdotto specificatamente per la simulazione del comportamento nel piano dei pannelli murari⁽¹⁾⁽²⁾.

Tale elemento può essere rappresentato mediante un semplice schema meccanico costituito da un quadrilatero articolato i cui lati sono infinitamente rigidi e i cui vertici, incernierati, sono collegati da molle diagonali. I lati del quadrilatero sono vincolati agli altri elementi da un insieme discreto di molle distribuite lungo il perimetro caratterizzate da un legame non-lineare con i quadrilateri eventualmente adiacenti o altri elementi strutturali.

(1) Calìo I., Marletta, M., Pantò, B., 2012. A new discrete element model for the evaluation of the seismic behaviour of unreinforced masonry buildings, Eng. Struct., 40, 327-338.

(2) Ivo Calìo , Bartolomeo Pantò, 2014. A macro-element modelling approach of Infilled Frame Structures. Computers and Structures 143 (2014) 91–107.

Gli elementi asta vengono modellati mediante elementi finiti a plasticità concentrata: cerniere plastiche tipo 1D (M_x), 2D (M_x, M_y) o 3D (N, M_x, M_y), in cui la formazione delle cerniere plastiche può avvenire lungo tutto l'elemento. I due elementi computazionali interagiscono a taglio e flessione tramite le interfacce non lineari (vedi figg. 1-2).

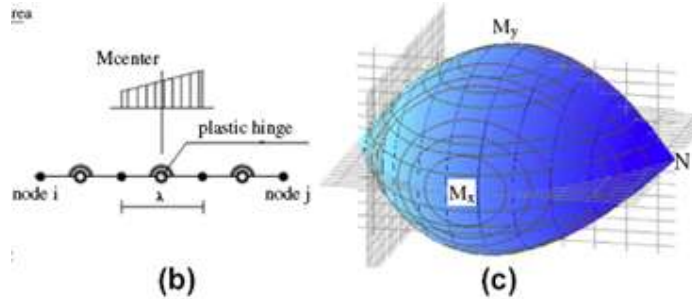


Figura 1: Modello di trave interagente con la muratura;

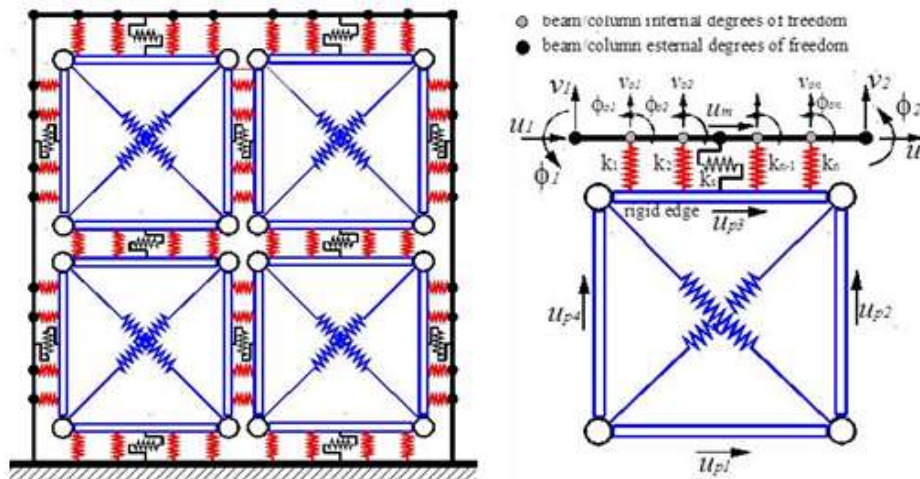


Figura 2: Interazione muratura - elementi;

Il primo passo della procedura di verifica consiste nel svolgere due analisi push-over della parete: una nella situazione dello stato di fatto e una nello stato di progetto. Le curve di capacità del sistema reale vengono quindi approssimate mediante il sistema bilineare equivalente, sul quale vengono determinati i parametri necessari ai fini della verifica:

- K_F, K_P : rigidezza elastica nello stato di fatto e nello stato di progetto;
- F_{UF}, F_{UP} : resistenza ultima nello stato di fatto e nello stato di progetto;
- $U_{r,F}, U_{r,P}$: spostamento ultimo nello stato di fatto e nello stato di progetto.

Occorre verificare che:

- a) La rigidezza nello stato di progetto sia compresa tra l'85% e il 115% della rigidezza nello stato di fatto:

$$0.85 \cdot K_F \leq K_P \leq 1.15 \cdot K_F$$

- b) La resistenza e la capacità di spostamento nello stato di progetto risultino non inferiori dei rispettivi valori nello stato di fatto:

$$F_{U,P} \leq F_{U,F}$$

$$U_{r,P} \leq U_{r,F}$$

3. CASO DI STUDIO: RAFFORZAMENTO LOCALE DI UNA PARETE

Nel presente capitolo si riporta un esempio tratto da un caso reale di intervento locale su una parete, all'interno della quale vengono ampliate due aperture al piano terra. Tale intervento, che potrebbe rappresentare un indebolimento strutturale, viene accompagnato dalla realizzazione di cerchiature sulle aperture e dal rinforzo dei maschi del piano terra. Le analisi sono state eseguite con 3DMacro (manuale teorico disponibile sul sito www.3dmacro.it).

3.1 Risposta della parete nello stato di fatto

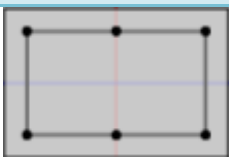
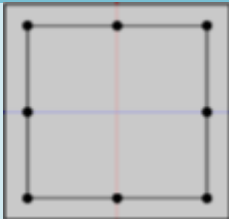
Nel presente paragrafo si riportano tutti i dati necessari per la definizione della domanda sismica (*parametri spettrali di sito, stati limite, categoria di suolo e topografica, periodo di riferimento, etc.*) e il calcolo della capacità (*livello di conoscenza, caratteristiche dei materiali, geometria della parete, armature di elementi in c.a carichi etc.*), al fine di determinare la risposta non lineare e il livello di vulnerabilità sismica.

DATI GENERALI DELL'OPERA	
Livello di conoscenza	: LC1
Sito di costruzione	: Regione Abruzzo; Comune dell'Aquila (42° 21' 59" N 13° 22' 00" N)
PGA (10% in 50 anni)	: 0.261 g
Tipo di costruzione	: ordinaria
Classe d'uso	: II
vita nominale	: 50 anni
Coefficiente d'uso	: 1,00
Categoria di suolo	: C
Condizione topografica	: T1

STATI LIMITE										
SL	PV _R	T _R	PGA _{DLV}	F ₀	T*	η	S	T _B	T _C	T _D
	[%]	[anni]	[ag/g]					[s]	[s]	[s]
SLV	10	475	0.261	236	0.35	1	1.6	0.173	0.52	2.64

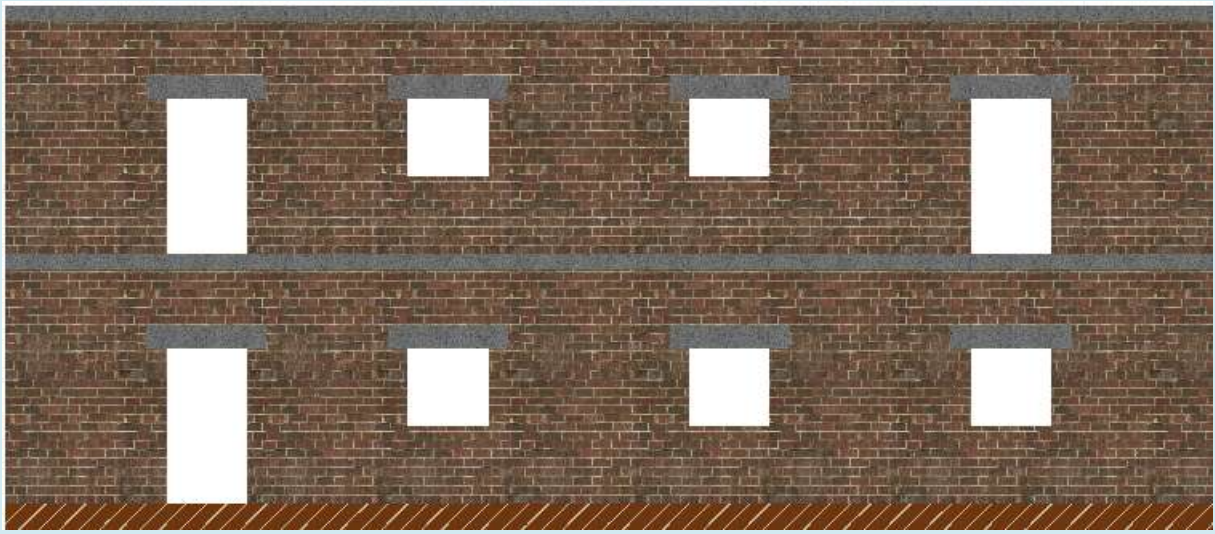
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA						
Muratura di mattoni pieni e malte di calce				Peso specifico w=18 kN/m ³		
Valori di Base				LC1→FC	Valori di Calcolo	
E – Modulo di Elasticità Normale	1500	Mpa	-	1500	Mpa	
G – Modulo di Elasticità Tangenziale	500	Mpa	-	500	Mpa	
f _m – Resistenza a Compressione	240	N/cm ²	1.35	177.8	N/cm ²	
τ ₀ – Resistenza a Taglio	6	N/cm ²	1.35	4.4	N/cm ²	

CARATTERISTICHE MECCANICHE CORDOLI ED ARCHITRAVI IN C.A.		
CALCESTRUZZO LC1 →FC=1.35 - $\gamma_c=1.50$		U.M
R _{Cmed} – Resistenza media a compressione	20	Mpa
E – Modulo di Elasticità Normale	25613	Mpa
ν - Coefficienti di Poisson	0.20	-
f _{cm} – Resistenza a Compressione di calcolo	10.45	Mpa
f _{ct} – Resistenza a trazione di calcolo	1.01	Mpa
ϵ_{c0} – Deformazione Calcestruzzo	0.20	%
ϵ_{cu} – Deformazione ultima Calcestruzzo	0.35	%
w- Peso specifico	25	kN/m ³
ACCIAIO LC1 →FC=1.35- $\gamma_s=1.15$		
Tipo di Acciaio	FeB38K	-
E – Modulo di Elasticità Normale	210000	Mpa
ν - Coefficienti di Poisson	0.30	-
f _{ym} – Resistenza di snervamento a trazione	278	Mpa
ϵ_{cu} – Deformazione ultima acciaio	1.00	%
w- Peso specifico	78.5	kN/m ³

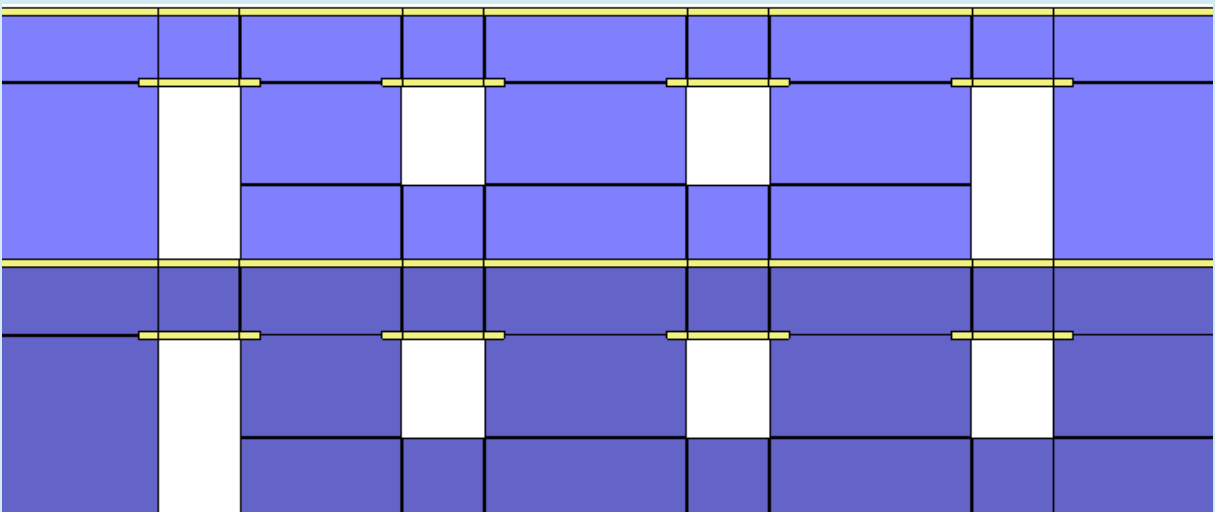
CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI IN C.A.			
Elemento - sezione		Armatura Longitudinale	Armatura Trasversale
Cordolo di Solaio 30x20 cm		3+3 Φ 14	Φ 8/15 cm
Architrave apertura 30x30 cm		3+3 Φ 14 1+1 Φ 14 di parete	Φ 8/15 cm

CARICHI AGENTI SULLA PARETI				
Tipo Solaio	Peso Proprio [kN/m]	Permanente portato [kN/m]	Variabile [kN/m]	
Civile abitazione	14.00	10.00	Cat.A	10.00
Copertura	14.00	7.50	Cat.H	2.50
			Neve	9.00

MODELLO SOLIDO PARETE



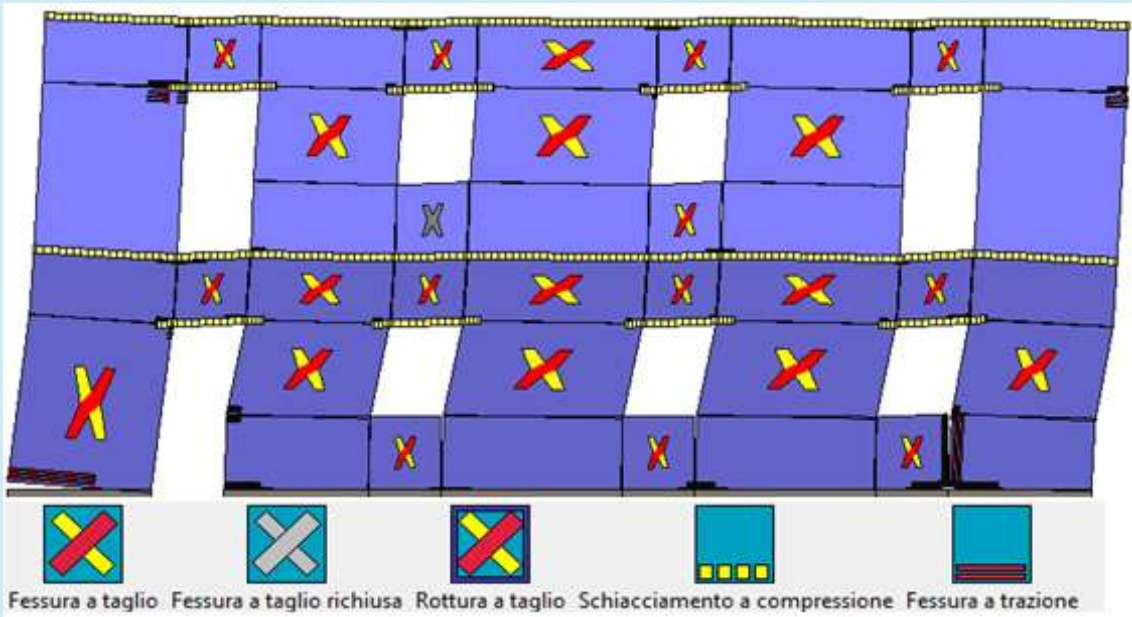
MODELLO COMPUTAZIONALE



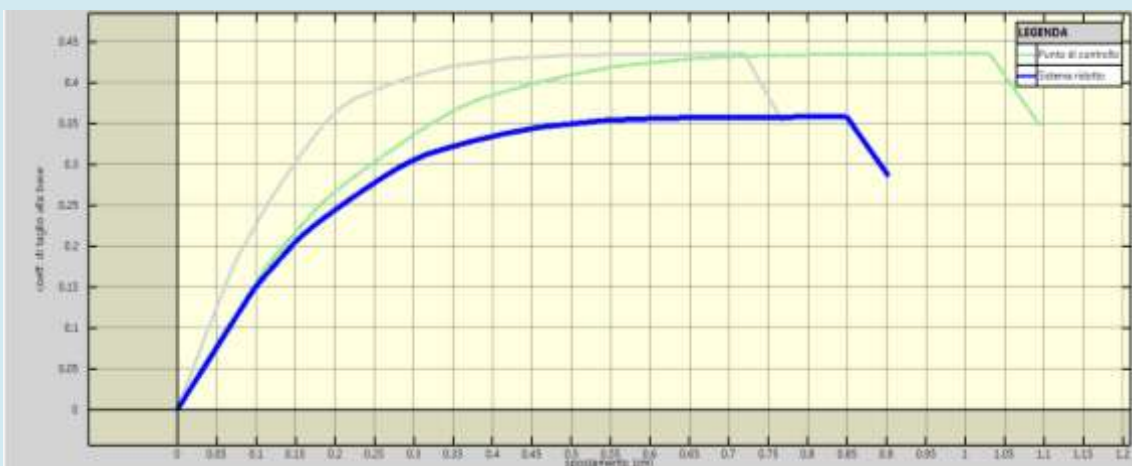
PUSHOVER DIR X MASSA – CURVA DI CAPACITA M GDL



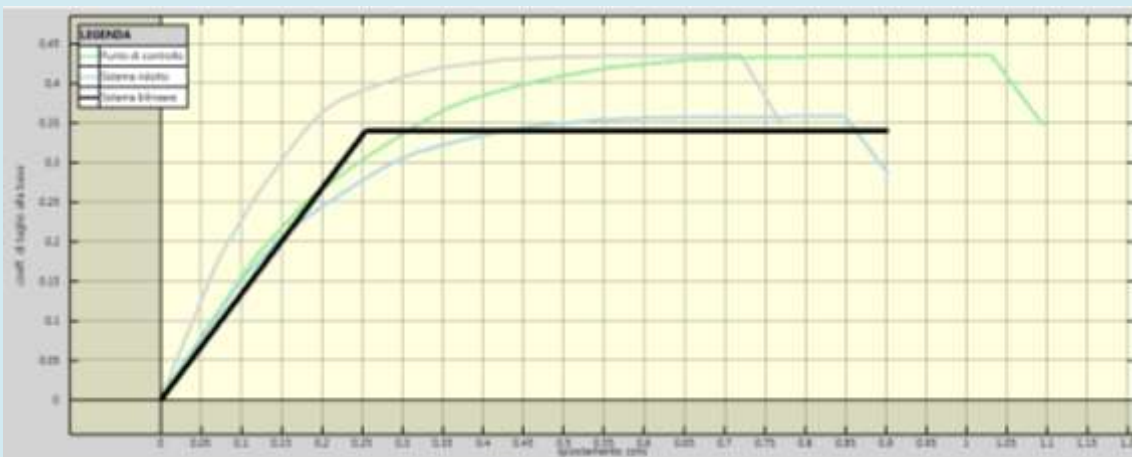
MECCANISMO DI DANNO – CAPACITA SLV



CURVA DI CAPACITA – SISTEMA 1 GDL



CURVA DI CAPACITA – SISTEMA BILINEARE EQUIVALENTE



Le tabelle che seguono riportano i dettagli della stima di vulnerabilità eseguita mediante il metodo N2 riportato nelle NTC 08:

COEFFICIENTE DI PARTECIPAZIONE MODALE				
Quota - m	Massa - kN	Spostamento	Massa Efficace	Fattore
1 – 3.20	680	0.535	954	1.215
2 – 6.40	590	1.00		

RISULTATI CURVA DI CAPACITA'			
Taglio massimo alla base Vb[kN]	Peso sismico W[kN]	Coefficiente di Taglio Cb	Spostamento max Umax[cm]
543	1246	0.436	1.10

RISULTATI SISTEMA BILINEARE EQUIVALENTE						
Massa Efficace Me[kN]	Rigidezza Ke[kN/m]	Periodo T*[s]	Uy [cm]	Uu [cm]	Cb-ultimo [-]	Duttilità disponibile
954	166466	0.15	0.25	0.90	0.340	3.55

RISULTATI STIMA DI VULNERABILITA'						
Stato Limite	CAPACITA SIMICA		DOMANDA SISMICA		FATTORE DI SICUREZZA	
	T*[s]	Cmax [cm]	d _e max* [cm]	Fattore q*	Dmax [cm]	Cmax / Dmax [-]
SLV	0.15<Tc=0.52 (sistema rigido)	0.903	0.425	1.672	0.845	1.07

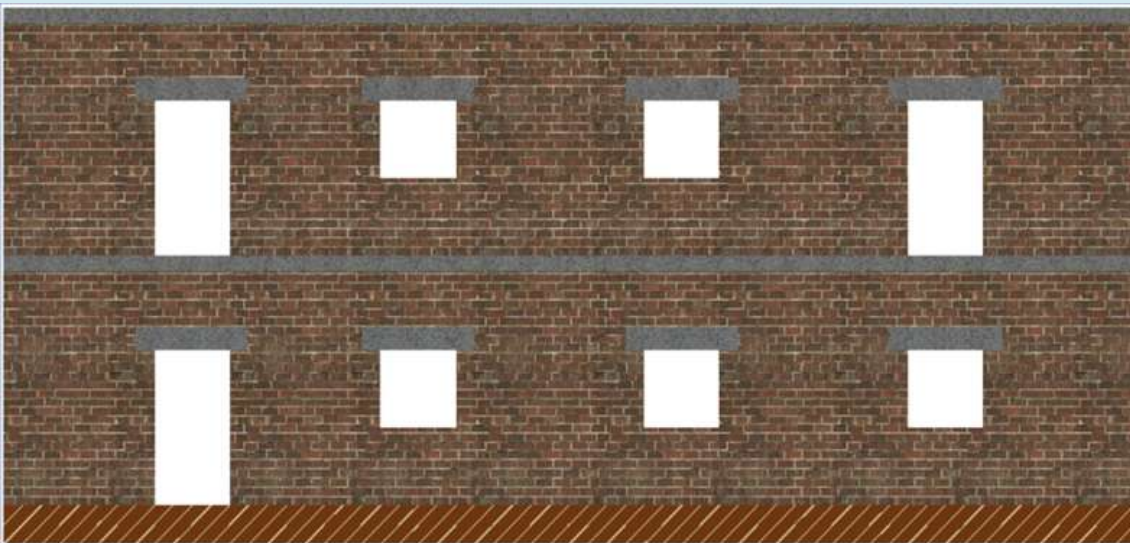
RIEPILOGO PARAMETRI DI ANALISI				
RISULTATI STATO DI FATTO				
RIGIDEZZA PARETE [KN/m]	RESISTENZA MAX [KN]	CAPACITA DI SPOSTAMENTO [cm]	PGA _{CLV} [g]	IR,min
166436	543	0.903	0.271	1.040
Qualsiasi intervento sulla parete in oggetto deve rispettare i seguenti requisiti, affinché l'intervento possa essere considerato "intervento locale" e non di miglioramento sismico:				
REQUISITI RICHIESTI ALLO STATO DI PROGETTO				
141470KN/m <RIGIDEZZA SP <191415 KN/m			RESISTENZA SP> 543 KN	
CAPACITA DI SPOSTAMENTO SP>0.903 cm			PGA _{CLV} - SP>0.271g	

3.2 Risposta della parete nello stato post intervento

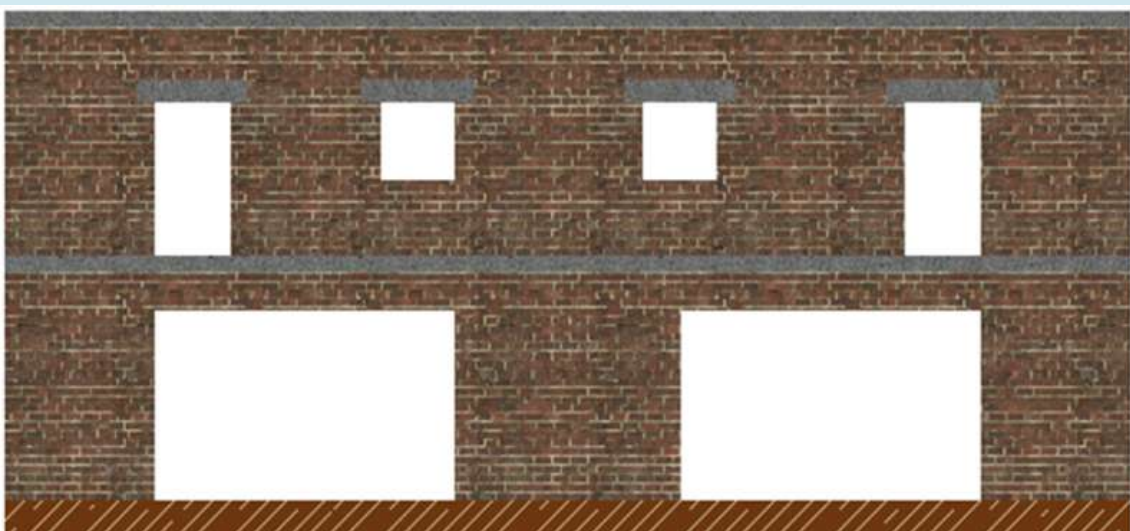
L'intervento consiste nella esecuzione di due porte garage al piano terra di dimensioni 400x250 cm. Si prevede in particolare:

- La demolizione di parte di muratura in alcune zone e di ricostruzione della stessa in altre (figura 3a);
- L'inserimento di due telai cerchianti e il consolidamento della muratura restante al piano terra, con intonaco armato, posto su entrambi i lati. Per la scelta dei telai cerchianti si è fatto uso di elementi in c.a. (vedi fig.3b).

STATO ATTUALE



INTERVENTO DA REALIZZARE (STATO DI PROGETTO) – (a)



CERCHIATURA DELLE APERTURE E INTONACO ARMATO (STATO DI PROGETTO) – (b)

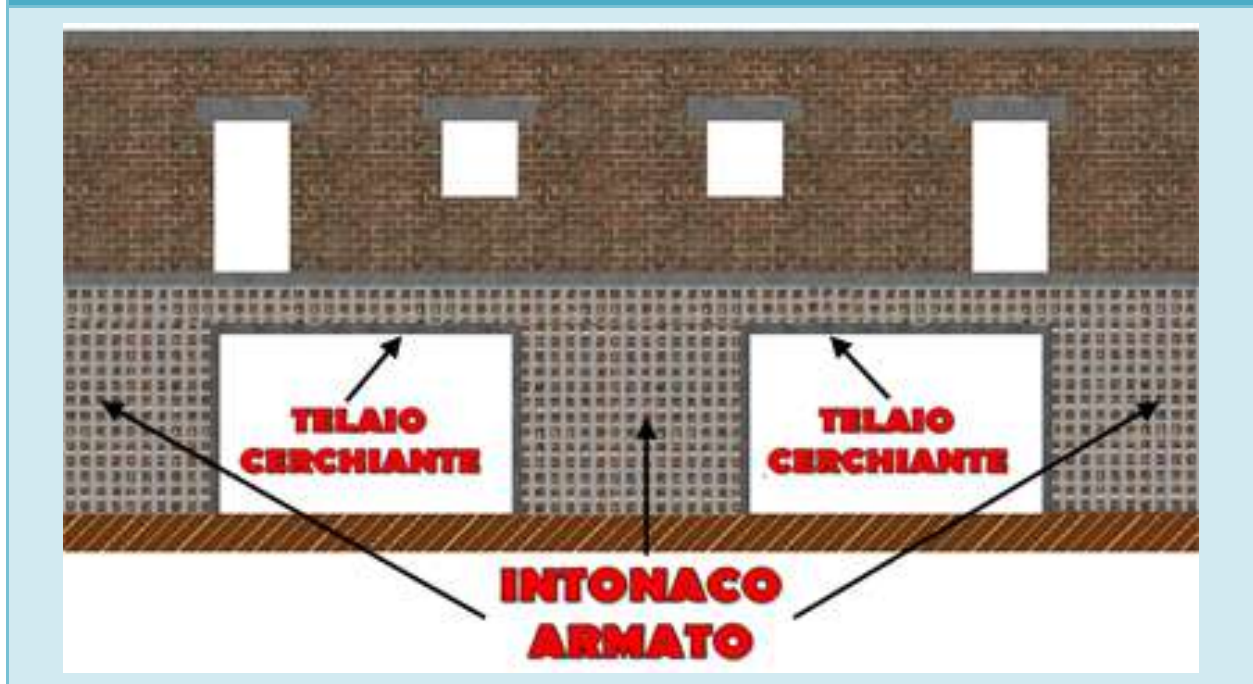


Figura 3: Modello geometrico a seguito delle aperture (a) e con gli interventi di rinforzo (b).

Al fine di evidenziare l'influenza, sul comportamento della parete, dell'intervento di allargamento delle aperture, le prime analisi vengono condotte in assenza di rinforzi e cerchiature. Di seguito in figura 4 si riporta la deformata a collasso e i dettagli della verifica sismica.

QUADRO DI DANNO – CAPACITA SLV

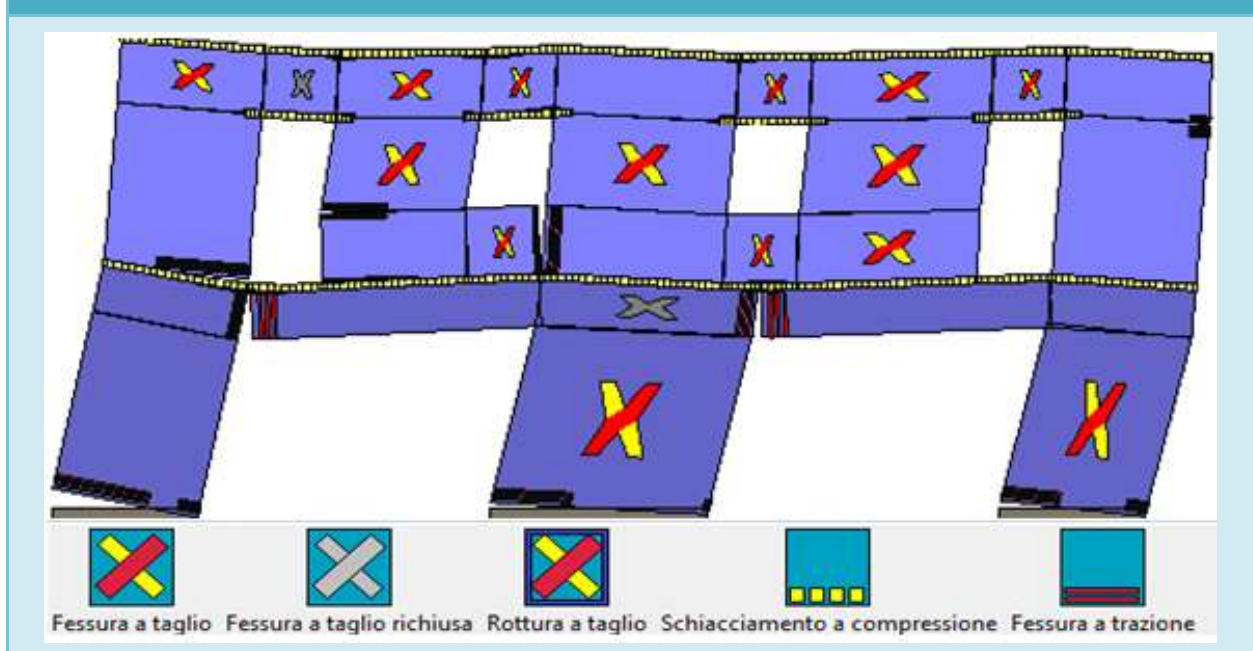


Figura 4: Deformata a collasso a seguito dell'allargamento delle aperture del piano terra.

RISULTATI CURVA DI CAPACITA'			
Taglio massimo alla base	Peso sismico	Coefficiente di	Spostamento max
Vb[kN]	W[kN]	Taglio Cb	Umax[cm]
439	1157	0.379	1.96

RISULTATI SISTEMA BILINEARE EQUIVALENTE						
Massa Efficace	Rigidezza	Periodo	Uy	Uu	Cb-ultimo	Duttilità
Me[kN]	Ke[kN/m]	T*[s]	[cm]	[cm]	[-]	disponibile
885	82140	0.21	0.42	1.64	0.296	3.92

RISULTATI STIMA DI VULNERABILITA'						
Stato Limite	CAPACITA SIMICA		DOMANDA SISMICA		FATTORE DI SICUREZZA	
	T*[s]	Cmax [cm]	d _e max* [cm]	Fattore q*	Dmax [cm]	Cmax / Dmax [-]
SLV	0.21 < T _c = 0.52 (sistema rigido)	1.64	0.865	2.072	1.54	1.06

RIEPILOGO PARAMETRI DI ANALISI				
RISULTATI STATO DI FATTO				
RIGIDEZZA PARETE [KN/m]	RESISTENZA MAX [KN]	CAPACITA DI SPOSTAMENTO [cm]	PGA _{CLV} [g]	IR,min
166436	543	0.903	0.271	1.040
RISULTATI STATO DI PROGETTO SENZA INTERVENTI DI RINFORZO				
RIGIDEZZA PARETE [KN/m]	RESISTENZA MAX [KN]	CAPACITA DI SPOSTAMENTO [cm]	PGA _{CLV} [g]	IR,min
82140	439	1.64	0.271	1.042
VARIAZIONI				
-50.6 %	-19.2%	+55.00	0	0

Come si evince dai risultati sopra riportati, la realizzazione delle due grandi aperture del piano terra, senza il rinforzo della muratura restante, nè il confinamento delle aperture stesse, mediante cerchiature, comporta una variazione in termini di rigidezza e resistenza (rigidezza -50.6% ; resistenza -19.2%) nettamente superiore ai limiti ammessi, per poter considerare l'intervento come locale. L'unico parametro che rispetta i limiti è la duttilità disponibile, dato che la capacità di spostamento della parete, nella condizione modificata, risulta maggiore della capacità di spostamento originaria. In definitiva, se l'intervento si fosse limitato al solo allargamento delle aperture, avremmo dovuto procedere alla verifica globale dell'intero edificio, non potendo rispettare i limiti ammessi, affinché l'intervento possa essere definito come "locale".

3.2.1. I° IPOTESI DI RINFORZO: INSERIMENTO DI CERCHIATURE IN C.A. E RINFORZO DEI MASCHI MURARI AL PIANO TERRA

Nel presente paragrafo viene analizzata la parete a seguito dell'inserimento di cerchiature in c.a. e il rinforzo dei maschi murari al piano terra, al fine di recuperare la rigidezza e la resistenza perse a seguito della variazione della geometria della parete.

I telai cerchiati in c.a. hanno le seguenti caratteristiche meccaniche e geometriche:

- Sezioni 30x25 sia per i piedritti che per l'architrave;
- Materiali da c.a. costituiti da calcestruzzo di classe C20/25 e acciaio tipo B450C.
- Armature delle sezioni costituite da 4+4 Φ 14 per i ferri longitudinali e 1+1 Φ 14 per i ferri di parete, e staffe trasversali Φ 8/10 cm.

Il rinforzo dei maschi murari al piano terra è realizzato con intonaco armato su ambo le facce. Con tale intervento le caratteristiche meccaniche della muratura, sia in termini di resistenza che di deformabilità, vengono amplificate di un fattore pari a 1.50. Si riportano in figura 5 e tabelle successive, la deformata a collasso e i dettagli della verifica sismica.

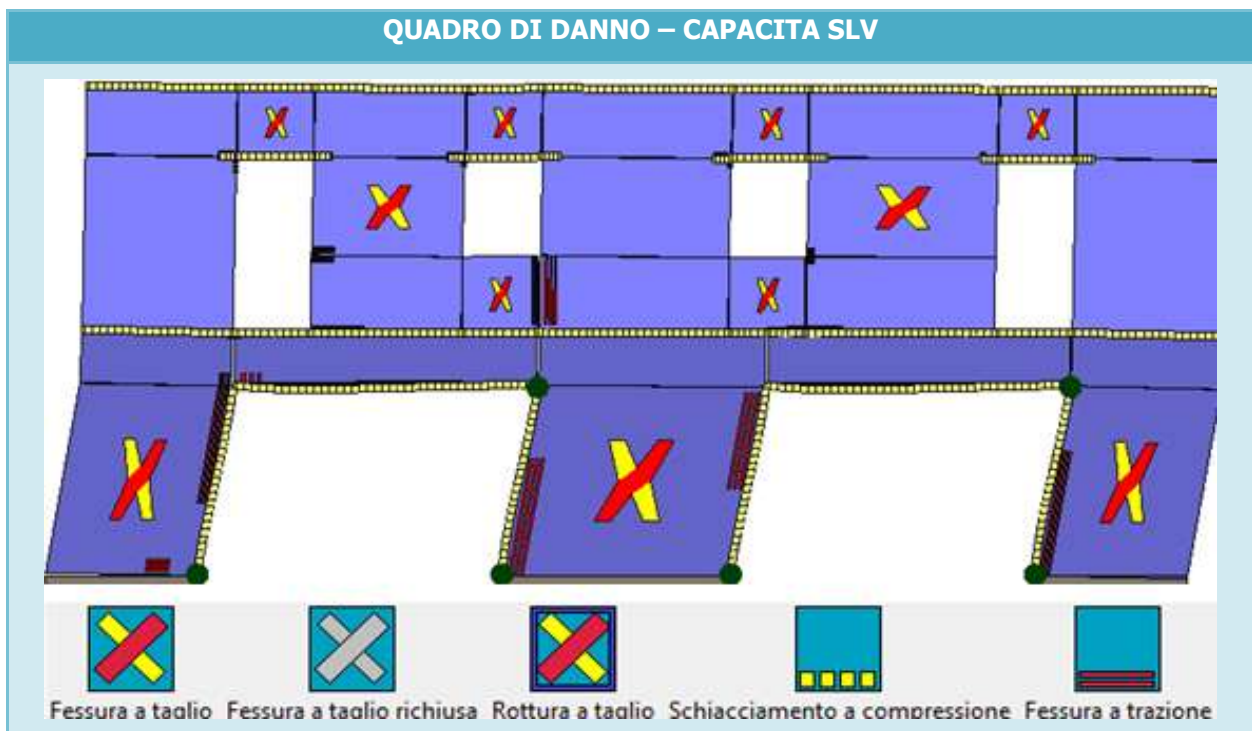


Figura 5: Deformata a collasso a seguito dell'inserimento delle cerchiature dei vani del piano terra.

RISULTATI CURVA DI CAPACITA'			
Taglio massimo alla base Vb[kN]	Peso sismico W[kN]	Coefficiente di Taglio Cb	Spostamento max Umax[cm]
581	1182	0.492	1.16

RISULTATI SISTEMA BILINEARE EQUIVALENTE						
Massa Efficace	Rigidezza	Periodo	Uy	Uu	Cb-ultimo	Duttilità
Me[kN]	Ke[kN/m]	T*[s]	[cm]	[cm]	[-]	disponibile
911	175950	0.14	0.25	0.96	0.378	3.79

RISULTATI STIMA DI VULNERABILITA'						
Stato	CAPACITA SIMICA		DOMANDA SISMICA		FATTORE	
Limite	T*[s]	Cmax	d _e max*	Fattore	Dmax	Cmax / Dmax
		[cm]	[cm]	q*	[cm]	[-]
SLV	0.14<Tc=0.52 (sistema rigido)	0.962	0.374	1.471	0.689	1.40

RIEPILOGO PARAMETRI DI ANALISI				
RISULTATI STATO DI FATTO				
RIGIDEZZA	RESISTENZA MAX	CAPACITA DI	PGA _{CLV}	IR,min
PARETE[KN/m]	[KN]	SPOSTAMENTO [cm]	[g]	
166436	543	0.903	0.271	1.040
RISULTATI STATO DI PROGETTO CON INTERVENTI DI RINFORZO LOCALI				
RIGIDEZZA	RESISTENZA MAX	CAPACITA DI	PGA _{CLV}	IR,min
PARETE[KN/m]	[KN]	SPOSTAMENTO [cm]	[g]	
175950	581	0.962	0.313	1.201
VARIAZIONI				
+5.40 %	+6.54%	+6.13	>	>

Come si può osservare, l'intervento realizzato mediante cerchiature in c.a, abbinato al rafforzamento dei muri del piano terra con intonaco armato, soddisfa tutte le prescrizioni delle NTC 2008 e delle Linee guida Regionali, **pertanto, l'intervento così concepito può essere considerato rafforzamento locale e non modifica in modo significativo il comportamento globale dell'edificio sotto azioni sismiche.**

3.2.2. II° IPOTESI DI FINFORZO: INSERIMENTO DI CERCHIATURE IN ACCIAIO E RINFORZO DEI MASCHI MURARI AL PIANO TERRA

In questa seconda ipotesi di rinforzo, viene previsto:

- l'inserimento di due telai cerchianti in acciaio aventi le seguenti caratteristiche meccaniche e geometriche: Sezioni in acciaio tipo HEA 140 accoppiati del tipo S275.
- il rinforzo dei maschi murari al piano terra con intonaco armato su ambo le facce. Con tale intervento le caratteristiche meccaniche della muratura sia di resistenza che deformabilità vengono amplificate di un fattore 1.5.

Di seguito in figura 6, si riporta la deformata a collasso e i dettagli della verifica sismica.

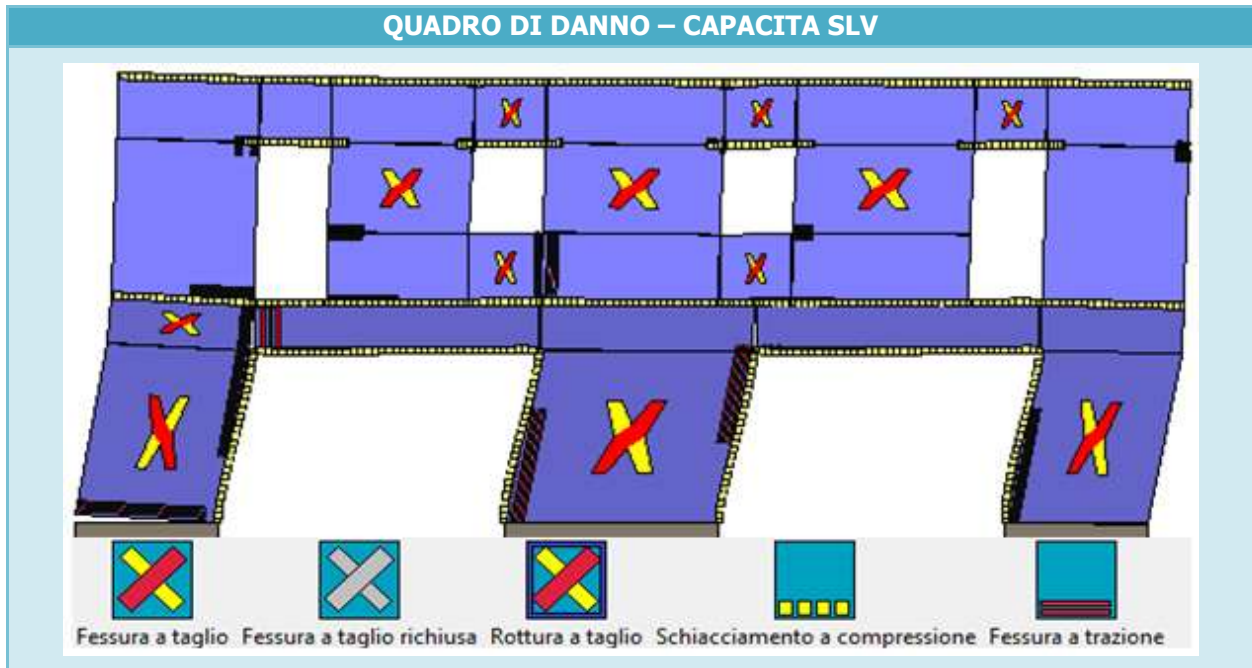


Figura 6: Deformata a collasso a seguito dell'inserimento delle cerchiature dei vani del piano terra.

RISULTATI CURVA DI CAPACITA'			
Taglio massimo alla base	Peso sismico	Coefficiente di	Spostamento max
Vb[kN]	W[kN]	Taglio Cb	Umax[cm]
583	1164	0.501	1.28

RISULTATI SISTEMA BILINEARE EQUIVALENTE						
Massa Efficace	Rigidezza	Periodo	Uy	Uu	Cb-ultimo	Duttilità
Me[kN]	Ke[kN/m]	T*[s]	[cm]	[cm]	[-]	disponibile
892	159288	0.15	0.27	1.07	0.367	3.96

RISULTATI STIMA DI VULNERABILITA'						
Stato	CAPACITA SISMICA		DOMANDA SISMICA		FATTORE Fs	
Limite	T*[s]	Cmax [cm]	d _e max* [cm]	Fattore q*	Dmax [cm]	Cmax / Dmax [-]
SLV	0.15 < T _c = 0.52 (sistema rigido)	1.06	0.41	1.471	0.77	1.37

RIEPILOGO PARAMETRI DI ANALISI				
RISULTATI STATO DI FATTO				
RIGIDEZZA PARETE [KN/m]	RESISTENZA MAX [KN]	CAPACITA DI SPOSTAMENTO [cm]	PGA _{CLV} [g]	IR,min
166436	543	0.903	0.271	1.040
RISULTATI STATO DI PROGETTO CON INTERVENTI DI RINFORZO LOCALI				
RIGIDEZZA PARETE [KN/m]	RESISTENZA MAX [KN]	CAPACITA DI SPOSTAMENTO [cm]	PGA _{CLV} [g]	IR,min
159288	582	1.060	0.313	1.200
VARIAZIONI				
-4.29 %	+6.86%	+14.8	>	>

Come si può osservare, l'intervento della cerchiatura in acciaio, abbinato al rafforzamento dei muri del piano terra con intonaco armato, soddisfa tutte le prescrizioni delle NTC2008 e delle Linee guida Regionali, **pertanto, questa ipotesi di intervento può essere considerata un "rafforzamento locale" e non modifica significativamente il comportamento globale dell'edificio sotto azioni sismiche.**

4. CONCLUSIONI

Nel presente studio sono state affrontate le problematiche connesse alla verifica di un intervento strutturale di consolidamento locale, caratterizzato dall'inserimento di cerchiature di vani mediante telai in c.a. In particolare nel caso di studio proposto, la necessità delle cerchiature è emersa al fine di poter realizzare un allargamento delle aperture del piano terra per esigenze architettoniche. L'inserimento delle cerchiature permette di inquadrare l'intervento complessivo sulla parete come intervento locale, potendo per tanto trascurare la modellazione globale dell'edificio. L'aspetto più significativo emerso nelle sezioni precedenti riguarda la necessità di una modellazione non lineare dell'intera parete oggetto di interventi: una modellazione ristretta a un solo piano, vista indipendentemente dagli altri, trascurando le reali condizioni di vincolo tra i maschi murari dei vari livelli, risulta non appropriata e non consente di verificare con sufficiente approssimazione se l'intervento proposto non modifichi il comportamento globale dell'edificio nel suo complesso.

La normativa nazionale ed altre linee guida regionali dettano le condizioni per cui sia possibile definire un intervento come locale, accertando che siano verificate, per lo stato attuale e di progetto, le seguenti condizioni:

- **0.85 Rigidezza $S_{ATTUALE} \leq$ Rigidezza $S_{PROGETTO} \leq 1.15$ Rigidezza $S_{ATTUALE}$**
- **Resistenza $S_{PROGETTO} \geq$ Resistenza $S_{ATTUALE}$;**
- **Capacità di spostamento $SLV_{S-PROGETTO} \geq$ Capacità di spostamento $SLV_{S-ATTUALE}$**

Al fine di garantire i suddetti requisiti sarà indispensabile utilizzare un appropriato modello non lineare, che tuttavia può essere mantenuto piano. Nel presente studio in particolare è stato utilizzato il modulo *strutture miste* di 3DMacro che permette di simulare l'interazione diffusa e non lineare tra i pannelli murari e telai, o cerchiature, collaboranti.

BIBLIOGRAFIA

- 3DMacro 2012. "3D software di calcolo per la vulnerabilità sismica degli edifici in muratura". Gruppo Sismica s.r.l., Catania, Italia. Release 3.0, Novembre 2012. Manuale Teorico", versione 1.11103101, disponibile sul sito www.3DMacro.it.
- I. Calìo, F. Cannizzaro, D. Grasso, M. Marletta, B. Pantò, D. Rapicavoli 2006 "Simulazioni del comportamento sismico del modello su base fissa del progetto TREMA" - Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (RELUIS) Progetto esecutivo 2005 – 2008 Progetto di ricerca N.1 "Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura"
- Calìo I., Cannizzaro F., Pantò B., Oliveto F., 2015 La valutazione dei cedimenti in fondazione negli edifici in muratura mediante analisi statiche non lineari condotte in ambiente 3DMacro. Atti del XV Convegno ANIDIS.
- Calìo I., Marletta, M., Pantò, B., 2012. A new discrete element model for the evaluation of the seismic behaviour of unreinforced masonry buildings, Eng. Struct., 40, 327-338.
- Ivo Calìo , Bartolomeo Pantò, 2014. A macro-element modelling approach of Infilled Frame Structures. Computers and Structures 143 (2014) 91–107.
- Calìo I., Cannizzaro F., D'Amore E., Marletta M., Pantò B., 2008. "A new discrete-element approach for the assessment of the seismic resistance of composite reinforced concrete-masonry buildings". AIP (American Institute of Physics) Conference Proceedings Volume 1020, Issue PART 1, Pages 832-839, DOI: 10.1063/1.2963920.
- Calìo I., Cannizzaro F., Pantò B., 2012. "A macro-element approach for modeling the nonlinear behaviour of monumental buildings under static and seismic loadings". 15th World Conference on Earthquake Engineering 24–28 September.
- Marques R., Lourenco P.B., 2011. Possibilities and comparison of structural component models for the seismic assessment of modern unreinforced masonry buildings. Computer and Structures, 89, 2079–2091.
- Marques R., Lourenco P.B., 2012. Pushover seismic analysis of quasi-static tested confined masonry buildings through simplified model, Proc. of the 15th International Brick and Block Masonry Conference, Florianopolis
- Francesco Pugi, 2010. Aperture e Cerchiature in Murature portanti con telai in acciaio e in calcestruzzo armato – Teoria ed Esempi applicativi, Analisi conforme alla nuova Normativa. Alinea Editrice srl – Firenze.
- Claudio Ciavattini, 2010. Apertura Vani in Pareti Portanti in Zona Sismica – Progetto degli interventi di Rinforzo e Consolidamento. Quarta Edizione (aggiornata alla Circolare 2 Febbraio 2009 n.617), Editore Grafill Palermo.

Autore: Ing. Francesco Oliveto

Francesco Oliveto svolge attività di libero professionista nell'ambito dell'ingegneria strutturale ed in particolare nell'ambito delle verifiche sismiche e geotecniche di edifici, curando innumerevoli progetti e direzione dei lavori sia di opere pubbliche che private. Consegue la laurea in Ingegneria Civile indirizzo Geotecnica nel 2001 presso l'Università degli Studi della Calabria discutendo la tesi di laurea dal titolo " Instabilità per crollo nel Lagonegrese : Teoria ed Applicazione di un modello bidimensionale e tridimensionale a tre casi di studio", svolta presso il CNR IRPI CALABRIA. Negli anni successivi alla laurea ha approfondito la conoscenza dell'analisi strutturale FEM-DEM in campo statico e dinamico, lineare e non lineare, per lo studio di complesse problematiche strutturali quali interazione terreno-struttura, incendi, esplosioni, collasso progressivo. E' rimasto sempre vicino al mondo accademico e della ricerca applicata, instaurando molteplici collaborazioni con diversi gruppi di ricerca. E' autore di pubblicazioni scientifiche su atti di importanti convegni a carattere nazionale. Ha seguito numerosi interventi di consolidamento nelle aree colpite dai più recenti eventi sismici (San Giuliano di Puglia 2002, L'Aquila 2009) mediante l'uso di tecnologie avanzate quali controventi dissipativi isteretici ad instabilità impedita e dispositivi di isolamento sismico. Dal 2010 collabora attivamente con Gruppo Sismica srl e con il gruppo di ricerca dell'Università di Catania coordinato dal prof. Ivo Calìo, nell'ambito dello sviluppo di metodi innovativi per lo studio e verifica sismica degli edifici esistenti in muratura, ordinari e a carattere monumentale.