

Il comportamento sismico degli edifici in muratura e il caso di studio di un condominio rinforzato con il cappotto antisismico Resisto 5.9 Tube

Il patrimonio edilizio italiano, in particolar modo residenziale, è caratterizzato da una notevole vetustà e dalla presenza di un numero elevato di edifici in muratura portante. Di questi, secondo i dati dell'ultimo censimento dell'ISTAT (2011), sono circa 170.000 quelli ritenuti in pessimo stato.

Più che in altre tipologie edilizie, la **vulnerabilità sismica** degli edifici esistenti in muratura portante è particolarmente sensibile al periodo di costruzione, allo stato di conservazione del bene, alle qualità dei materiali utilizzati, alle tecniche costruttive e alla cura dei dettagli costruttivi. Questo a causa della intrinseca disomogeneità ed anisotropicità del tessuto murario che manifesta elevati valori di resistenza a compressione ma scarse o trascurabili resistenze a trazione.

L'elemento portante per eccellenza, in tali edifici, è il **maschio murario**, caratterizzato da resistenze e rigidità nel piano di gran lunga maggiori rispetto a quelle fuori piano. Per questo, è fondamentale che l'edificio, al fine di resistere adeguatamente all'azione del sisma, sia concepito in modo tale che:

- 1) le pareti non si sviluppino unicamente in una direzione sola, ma siano distribuite in modo armonioso ed equilibrato in pianta;
- 2) le pareti portanti abbiano sufficiente lunghezza e spessore da garantire resistenze adeguate;
- 3) le pareti stesse siano efficacemente ammortate tra loro e ben collegate agli orizzontamenti, in modo da garantire un comportamento scatolare dell'edificio;
- 4) le forze spingenti (archi, volte, travi inclinate) siano contrastate da incatenamenti o contrafforti.

Nella valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, è possibile definire tre **tipi di meccanismi di danno**:

- 1) **Meccanismo "0"**. Tale meccanismo si ha quando la qualità muraria è così scadente, che l'effetto dell'azione sismica è quello di disgregare letteralmente la compagine muraria. La malta (se presente) non è capace di legare tra loro i vari blocchi e il tutto si disfa come in un castello di carte.
Questo è il caso tipico di edifici vetusti, spesso mal conservati, e costruiti a secco o con malta di scarsissima qualità.
- 2) **Meccanismi locali** (o di primo modo) definiti dalla crisi delle pareti fuori dal loro piano (innesco di un cinematismo). Vi è una carenza di collegamenti tra le pareti ortogonali e con gli orizzontamenti. La qualità muraria è sì scadente, ma sufficiente per non causare una disgregazione del materiale come descritta al punto precedente. Quello che avviene, in seguito ad un terremoto, è il distacco di porzioni discrete che si comportano come "blocchi rigidi".
- 3) **Meccanismi globali** (o di secondo modo). Si hanno quando la muratura è di buona qualità e i collegamenti sono efficaci. Le pareti svolgono il loro ruolo di controvento di parete, offrendo la

PROGETTO SISMA SRL

SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it

loro resistenza nel piano, nei confronti dell'azione sismica. Si ottengono dei livelli di forze (taglio alla base) molto superiori rispetto ai casi precedenti.

L'ultimo tipo di meccanismo, ovviamente, è quello preferibile.

Metodologie di intervento

Quando la compagine muraria è di qualità così scarsa che si ha un concreto rischio di attivazione del cosiddetto meccanismo "0", il primo intervento deve essere volto a migliorarne le caratteristiche, così da evitare una disgregazione della muratura e permettere ai successivi meccanismi di attivarsi, attingendo così a risorse di resistenza e capacità deformativa più elevate.

Gli **interventi possibili** sono: la ristilatura (armata o meno) dei giunti, interventi di scuci-cuci, l'inserimento di diatoni e il ricorso alle cuciture armate. Inoltre, si possono confinare le pareti murarie, agendo da entrambi i lati ed utilizzando efficaci connessioni trasversali.

Tuttavia, se la muratura è così scadente da far risultare antieconomici gli interventi sopracitati su larga scala, si deve valutare un'eventuale demolizione e ricostruzione.

Gli interventi volti a prevenire i meccanismi locali sono anche quelli più diffusi e di facile intuizione. L'esempio più classico è rappresentato dall'inserimento di **catene in acciaio** che prevengono l'innescò del meccanismo di ribaltamento di una porzione di parete. Tale presidio antisismico può essere realizzato in molteplici modi: incatenamenti in acciaio, fasciature in FRCM o FRP, placcature più o meno diffuse e in vari materiali.

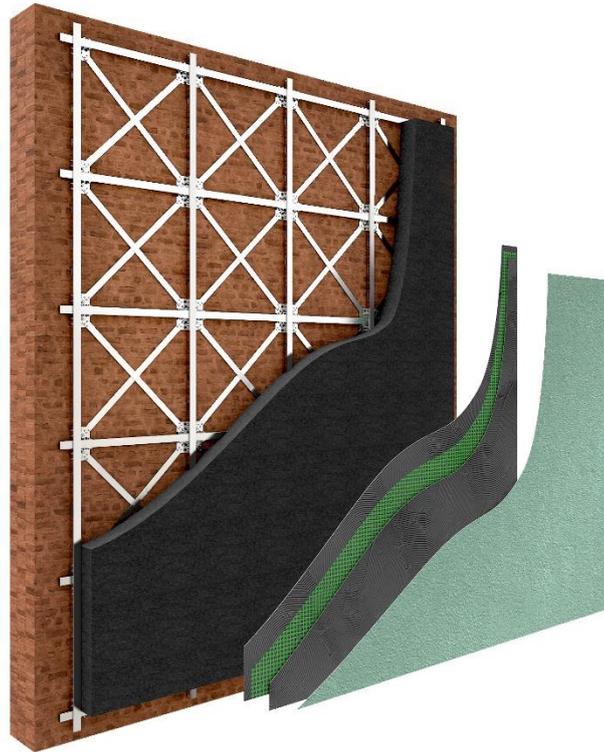
Una volta che si è scongiurata l'attivazione sia dei meccanismi locali che del meccanismo "0", è possibile ragionare sulle **performance** sismiche della struttura **a livello globale**. È importante far notare che numerose tecnologie di miglioramento/adequamento sismico possono essere utilizzate sia come intervento locale che globale. I sistemi concepiti da **Progetto Sisma**, come il cappotto antisismico **Resisto 5.9 Tube**, si inseriscono proprio in questo solco.

Quest'ultimo sistema **non influisce sulle caratteristiche dinamiche della struttura** di partenza a differenza di altri sistemi più massivi e intrusivi. Le sue peculiarità sono soprattutto l'aumento della **capacità deformativa** e la **resistenza a taglio** nel piano degli elementi in muratura.

Inoltre, come affermato in precedenza, Resisto 5.9 funge anche da presidio contro i **cinematismi locali**.

PROGETTO SISMA SRL

SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it



Rendering del sistema Resisto 5.9 Tube (crediti: Progetto Sisma)

Il cappotto antisismico Resisto 5.9 Tube

Resisto 5.9 Tube è la terza generazione del cappotto antisismico Resisto 5.9, un'innovativa soluzione tecnologica costituita da un **telaio antisismico in acciaio** che integra al suo interno un **sistema di efficientamento energetico**.

Il sistema di rinforzo è costituito da elementi strutturali in acciaio ancorati a secco sulla parete: profili orizzontali, verticali e diagonali di controvento, che vengono collegati tra loro con l'ausilio di piastre di collaborazione. La connessione alla muratura viene eseguita tramite **ancoraggi di tipo chimico**, mediante l'iniezione di una resina certificata e il successivo inserimento di barre filettate in acciaio di classe 8.8.

Determinante è la presenza di fori e intagli a passo fisso sui profili metallici, progettati per rendere il sistema modulare e adattare così l'intervento alle diverse configurazioni delle pareti da rinforzare.

Per la coibentazione di Resisto 5.9 Tube possono essere utilizzati speciali pannelli in eps con una battentatura perimetrale e scanalature a interasse costante che consentono una posa ad incastro e la conseguente planarità del cappotto.

Sono diverse, infine, le opzioni di finitura offerte dal sistema: il cappotto tradizionale, la facciata ventilata, i sistemi di controparete e la speciale "facciata fotovoltaica", che prevede l'installazione di lastre fotovoltaiche come rivestimento esterno delle superfici opache degli edifici.

PROGETTO SISMA SRL

SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it

Resisto 5.9 Tube può essere applicato a edifici a telaio in c.a. e in muratura portante. In accordo con le **NTC del 2018**, il sistema può essere impiegato sia per interventi di **miglioramento e adeguamento sismico**, agendo sul comportamento globale degli edifici esistenti, sia per **interventi locali** su singole porzioni o singoli elementi murari.

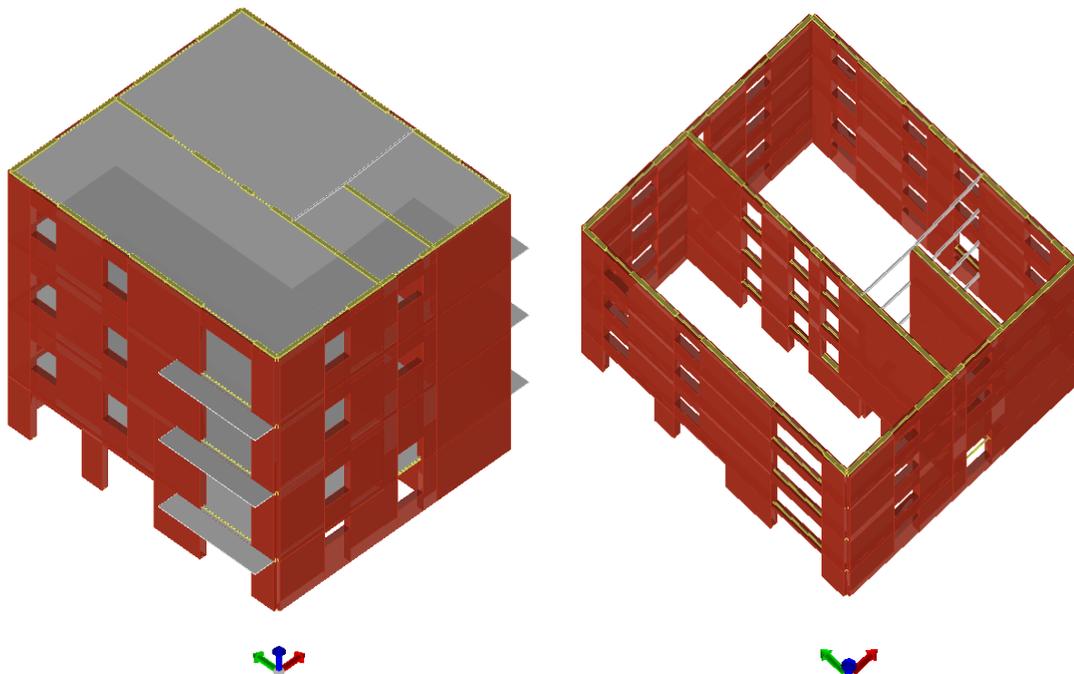
Esempio di miglioramento sismico globale di un edificio in muratura con Resisto 5.9 Tube

Alla luce delle caratteristiche e delle vulnerabilità degli edifici in muratura descritte in precedenza, analizziamo un **caso di studio**, ponendo l'attenzione sul **miglioramento/adeguamento sismico a livello globale** del fabbricato.

L'edificio ideale preso in considerazione è situato sul territorio emiliano ed è rappresentativo del patrimonio edilizio degli anni '60. La struttura è un **edificio in muratura di quattro piani**, progettato senza alcun dettaglio antisismico, regolare sia in altezza che in pianta. La prestazione sismica dell'edificio è stata confrontata **prima e dopo l'installazione del cappotto antisismico Resisto 5.9 Tube** sulle pareti esterne.

Le pareti portanti in muratura sono composte da **mattoni pieni** e malta di calce, con uno spessore di 28 cm. I solai sono costituiti da travi in cemento armato di 16 cm di spessore e blocchi forati. Le travi in cemento sono presenti lungo il perimetro dei solai e sopra le aperture.

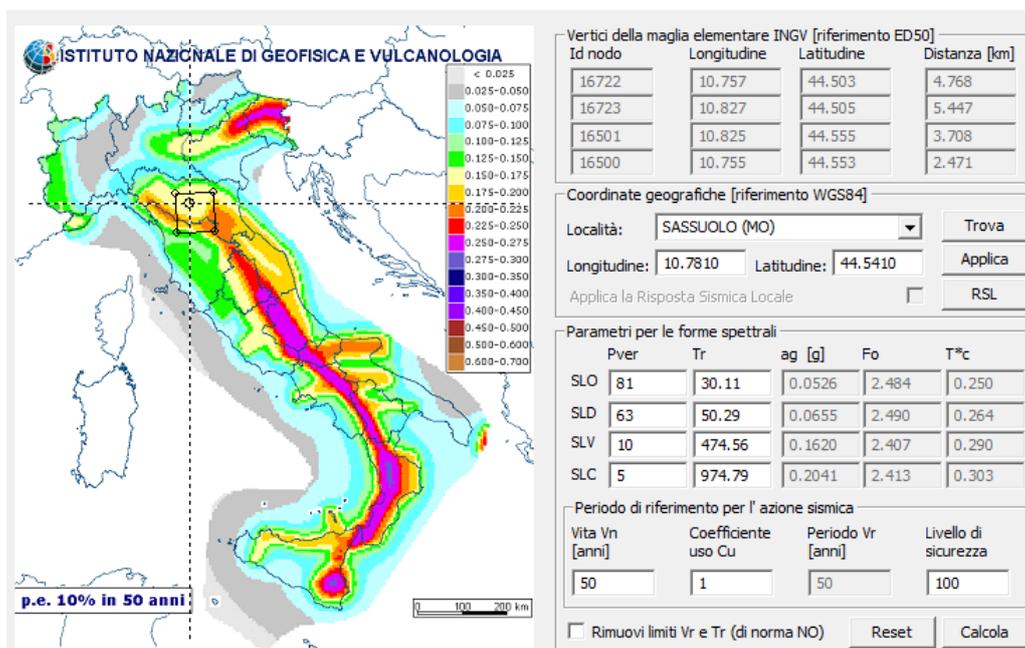
Per valutare la **vulnerabilità sismica** della struttura, è stata eseguita una serie di **analisi statiche non lineari**, ovvero **Pushover**. I solai sono considerati come infinitamente rigidi nell'analisi sismica. Il fattore di confidenza è pari a $FC=1,2$ (LC2).



Vista 3D dell'edificio, con e senza solai (crediti: Progetto Sisma)

PROGETTO SISMA SRL

SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it



Parametri sismici (crediti: Progetto Sisma)

Tabella – Carichi sui solai

Carichi su solai	Piani 1,2,3	Balconi	Sottotetto + copertura
G_1 (kg/cm ²)	450	450	500
G_2 (kg/cm ²)	100	100	0
Q (kg/cm ²)	200	400	100
Ψ_0	0,7	0,7	0,5
Ψ_1	0,5	0,5	0,2
Ψ_2	0,3	0,3	0,0

Sia l'edificio non rinforzato che quello rinforzato sono stati **modellati numericamente** tramite il software PRO_SAP / PRO_SAM della software house 2Si. È possibile rappresentare numericamente la muratura rinforzata senza modellare esplicitamente tutti i sotto-elementi di Resisto 5.9 Tube, modificando i "criteri di progetto" associati ai pilastri e ai travetti rinforzati.

Per quanto riguarda il caso di Resisto 5.9, i parametri di **capacità di deformazione**, in termini di drift (pari al rapporto tra lo spostamento orizzontale in cima ad una parete e la sua altezza), sono stati aumentati grazie alle risultanze dei test sperimentali svolti presso la Fondazione Eucentre, con l'eccezione del limite di drift associato al meccanismo flessionale, che rimane costante. Pertanto, il valore limite di **drift**, associato allo stato limite ultimo di rottura a taglio, era pari a: **0,5% per la muratura non rinforzata e 0,8% per la muratura rinforzata**.

Inoltre, sempre sulla base dei recenti risultati della campagna sperimentale, è stato considerato anche **l'aumento della resistenza a taglio**, senza dover aggiungere altri elementi nel modello, ma solo modificando i criteri di progetto associati a questi elementi in muratura. Il miglioramento della resistenza, dovuto alla presenza del sistema Resisto 5.9 Tube nelle pareti esterne, è stato considerato assumendo che funzioni come le barre d'armatura di una **muratura rinforzata**, in conformità con i §§

PROGETTO SISMA SRL

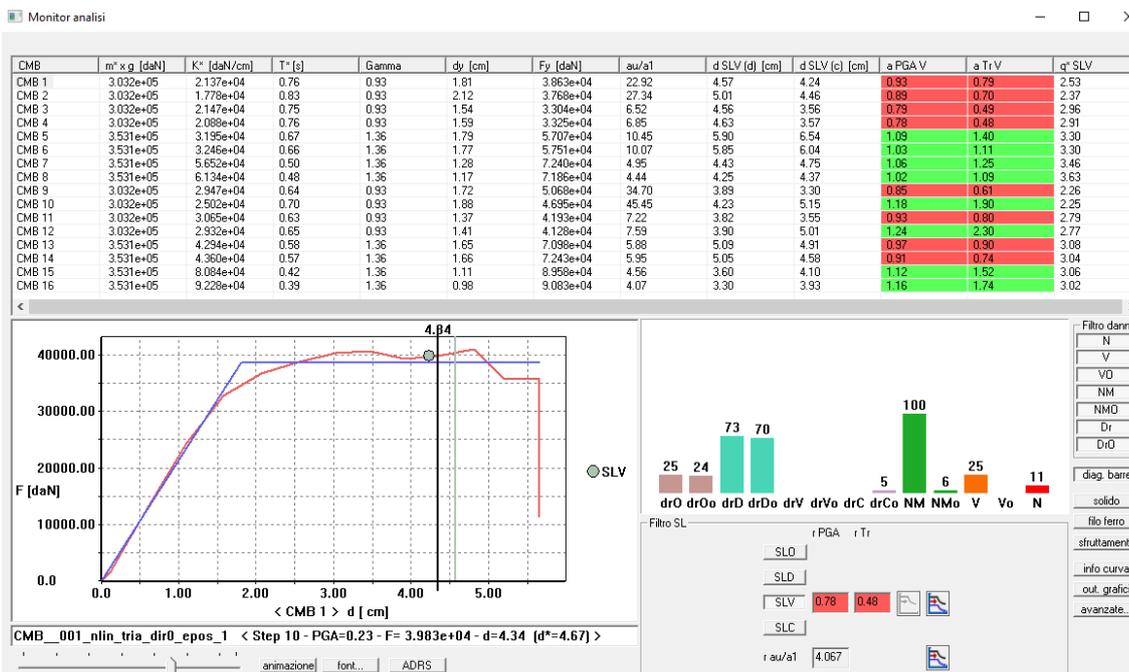
SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
 SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
 Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it

4.5.7 e 7.8.3 delle NTC2018. Il rinforzo equivalente è stato limitato dalla resistenza a taglio degli ancoraggi chimici ed è stato anche fortemente ridotto, per tenere conto del potenziale fallimento di alcuni elementi dell'armatura in acciaio. Inoltre, questa quantità è stata ulteriormente diminuita anche per tenere conto della riduzione della coesione nella muratura allo stato limite di collasso della parete e di errori nella posa in opera del sistema. Pertanto, i suddetti valori potrebbero essere considerati una soglia minima di rinforzo. È stato modellato solo il rinforzo orizzontale, sempre per cercare di definire una soglia minima delle prestazioni sismiche migliorate. Alla luce di tutto questo, il rapporto geometrico di rinforzo orizzontale equivalente (acciaio di qualità B450C) è stato fissato pari allo 0,02%.

Le distribuzioni di forze scelte per le analisi pushover sono quella triangolare (gruppo 1) e desunta da un andamento uniforme delle accelerazioni (gruppo 2). Si è tenuto conto anche dell'eccentricità accidentale in entrambe le direzioni, ottenendo 16 curve.

Le immagini seguenti mostrano la curva che dà un rapporto minore tra capacità e domanda (in termini di PGA) per la struttura nello stato di fatto e per la struttura nello stato di progetto. Questo confronto è riassunto in maniera più chiara nella tabella successiva, in cui si nota chiaramente il netto miglioramento delle prestazioni (+30%), tali addirittura da garantire l'adeguamento, poiché l'indice di rischio sismico $\zeta = \frac{PGA_{CAPACITA'}}{PGA_{DOMANDA}}$ risulta maggiore di 1.

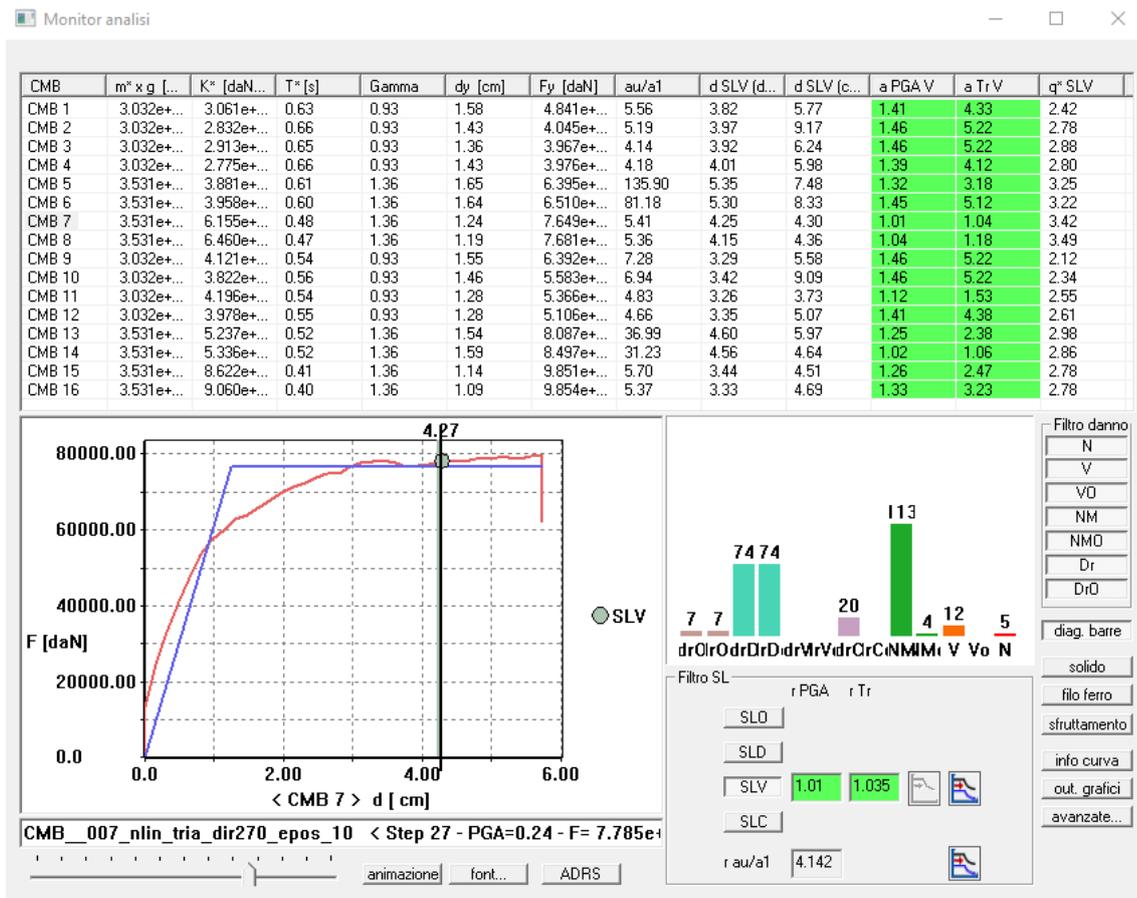
Rapporto PGA_C / PGA_D			
	SDF	SDP	Diff.
SLV	0.78	1.01	+30%



Pushover stato di fatto (crediti: Progetto Sisma)

PROGETTO SISMA SRL

SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
 SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
 Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it



Pushover stato di progetto (crediti: Progetto Sisma)

Il caso di studio, perciò, evidenzia con chiarezza i benefici che si ottengono a livello sismico grazie all'adozione di un esoscheletro in acciaio leggero come il sistema Resisto 5.9 Tube.

PROGETTO SISMA SRL

SEDE LEGALE: via Marzabotto, 4 – 41042 Fiorano Modenese (MO)
 SEDE OPERATIVA c/o TPM: via 29 Maggio, 14 – 41047 Mirandola (MO)
 Tel. 0535.194.8034 | P.IVA IT03869470363 | info@progettosisma.it