

Ordine Ingegneri della Provincia di Trapani

Mercoledì 07/10/2020

Seminario:

IL SISMA BONUS

ESEMPI APPLICATIVI SU EDIFICI IN MURATURA

**Relatore: Ing. ANTONIO TRIMBOLI
Libero Professionista**

ACQUISIZIONE DATI E LIVELLO DI CONOSCENZA

Descrizione dell'opera oggetto di intervento di miglioramento sismico

Edificio in muratura: 4 piani fuori terra + 1 seminterrato

- prima fase (fino al terzo solaio) 1926
- seconda fase (quarto solaio e copertura) 1945

Dimensioni principali $\approx 14 \times 20$ m



Pianificazione della campagna di indagini

La valutazione della sicurezza di un edificio esistente è strettamente collegata alla completezza e all'affidabilità delle informazioni disponibili ed è per questo motivo che le norme tecniche individuano tre possibili livelli di conoscenza:

- LC1: conoscenza limitata
- LC2: conoscenza adeguata
- LC3: conoscenza accurata

I livelli di conoscenza dipendono dalla quantità e qualità di informazioni che si riescono a recuperare circa i seguenti aspetti:

- geometria
- dettagli costruttivi
- proprietà dei materiali

Il livello di conoscenza acquisito determina poi i metodi che possono essere impiegati per l'analisi strutturale ed il valore del “fattore di confidenza” da applicare alle resistenze dei materiali nelle verifiche di sicurezza ($FC = 1,35$ per LC1; $FC = 1,20$ per LC2; $FC = 1,00$ per LC3).

Pianificazione della campagna di indagini

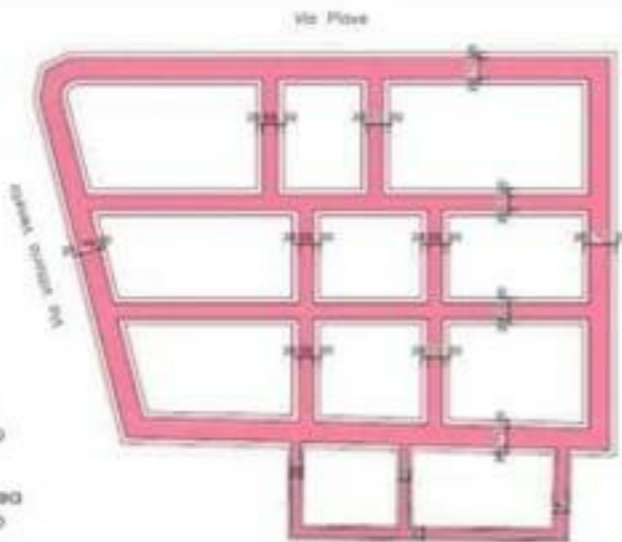
Il processo di conoscenza per un edificio esistente in muratura prevede l'acquisizione dei seguenti dati su geometria, dettagli costruttivi e proprietà dei materiali:

- identificazione dell'organismo strutturale (strutture in elevazione e di fondazione) ed in particolare del sistema resistente alle forze orizzontali;
- dimensioni geometriche di tutti gli elementi strutturali;
- tipologia degli orizzontamenti (solai e volte);
- tipologia della copertura (collegamenti, sistema spingente o non spingente);
- presenza di eventuali nicchie, cavità, scarichi, varchi tamponati nelle pareti;
- grado di ammorsamento tra le pareti verticali;
- qualità del collegamento tra orizzontamenti (presenza cordoli, bolzoni...);
- esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- presenza di elementi con funzione di contrasto di spinte;
- tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, con giunti verticali sfalsati, spessore dei giunti), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.);
- tipologia delle fondazioni;

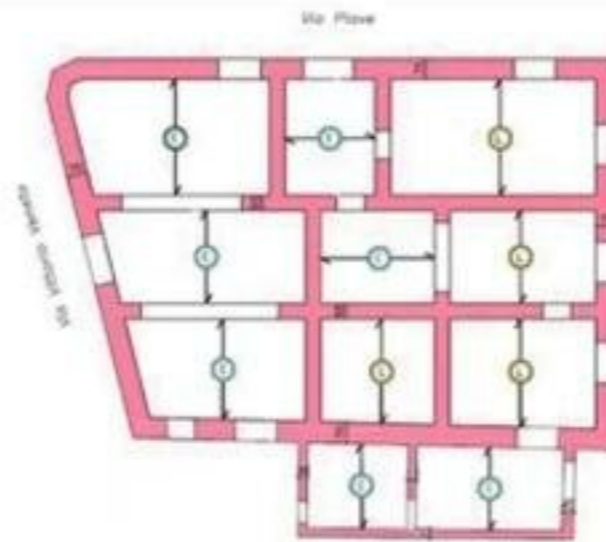
Geometria degli elementi strutturali

LEGENDA

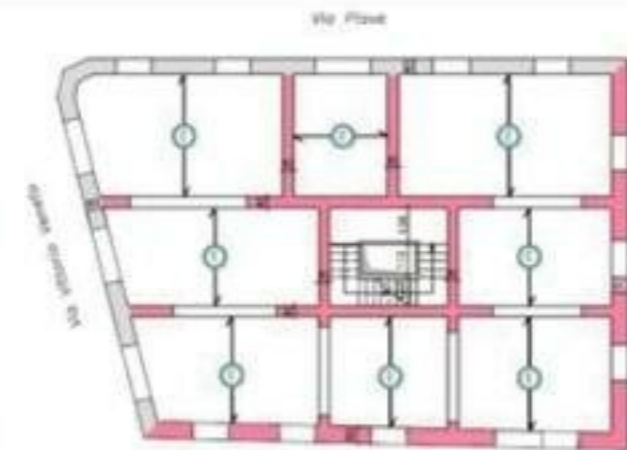
-  Mursura tipo "M1":
pietra squadrate listate
con ricorsi di mattoni
-  Mursura tipo "M2":
pietra a spacco con
buona tessitura dotata
di ricorsi di mattoni o
pietre squadrate
-  Mursura tipo "M3"
-  Solaio in latero-cemento
non oggetto di intervento
-  Solaio in carpenteria lignea
non oggetto di intervento
-  Solaio in carpenteria lignea
oggetto di intervento
-  Copertura lignea
oggetto di intervento



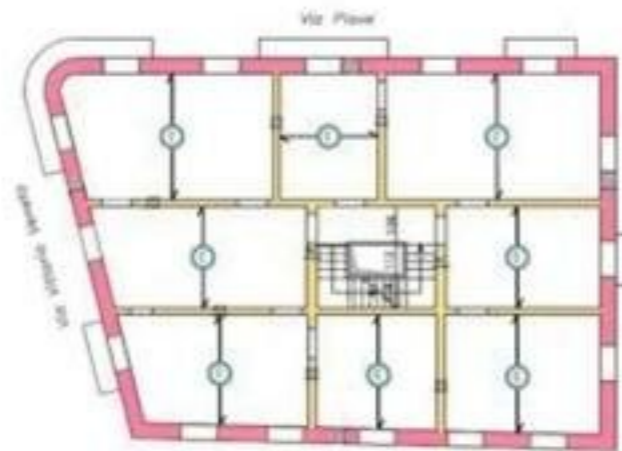
PIANTA FONDAZIONI rapp. 1:200



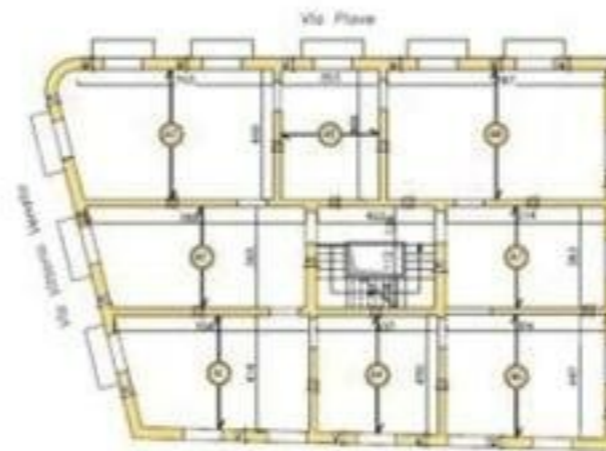
CARPENTERIA I° SOLAIO rapp. 1:200



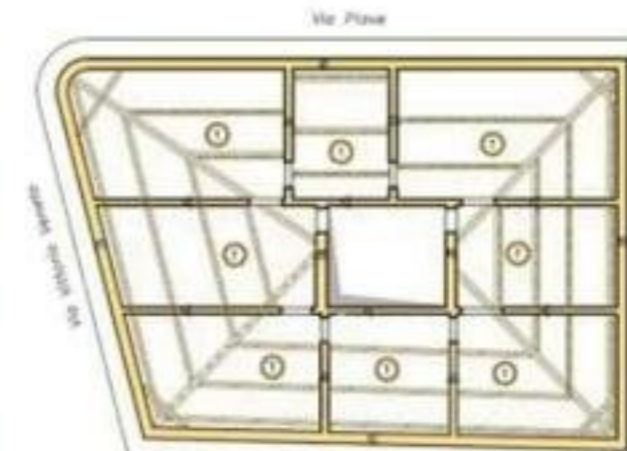
CARPENTERIA II° SOLAIO rapp. 1:200



CARPENTERIA III° SOLAIO rapp. 1:200



CARPENTERIA IV° SOLAIO rapp. 1:200

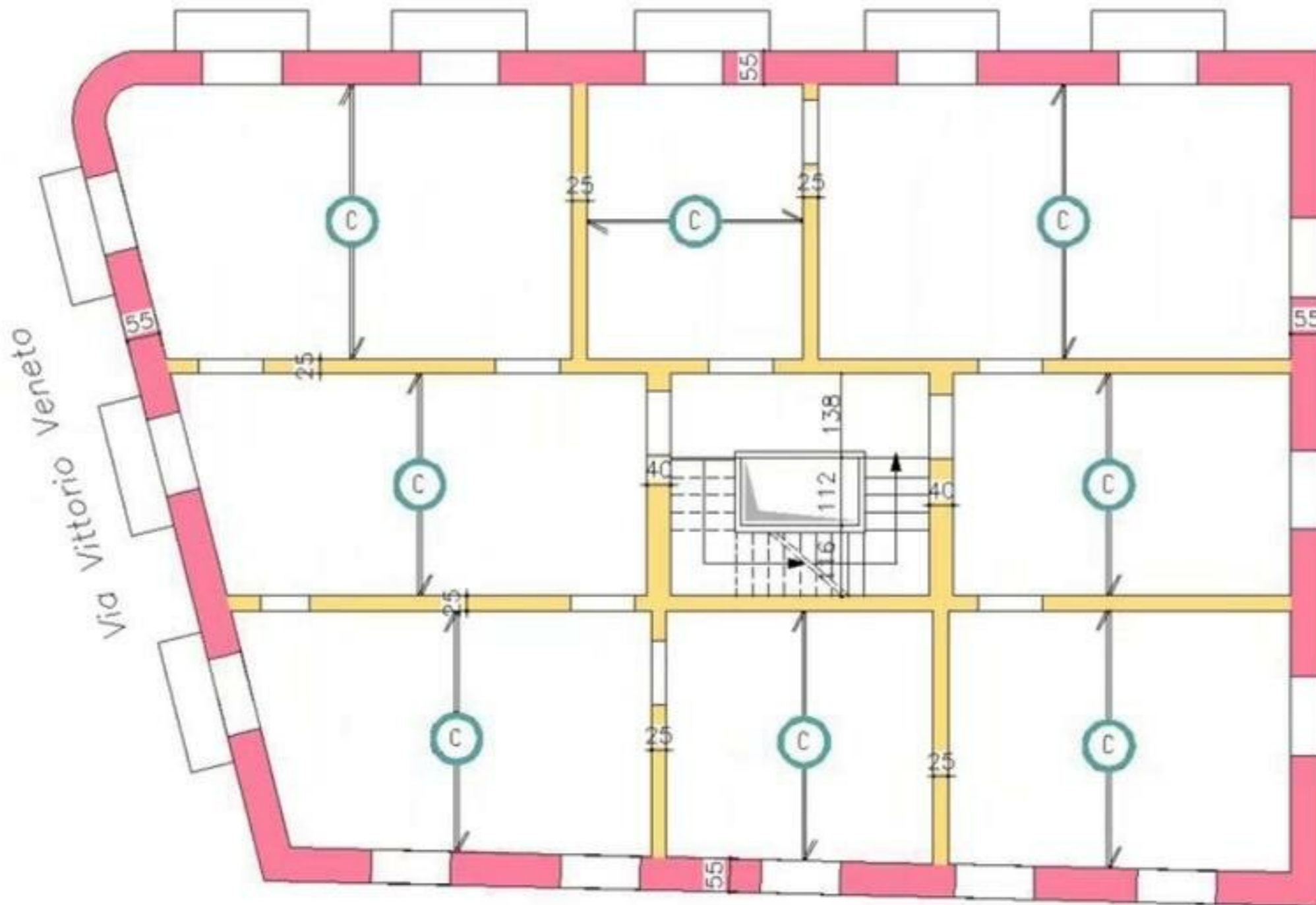


CARPENTERIA COPERTURA rapp. 1:200

Pianta tipo

Geometria degli elementi strutturali

Via Piave



Pianta tipo

Analisi storico-critica

Utilizzare le norme dell'epoca per verificare la rispondenza dell'edificio alle disposizioni cogenti al tempo della realizzazione potendo ottimizzare le indagini.

Nel nostro caso l'edificio fu costruito in due fasi differenti:

- la prima nel 1926 con la realizzazione del seminterrato e dei primi due livelli fuori terra

➔ Regio Decreto n° 2089 del 23 ottobre 1924 “*Norme tecniche ed igieniche per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati*”.

- la seconda nel 1945 con la sopraelevazione dei piani secondo e sottotetto

➔ Regio Decreto n° 2105 del 22 novembre 1937 “*Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti*”

Analisi storico-critica

Il R.D. n° 2089 del 1924 per edifici in muratura ordinaria disponeva che:

“La muratura sia omogenea e fatta con mattoni o con blocchi di pietra naturale o artificiale a facce piane e superfici scabre di forma parallelepipedica rettangolare, cementati con buona malta oppure a struttura listata fatta con pietra spezzata ed interrotta da corsi orizzontali di mattoni o da fasce continue di calcestruzzo di cemento distanti non più di cm 60 tra di loro”

“I muri d’elevazioni, quando sono i mattoni, debbono avere grossezze non minori di cm 60 a pianterreno, e cm 40 al primo piano, siano essi muri esterni od interni di spina, od anche muri trasversali principali; questi ultimi non dovranno avere distanza maggiore di metri 7 da asse ad asse”

“Le grossezze suindicate dei muri debbono essere rispettivamente di cm 80 e cm 60 quando si tratti di muratura di pietrame ordinario a struttura listata”

“I muri debbono essere ben collegati fra loro a livello del primo piano e mediante opportuni incatenamenti, ed al piano di gronda con telaio di cemento armato, di ferro o di legno rafforzato da squadre di ferro negli angoli. Tali incatenamenti debbono essere estesi anche a livello del pianterreno, qualora l’edificio sia munito di cantinato”

ACQUISIZIONE DATI E LIVELLO DI CONOSCENZA

DATI DI CALCOLO

Peso proprio e sovraccarico aumentati del 50%
Sovraccarico uniforme $\text{Kg } 300/\text{mq.}$

Portata m. 4,00

carichi	p.p.	Calcestruzzo a 0,0635 · 2500 = Kg. 160
		Mattoni di cui. H. " 60
		Pavimento " 40
		Sovraccarico " 300
		Carico a mq. <u>560</u>

Carico con aumento 50%
 $\text{Kg. } 560 \cdot 1,5 = 840/\text{mq.}$

Carico di calcolo per metro lineare di travetto
 $p = 840 \cdot 0,35 = 210 \text{ kg.}$

Facendo il calcolo dei travetti in maniera in base
ad un momento massimo positivo $\frac{1}{10} \text{ pl.}^2$

La sezione sugli appoggi si verifica per un momento
massimo negativo $\frac{1}{18} \text{ pl.}^2$

Si ha perciò:

Massimo momento positivo.

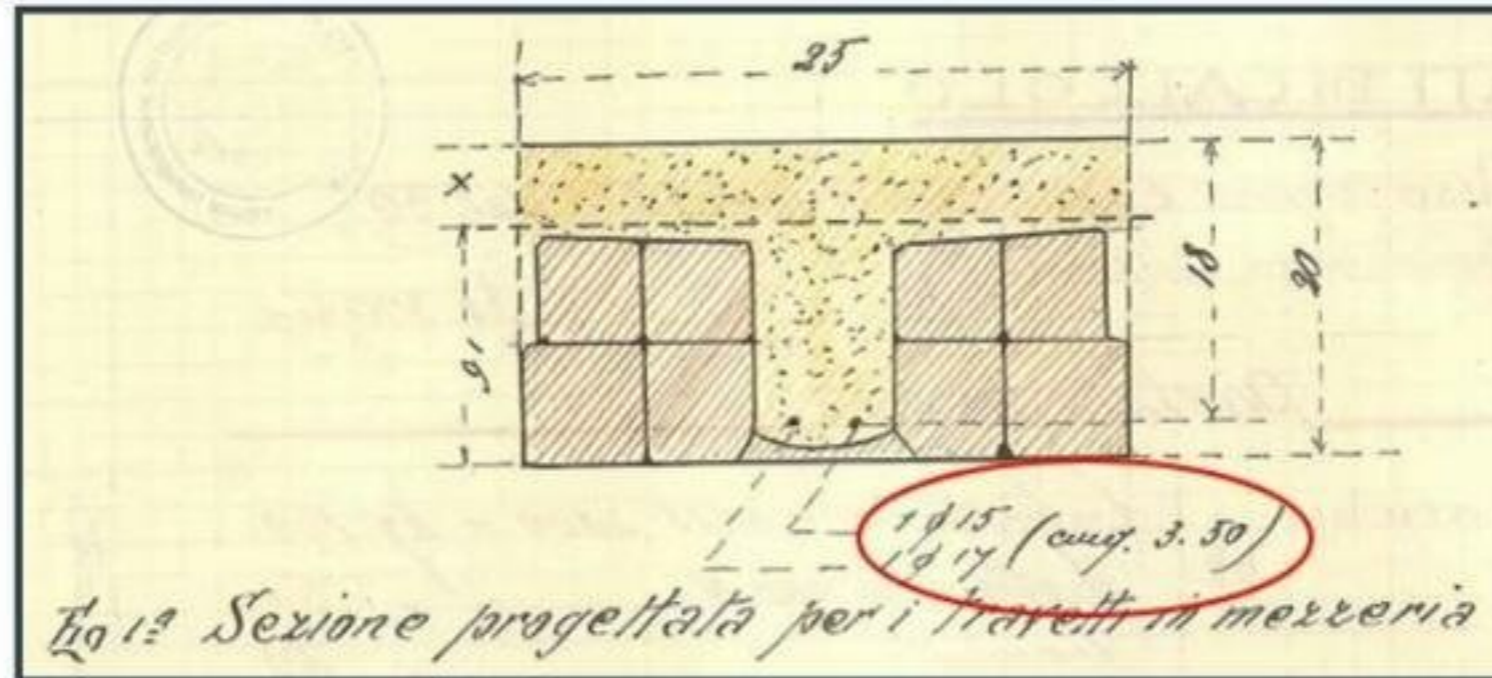
$$\frac{1}{10} 210 \cdot 4^2 = \frac{1}{10} 210 \cdot 16 = 336 \text{ kg/m} \approx 33600 \text{ kg/cm.}$$

Massimo momento negativo.

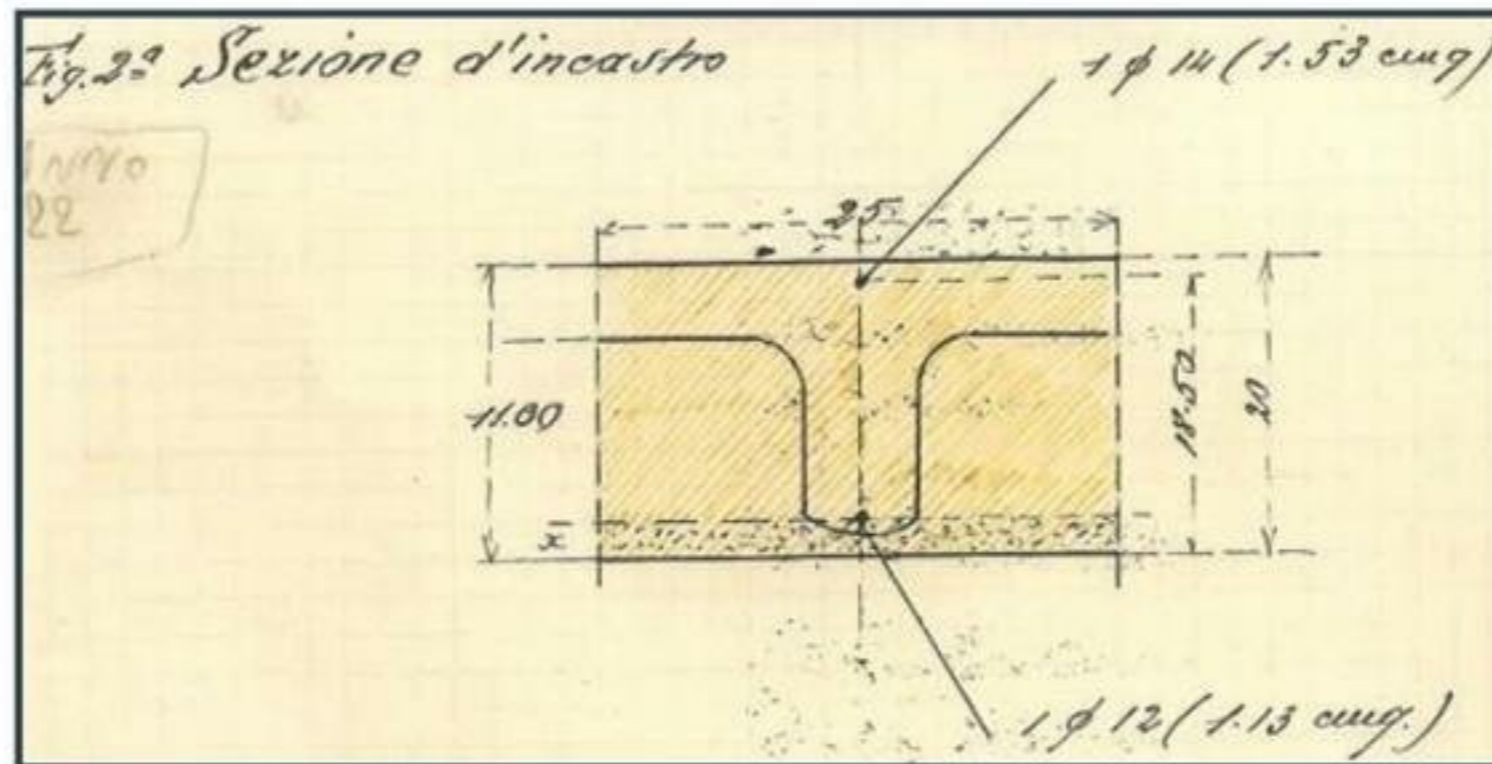
$$\frac{1}{18} 210 \cdot 4^2 = \frac{1}{18} 210 \cdot 16 = 180 \text{ kg/m} \approx 18000 \text{ kg/cm.}$$

Estratto relazione di calcolo
del progetto 1926

ACQUISIZIONE DATI E LIVELLO DI CONOSCENZA



Verifica sez. mezzeria travetti (progetto 1945)



Verifica sez. appoggio travetti (progetto 1945)

ACQUISIZIONE DATI E LIVELLO DI CONOSCENZA

Verifica sezione in mezzaria

Distanza asse neutro

$$25 \frac{x^2}{2} = 35(18-x) = 25 \frac{x^2}{2} = 630 - 35x = 25x^2 + 70x - 1260 = 0$$

$$x = \text{cm. } 5,25$$

Sollecitazione massima di compressione nel calcestruzzo

$$\frac{\sigma_c}{2} = 25 \times 5,25 \left(18 - \frac{1}{3} \times 5,25\right) = 33600$$

$$\sigma_c = 35,90 \text{ Kg/cm}^2$$

Tensione massima nel ferro

$$\sigma_f = 359 \frac{18 - 5,25}{5,25} =$$

$$= \sigma_f = 565,60 \text{ Kg/cm}^2$$

Verifica sezione d'incastro

Per la sezione d'incastro, tenuto conto che nella posa in opera dei solai si devono tenere i mattoni lontani cm. 10 circa dalla muratura di contorno, si ha una sezione di incastro rettangolare come nella fig. 2^a

Distanza asse neutro dal bordo inferiore compresso

$$25 \frac{x^2}{2} + 11,3(x-2) = 15,3(18,5-x) =$$

Estratto relazione di
calcolo del progetto 1926

GRADO DI COLLEGAMENTO CON LE PARETI MURARIE

Negli edifici esistenti in muratura le travi in legno sono spesso alloggiate nei muri senza vincolo fisso, essendo gli spostamenti orizzontali in esercizio contrastati soltanto dalla forza d'attrito garantita dal peso dell'intero orizzontamento.

In caso di sisma:

- le travi possono sfilarsi traslando in orizzontale;
- il solaio spinge le pareti ad esso ortogonali e non quelle di controvento.



Rilievo dei dettagli costruttivi



Assenza di cordolo in sommità

Rilievo dei dettagli costruttivi



Mancanza di presidi a contenimento della spinta per il puntone di displuvio tra falde adiacenti

Rilievo dei dettagli costruttivi



Presenza di scarichi nello spessore del pannello murario

Rilievo dei dettagli costruttivi



Presenza di scarichi nello spessore del pannello murario

Circolare 7/2019

C.8.2: *“Attenzione deve essere dedicata alla individuazione, per quanto possibile, di situazioni critiche locali e al loro conseguente effetto sulle verifiche. Esempi tipici sono la presenza e la realizzazione di cavedi, nicchie, canne fumarie, aperture in breccia, riprese murarie nelle pareti portanti che, indebolendo sensibilmente i singoli elementi strutturali o le connessioni tra i vari elementi costruttivi, possono facilitare l’innescò di meccanismi locali”.*

C.8.7.4: *“Un incremento della rigidezza delle pareti murarie, con conseguente modifica del comportamento sismico, si ottiene attraverso l’eliminazione delle discontinuità con la chiusura di nicchie, canne fumarie, cavedi o anche di vecchie lesioni o sconessioni all’interno delle murature, purché venga realizzato un efficace collegamento dei nuovi elementi di muratura con quelli esistenti”.*

Rilievo dei dettagli costruttivi



Presenza di scarichi nello spessore del pannello murario

Circolare 7/2019

C.8.2: *“Attenzione deve essere dedicata alla individuazione, per quanto possibile, di situazioni critiche locali e al loro conseguente effetto sulle verifiche. Esempi tipici sono la presenza e la realizzazione di cavedi, nicchie, canne fumarie, aperture in breccia, riprese murarie nelle pareti portanti che, indebolendo sensibilmente i singoli elementi strutturali o le connessioni tra i vari elementi costruttivi, possono facilitare l’innescio di meccanismi locali”.*

C.8.7.4: *“Un incremento della rigidità delle pareti murarie, con conseguente modifica del comportamento sismico, si ottiene attraverso l’eliminazione delle discontinuità con la chiusura di nicchie, canne fumarie, cavedi o anche di vecchie lesioni o sconessioni all’interno delle murature, purché venga realizzato un efficace collegamento dei nuovi elementi di muratura con quelli esistenti”.*

Rilievo dei dettagli costruttivi



Presenza di scarichi non visibili senza saggio e fuori servizio all'interno della muratura

Storia delle modifiche interne: varchi rimossi e mal chiusi



Esempio varco soppresso (senza cucirlo con il resto) rilevabile solo rimuovendo l'intonaco

Rilievo delle tipologie murarie



Tipologia M2 della muratura porzione edificio realizzata nel 1926

Rilievo delle tipologie murarie



Tipologia M3 della muratura porzione edificio realizzata nel 1945

Rilievo delle tipologie murarie



Differenti tipologie murarie presenti

Caratteristiche meccaniche muratura

Tipo "M1":

blocchi lapidei squadrati listati con ricorsi di mattoni

- resistenza a compressione 7,00 N/mm²
- resistenza tangenziale 0,105 N/mm²



Muratura tipo M1

Tipo "M2":

pietre a spacco con buona tessitura listate

- resistenza a compressione 3,20 N/mm²
- resistenza tangenziale 0,065 N/mm²



Muratura tipo M2

Tipo "M3": mattoni pieni

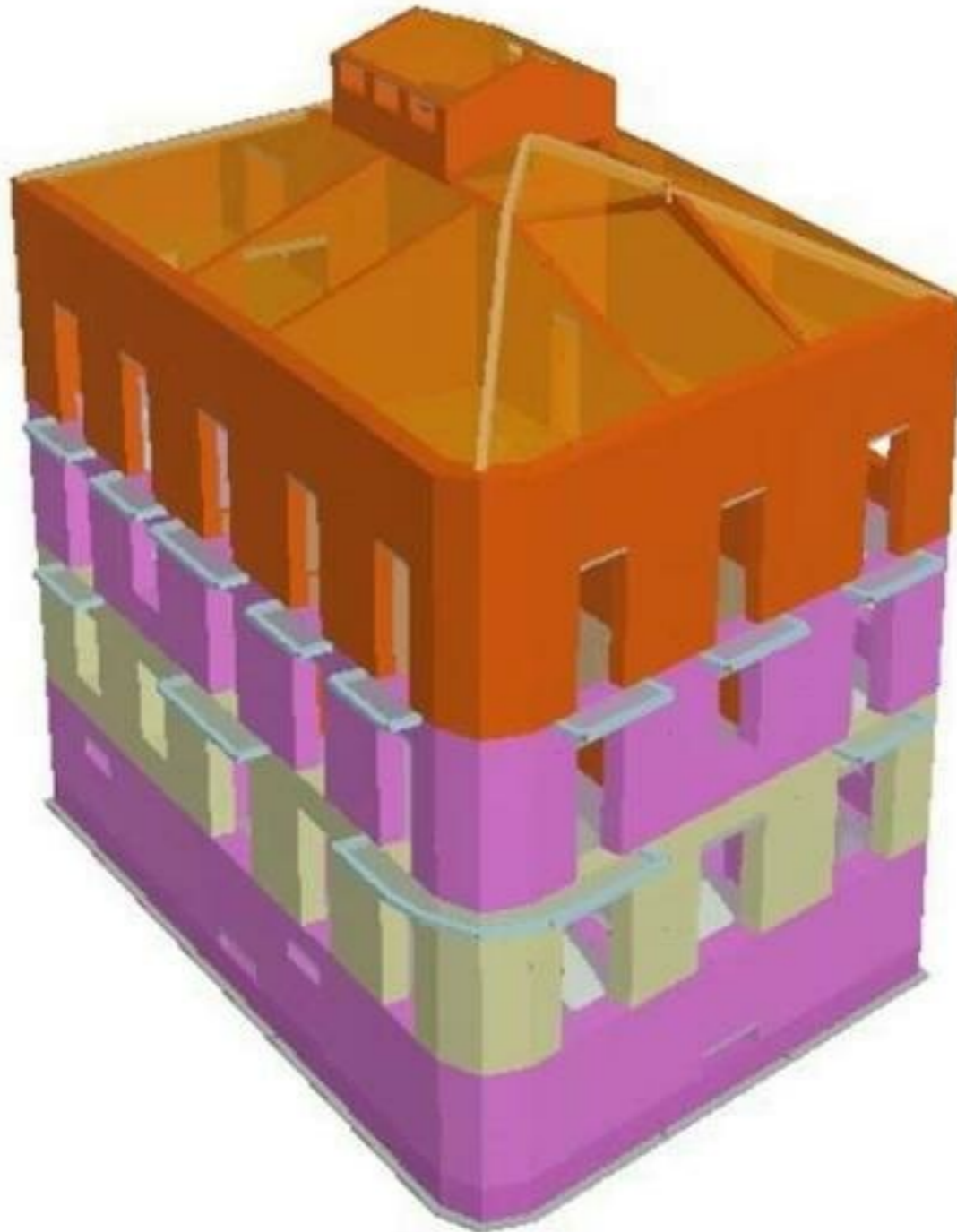
- resistenza a compressione 10,00 N/mm²
- resistenza tangenziale 0,300 N/mm²



Muratura tipo M3

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE

Verifica statica e di vulnerabilità sismica nello stato precedente ai lavori



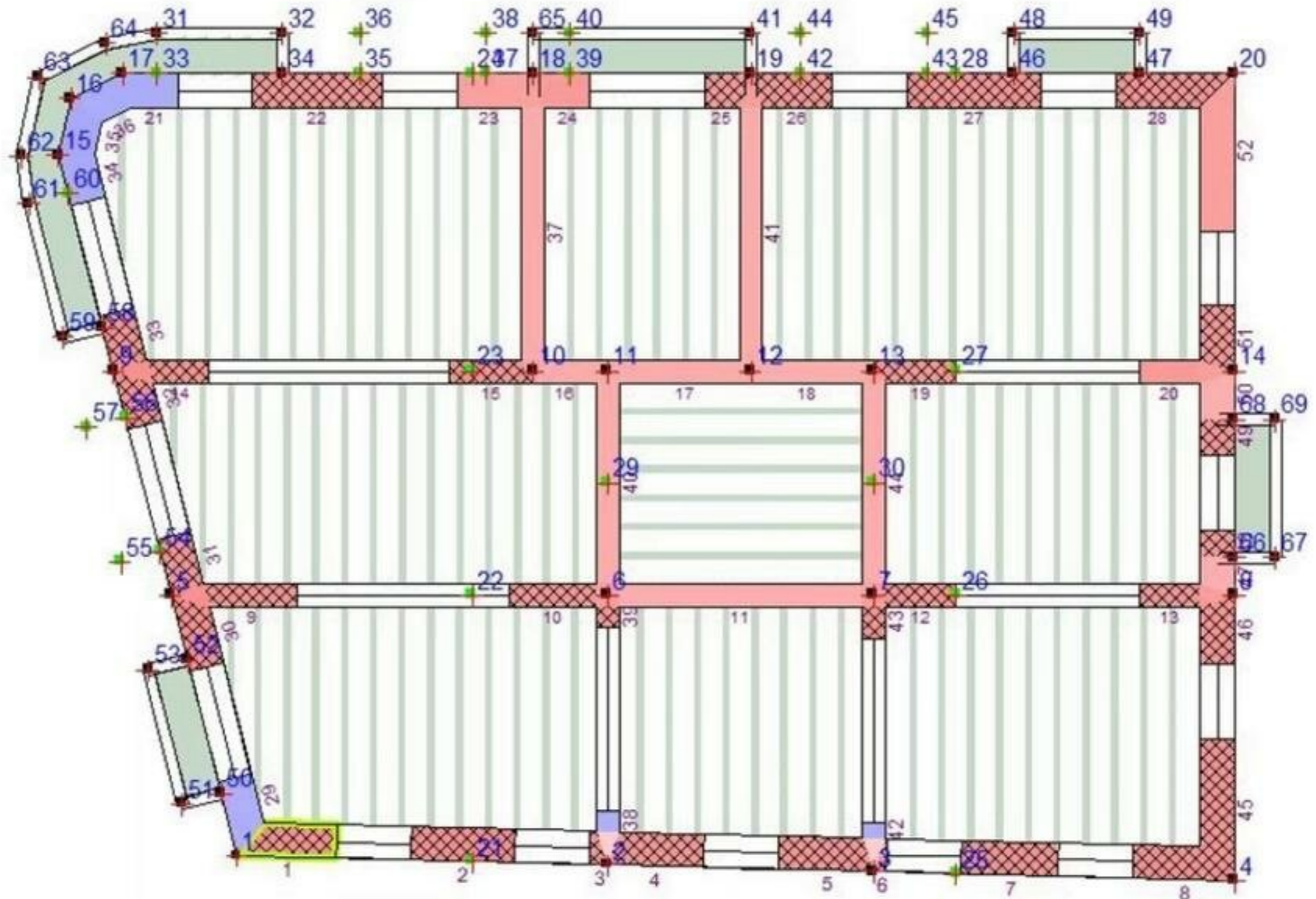
LEGENDA

-  Muratura tipo "M1":
pietre squadrate listate
con ricorsi di mattoni
-  Muratura tipo "M2":
pietra a spacco con
buona tessitura dotata
di ricorsi di mattoni o
pietre squadrate
-  Muratura tipo "M3"

Vista del modello di calcolo agli elementi finiti

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE

Verifica statica e di vulnerabilità sismica nello stato precedente ai lavori



Mappa di impegno sismico dei maschi murari della seconda tesa muraria allo SLV

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE

Verifica statica e di vulnerabilità sismica nello stato precedente ai lavori

L'analisi del modello di calcolo ha permesso di evidenziare che nello stato attuale le verifiche locali e globali non sono soddisfatte e ciò a causa di:

- assenza di un cordolo sommitale
- scarsa capacità resistente delle pareti interne del sottotetto
- solaio di calpestio del sottotetto scollegato dal cordolo
- degradazione (naturale) della malta dei giunti murari

Inoltre la verifica allo SLC è più penalizzante di quella allo SLV.

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC %	PgaD %	TrC	TrD	Esito
Pressoflessione trasversale	SLV	-	0,133	0,036	0,270	17	475	no
Portanza delle fondazioni	SLV	-	2,280	0,616	0,270	>2475	475	si
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,101	0,027	0,270	13	475	no
Pushover al limite di operatività	SLO	0,77	2,292	0,160	0,070	148	30	si
Pushover al limite di danno	SLD	1,02	2,050	0,191	0,093	212	50	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	2,95	0,880	0,238	0,270	351	475	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,53	0,698	0,253	0,362	405	975	no

Necessità della verifica allo stato limite di collasso

La sicurezza si deve valutare rispetto a tutti gli stati limite, e ciò malgrado il D.M. 17.01.2018 dispone che (cfr. 8.3) *"le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC)"*.

Tuttavia la circolare 617 del 2009 al capitolo C8.7.1.1 *"Requisiti di sicurezza"* chiariva che la suddetta semplificazione che è possibile perché *"si assume che il soddisfacimento della verifica allo stato limite di salvaguardia della vita implichi anche il soddisfacimento della verifica dello stato limite di collasso"*, e quindi la norma consente la possibilità di eseguire la sola verifica allo SLV, perché assume valido a priori che la verifica allo SLC sia automaticamente soddisfatta se lo è quella allo SLV.

Tale condizione è generalmente soddisfatta per edifici nuovi, ma non per edifici esistenti.

Usualmente per gli edifici in muratura la verifica più penalizzante è proprio quella allo SLC e non quella allo SLV.

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE

Verifica statica e di vulnerabilità sismica nello stato precedente ai lavori

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC %	PgaD %	TrC	TrD	Esito
Pressoflessione trasversale	SLV	-	0,133	0,036	0,270	17	475	no
Portanza delle fondazioni	SLV	-	2,280	0,616	0,270	>2475	475	si
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,101	0,027	0,270	13	475	no
Pushover al limite di operatività	SLO	0,77	2,292	0,160	0,070	148	30	si
Pushover al limite di danno	SLD	1,02	2,050	0,191	0,093	212	50	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	2,95	0,880	0,238	0,270	351	475	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,53	0,698	0,253	0,362	405	975	no

Riferendoci alle sole verifiche globali si vede che la verifica più penalizzante è quella allo SLC:

- per le verifiche globali l'accelerazione sismica massima sopportabile PgaC risulterebbe 0,238 g per lo **SLV** rispetto alla domanda PgaD pari a 0,27 g (**88%**), mentre risulterebbe **PgaC 0,253 g** per lo **SLC** rispetto alla domanda **PgaD** uguale a **0,362 g (70%)**

DT n° 212 al punto "A.2 Necessità della verifica dello stato limite di collasso" evidenzia che per le costruzioni esistenti "non è infrequente un comportamento nel quale una struttura esistente supera la verifica allo SLV ma non quella allo SLC, che diviene pertanto sempre necessaria per la verifica della sicurezza della vita umana".

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE

Verifica statica e di vulnerabilità sismica nello stato precedente ai lavori

DM 14.01.2008 Cap. 8.7.1 Costruzioni in muratura

*“Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare **meccanismi locali e meccanismi d’insieme**. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall’assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. I meccanismi globali sono quelli che interessano l’intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano.*

La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.”

In effetti il mancato soddisfacimento delle verifiche dei meccanismi locali implica che il funzionamento globale dell’edificio ne risenta significativamente non potendo l’edificio attivare tutte le sue risorse dissipative rispetto ai meccanismi globali.

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE


Verifica statica e di vulnerabilità sismica nello stato precedente ai lavori

Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC %	PgaD %	TrC	TrD	Esito
Pressoflessione trasversale	SLV	-	0,133	0,036	0,270	17	475	no
Portanza delle fondazioni	SLV	-	2,280	0,616	0,270	>2475	475	si
Ribaltamento pareti	SLV	-	0,101	0,027	0,270	13	475	no
Pushover al limite di operatività	SLO	0,77	2,292	0,160	0,070	148	30	si
Pushover al limite di danno	SLD	1,02	2,050	0,191	0,093	212	50	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	2,95	0,880	0,238	0,270	351	475	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,53	0,698	0,253	0,362	405	975	no

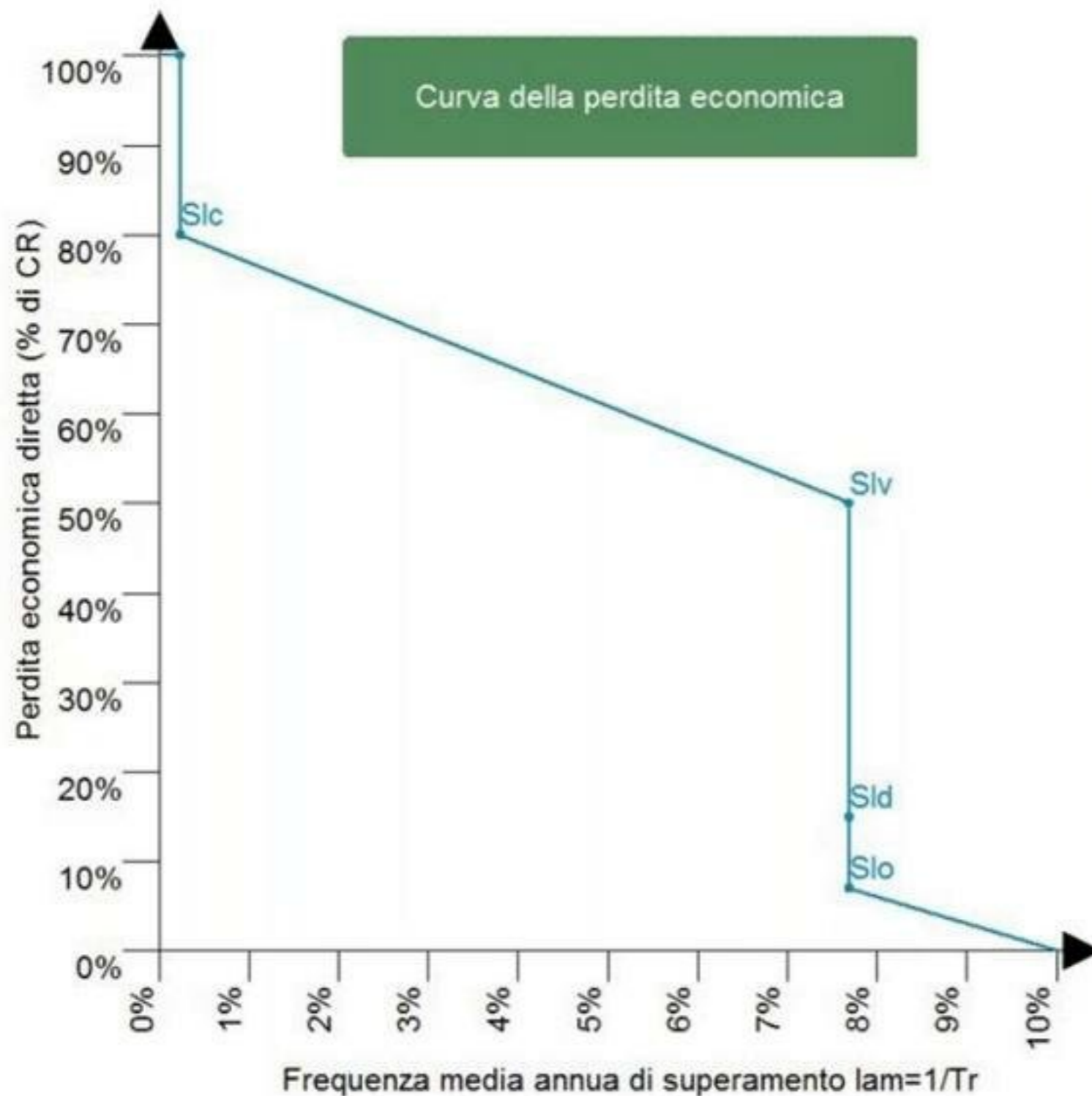
Nel nostro caso i risultati mostrano che:

- per **le verifiche locali** l'accelerazione sismica massima sopportabile **PgaC** è **0,027 g** corrispondente al meccanismo del ribaltamento locale di un pannello murario rispetto alla accelerazione richiesta PgaD pari a **0,27 g** (10%).
- per **le verifiche globali** l'accelerazione sismica massima sopportabile PgaC risulterebbe 0,238 g per lo SLV rispetto alla domanda PgaD pari a 0,27 g (88%), mentre risulterebbe **PgaC 0,253 g** per lo SLC rispetto alla domanda **PgaD** uguale a **0,362 g (70%)**

Tuttavia la verifica sul modello globale non rispecchia l'effettivo comportamento sismico in quanto la crisi globale si manifesta in anticipo in corrispondenza del verificarsi dei meccanismi locali  accelerazione sismica pari al 10% di quella prevista sul sito in esame.

MODELLAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE

Classe di rischio sismico configurazione iniziale precedente ai lavori



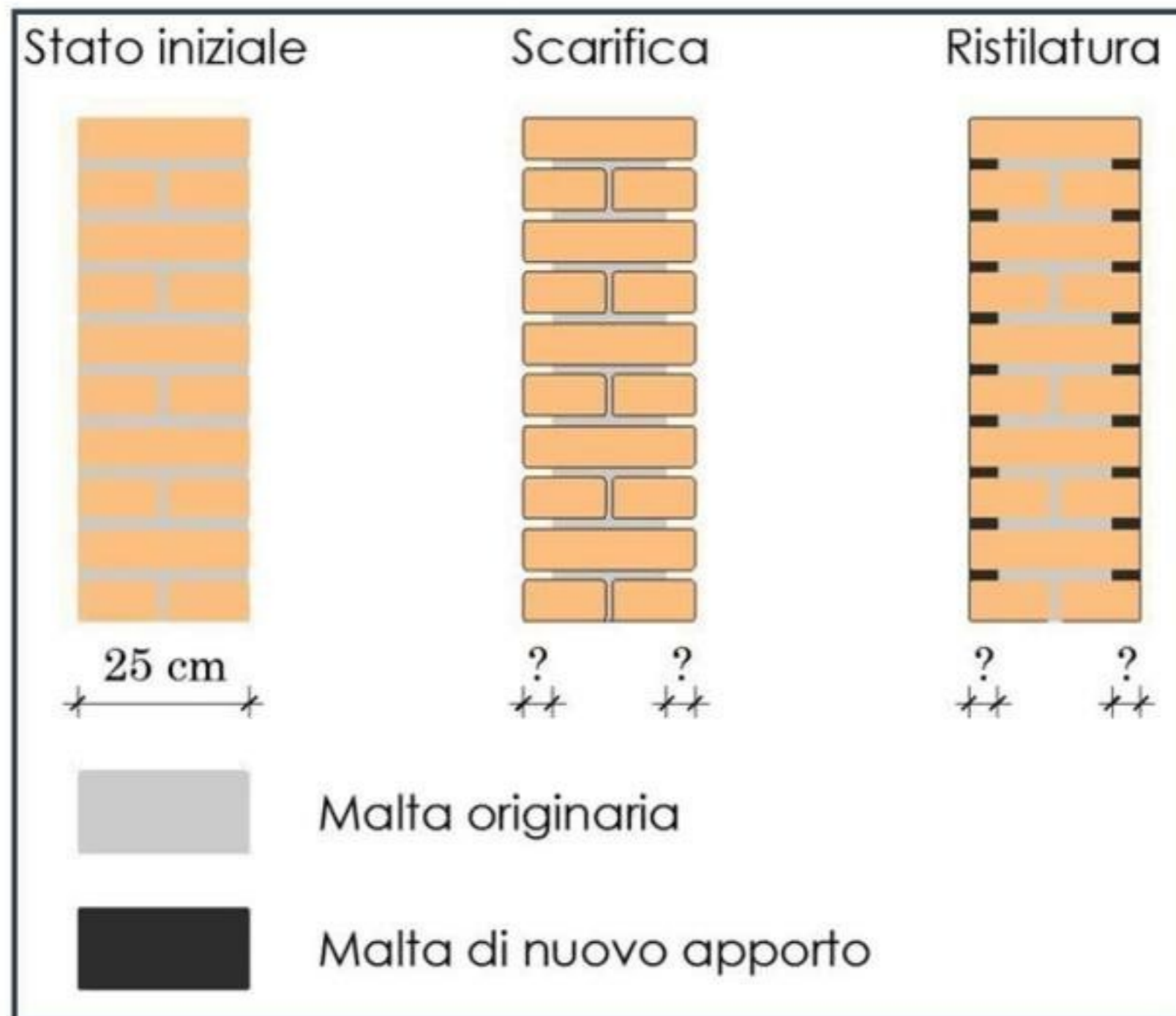
INTERVENTI DI RINFORZO

Elenco interventi principali:

- Ristilatura dei giunti in muratura con malta ad elevata resistenza
- Chiusura varchi, nicchie e aperture per scarichi
- Nuovo solaio in travi metalliche e soletta collaborante al 4° impalcato
- Ricostruzione parte sommitale della muratura in copertura
- Ammorsamento incroci murari in copertura
- Realizzazione cordolo in copertura con barre continue
- Nuova copertura in pannelli XLAM
- Rinforzo pareti murarie con sistemi compositi

INTERVENTI DI RINFORZO

La ristilatura dei giunti è stata eseguita per una profondità minima di 3 cm e spinta anche fino a circa 10 cm.



INTERVENTI DI RINFORZO

E' necessario intervenire per zone ed evitare di scarificare contemporaneamente ampie porzioni di pareti murarie.



INTERVENTI DI RINFORZO

E' necessario intervenire per zone ed evitare di scarificare contemporaneamente ampie porzioni di pareti murarie.



INTERVENTI DI RINFORZO

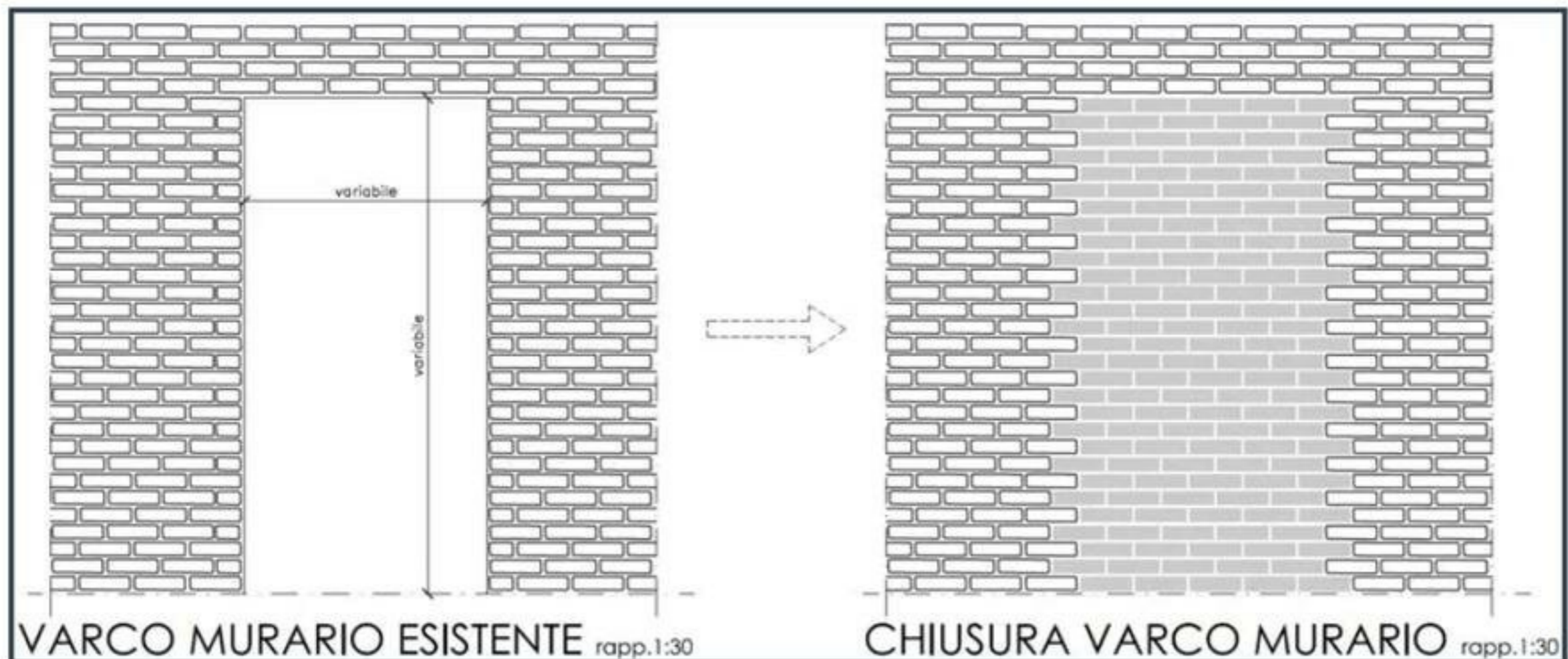
Dopo aver rilevato la presenza di nicchie, armadi a muro, canne fumarie, scarichi, varchi soppressi e di qualsiasi elemento di discontinuità dell'apparecchio murario, si ripristina la continuità mediante apporto di materiale di caratteristiche analoghe a quello originario avendo cura di ammorsare nuovi e vecchi elementi lapidei.



INTERVENTI DI RINFORZO

Creazione di vani di alloggiamento a ricorsi alternati lungo le spallette dell'apertura esistente oggetto di intervento.

Chiusura del varco esistente mediante realizzazione di pannello in mattoni pieni ammorsati nell'apparecchio originario.



INTERVENTI DI RINFORZO

Connessione tra le ali superiori dei profili HEA100.



INTERVENTI DI RINFORZO

Solaio con HEA100 e soletta collaborante.



INTERVENTI DI RINFORZO

Piegatura delle barre prima della posa della rete elettrosaldata e del getto della nuova soletta di conglomerato cementizio fibrorinforzato alleggerito.



INTERVENTI DI RINFORZO

Posa della rete elettrosaldata prima del getto della nuova soletta di conglomerato cementizio fibrorinforzato alleggerito.



INTERVENTI DI RINFORZO

Utilizzare distanziatori per assicurarsi che l'armatura della soletta si mantenga durante il getto del calcestruzzo a mezz'aria della soletta.



INTERVENTI DI RINFORZO

Bonifica muratura in sommità al piano copertura.



INTERVENTI DI RINFORZO

Ammorsamento tra pareti negli incroci mediante muratura armata con tralicci e barre verticali in acciaio.



INTERVENTI DI RINFORZO

Cordolo in calcestruzzo armato in copertura con dormienti lignei sul perimetro del torrino con funzione di appoggio per i pannelli XLAM e cassaforma per il cordolo.



INTERVENTI DI RINFORZO

Cordolo in calcestruzzo armato in copertura a livello della gronda.



INTERVENTI DI RINFORZO

Cordolo in calcestruzzo armato in copertura a livello della gronda.



INTERVENTI DI RINFORZO

Dormienti in legno lamellare e cordolo torrino e sui muri di controvento.



INTERVENTI DI RINFORZO

Posa pannelli XLAM spessore 12 cm.



INTERVENTI DI RINFORZO

Posa dei pannelli XLAM.



INTERVENTI DI RINFORZO

Posa dei pannelli XLAM.



INTERVENTI DI RINFORZO

Posa dei pannelli XLAM.



INTERVENTI DI RINFORZO

Posa dei pannelli XLAM.



ESEMPIO DI INTERVENTO



Schema tipo rinforzo con reti di PBO delle pareti murarie

INTERVENTI DI RINFORZO

Risultati push over edificio rinforzato

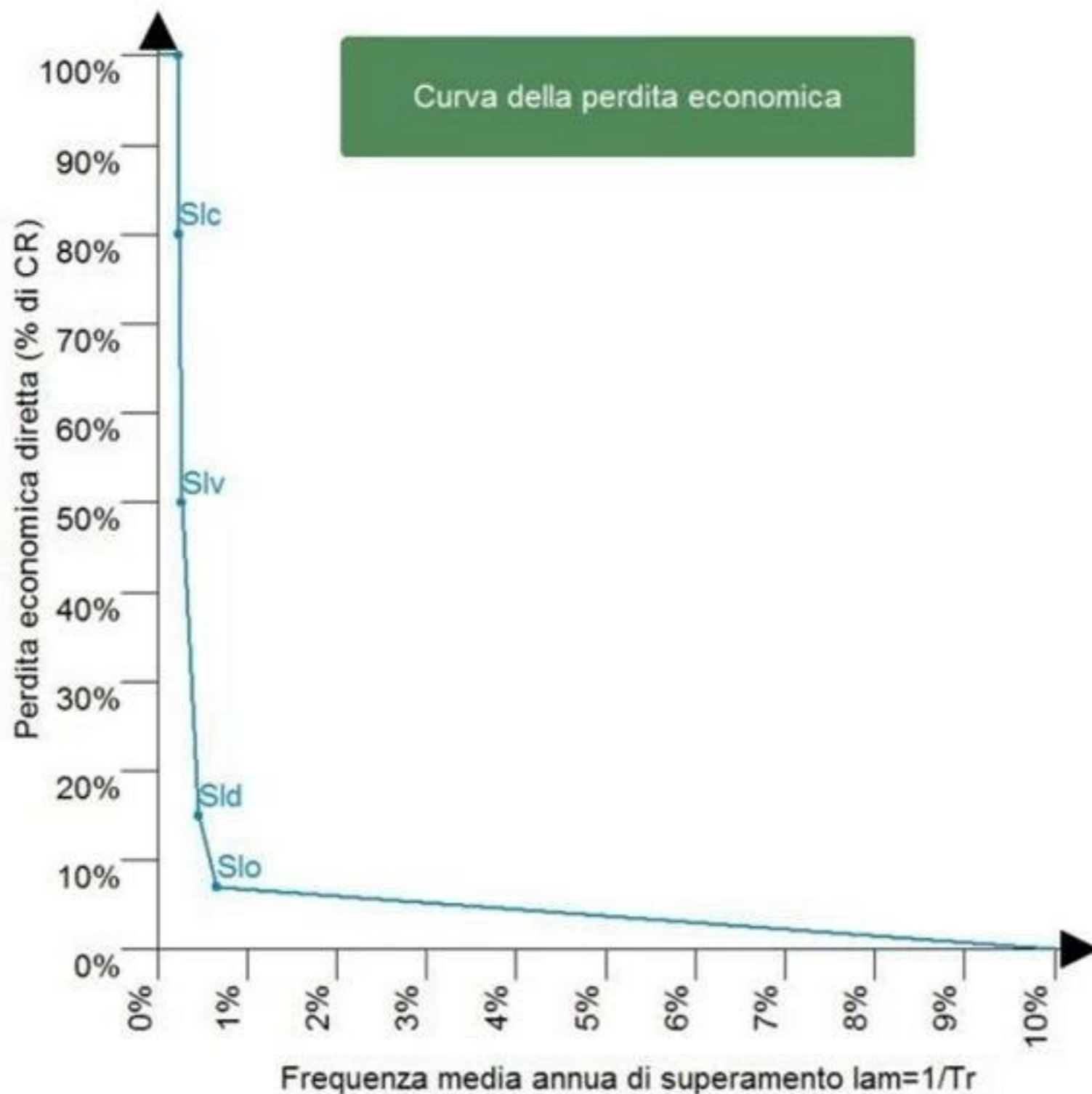
Quadro delle verifiche: sicurezza sismica

Nome verifica	SL	F.struttura	F.sicurezza	PgaC g	PgaD g	TrC anni	TrD anni	Esito
Pressoflessione trasversale	SLV	-	1,060	0,286	0,270	544	475	si
Portanza delle fondazioni	SLV	-	2,326	0,628	0,270	>2475	475	si
Ribaltamento pareti	SLV	-	3,840	1,037	0,270	>2475	475	si
Pushover al limite di operatività	SLO	0,79	2,302	0,161	0,070	150	30	si
Pushover al limite di danno	SLD	1,04	2,058	0,191	0,093	214	50	si
Pushover al limite di s.vita	SLV	2,96	0,882	0,238	0,270	355	475	no
Pushover al limite di collasso	SLC	3,58	0,702	0,254	0,362	412	975	no

Dopo aver eseguito gli interventi di rinforzo strutturale il rapporto capacità/domanda allo SLV espresso in termini di accelerazioni sismiche diviene pari all'88% (con un aumento del 78% visto che prima dei lavori si manifestavano crisi locali già per rapporti pari al 10%), mentre allo SLC resta pari al 70%.

INTERVENTI DI RINFORZO

Classe di rischio sismico configurazione futuro seguente ai lavori



Classe di rischio sismico

Stato di analisi
Metodo convenzionale secondo Dm 58/2017

- A+
- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G

A

0,68% PAM

88,2% IS-V

INTERVENTI DI RINFORZO

Evitare scanalature nella muratura per inserire gli impianti.

Sostituire gli intonaci con pareti di cartongesso (prescrizione anche nel P.d.M.).

Gli impianti devono passare all'interno di pareti di cartongesso.

Vantaggi: muratura intatta, riduzione delle masse.



La riduzione dei meccanismi locali attraverso la ristilatura dei giunti di malta

Vitruvio, *De Architectura*, libro II

“Le pietre che sono per natura tenere e porose tendono a disseccare il muro, assorbendo tutta l’umidità della malta; quando allora la calce e la sabbia sono molto abbondanti, il muro più ricco di umidità non si indebolisce presto e si mantiene compatto. Quando invece la porosità della pietra assorbe tutta l’umida sostanza della malta, anche la calce si dissocia dalla sabbia diventando polvere, per cui non può più cementare saldamente insieme le pietre e questo causa, con il passar del tempo, il crollo dei muri”.



Da Reluis

La riduzione dei meccanismi locali attraverso la ristilatura dei giunti di malta

Circolare n.7/2019 Punto C8.7.1.2.1

“Analisi dei meccanismi locali di corpo rigido”:

*“Per le verifiche che seguono, l’insieme di tali vincoli deve essere tale da costituire una catena cinematica a un grado di libertà, il cui atto di moto può essere descritto da un parametro di spostamento (o rotazione) virtuale infinitesimo. La rappresentazione della struttura come catena cinematica di corpi rigidi è attendibile solo se la parete non è vulnerabile nei riguardi di fenomeni di **disgregazione**.”*

E’ chiaro che la **ristilatura** dei giunti di malta assume un ruolo fondamentale, se eseguita in profondità, proprio per assicurare la **monoliticità** dell’organismo murario.

Laddove poi si riscontrano localmente significative carenze di materiale lapideo l’intervento di ristilatura dei giunti deve essere preceduto dalla cucitura (tecnica dello “scuci e cuci”).

Ristilatura e “scuci e cuci” sono i due interventi alla base di ogni intervento di rinforzo di un edificio in muratura, primari rispetto ad ogni altro intervento (placcaggio mediante FRP o FRCM, iniezioni di malta, intonaco armato, CAM).

La ristilatura dei giunti di malta: fasi preparative

Il funzionamento ottimale di un sistema di rinforzo FRCM o FRP è subordinato a diversi fattori, tra i quali giocano un ruolo rilevante la preparazione preventiva del substrato su cui il rinforzo deve essere applicato e la messa in opera del composito.

L'applicazione di un sistema di rinforzo FRCM-FRP richiede il preventivo controllo delle condizioni di deterioramento del substrato con l'adozione di provvedimenti atti a migliorarne lo stato, fino a rimuovere e ricostruire le parti ammalorate. Un intervento a regola d'arte deve prevedere la ristilatura dei giunti murari.



Scarica delle pareti in pietra naturale



Scarica delle pareti in mattoni artificiali

La ristilatura dei giunti di malta: fasi preparative

Lo strato di malta superficiale difficilmente risulta ben coeso, piuttosto è danneggiato per degradazione fisico-chimica e fisico-meccanica.

La malta esterna danneggiata deve essere completamente rimossa.

La rimozione della malta avviene con scarifica manuale e idropulizia.



*Profondità rimozione malta:
min 3 cm - max 7 cm*



Idropulizia delle pareti in mattoni pieni

La ristilatura dei giunti di malta: ricostruzione con malta pozzolanica



Profondità rimozione malta: min 3 cm - max 7 cm

La ristilatura dei giunti di malta: ricostruzione con malta pozzolanica

La rigenerazione dei giunti di malta deve essere realizzata con una malta che lasci traspirare la muratura e che sia allo stesso tempo molto resistente a compressione.

In questo caso è stata utilizzata una malta speciale rinforzata con fibre di polietilene con resistenza a compressione di 50 N/mm².



Rigenerazione dei giunti con malta aggiuntiva



Livellamento a pressione della nuova malta

La ristilatura dei giunti di malta: ricostruzione con malta pozzolanica



Rigenerazione dei giunti

Importanza dei giunti di malta rispetto alle proprietà meccaniche della muratura

La muratura è un sistema bifase, costituito da elementi lapidei (elemento resistente) e da malta (legante).

Per comodità nei calcoli assumiamo che la muratura sia monofase e cioè costituita da un materiale omogeneo, anche se nella realtà la muratura è spesso apparecchiata in maniera tale che la trasmissione degli sforzi avviene da una pietra a quella sottostante ed il legante si limita a svolgere la funzione di spessoramento, deputato a mantenere in equilibrio una pietra tonda riempiendo i vuoti tra blocchi lapidei adiacenti.

Gli elementi lapidei hanno resistenza a compressione elevata:

- le pietre naturali $f_{mk} = 20-120 \text{ N/mm}^2$
- i mattoni artificiali $f_{mk} = 20-40 \text{ N/mm}^2$

Le malte presentano invece resistenza a compressione molto bassa:

- negli nuovi edifici $f_{mk} = 5-20 \text{ N/mm}^2$
- **negli edifici esistenti** $f_{mk} = 1-2 \text{ N/mm}^2$



l'elemento debole nella muratura è proprio la malta.

Assenza di indicazioni quantitative nelle norme ed in letteratura tecnica

Circolare 7/2019 – Punto C.8.7.4

*“L’intervento di **ristilatura dei giunti**, se effettuato su entrambe le superfici esterne, può migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, incrementandone di fatto l’area resistente.*

Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della malta da utilizzare in relazione a quella esistente.

L’eventuale inserimento nei giunti ristilati di piccole barre, trefoli o piattine metalliche o di altri materiali resistenti a trazione, specie se ancorati alla muratura attraverso connessioni trasversali dei paramenti ed organizzati come sistema continuo nelle tre direzioni, può ulteriormente migliorare l’efficacia dell’intervento”.

Tuttavia non viene fornita alcuna indicazione in termini quantitativi sul contributo della ristilatura all’incremento delle proprietà meccaniche della muratura.

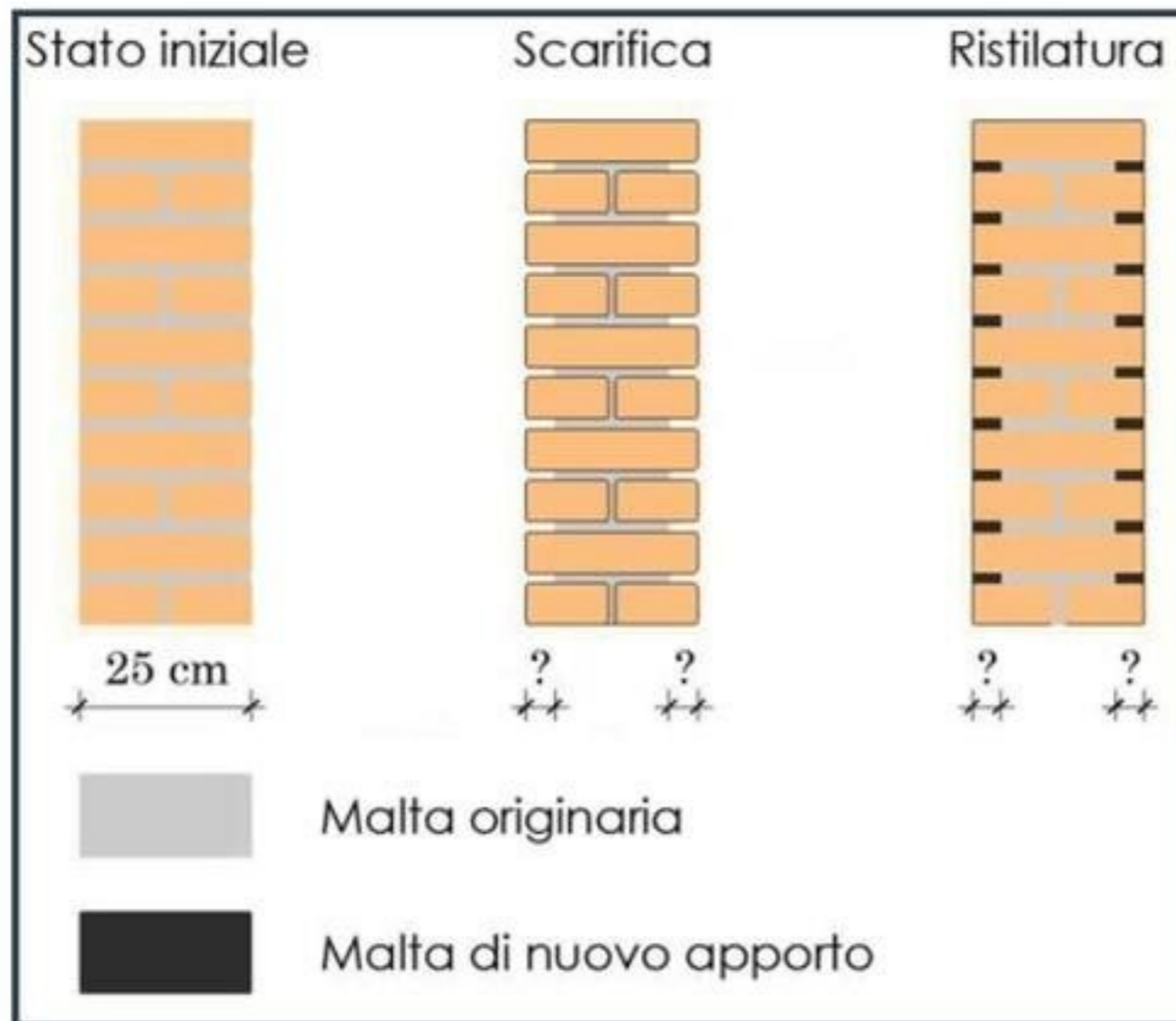
VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Profondità minima di ristilatura dei giunti di malta

Circolare 7/2019

“L'intervento di ristilatura dei giunti, se effettuato in profondità su entrambi i lati ...”.

Quale valore numerico attribuire all'indicazione: “in profondità”?



Indicazioni qualitative:

- rimuovere almeno la parte di malta carbonatata (prova di carbonatazione)
- arrivare fino al nucleo di malta maggiormente compatto (saggi diretti)

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Profondità minima di ristilatura dei giunti di malta

Circolare 7/2019

“Particolare attenzione è riservata alla valutazione della qualità muraria, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della regola dell’arte.

L’esame della qualità muraria e l’eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche hanno come finalità principale quella di stabilire se la muratura in esame è capace di un comportamento meccanico idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l’edificio in oggetto, tenuto conto delle categorie di suolo, opportunamente identificate secondo quanto indicato al 3.2.2 delle NTC.

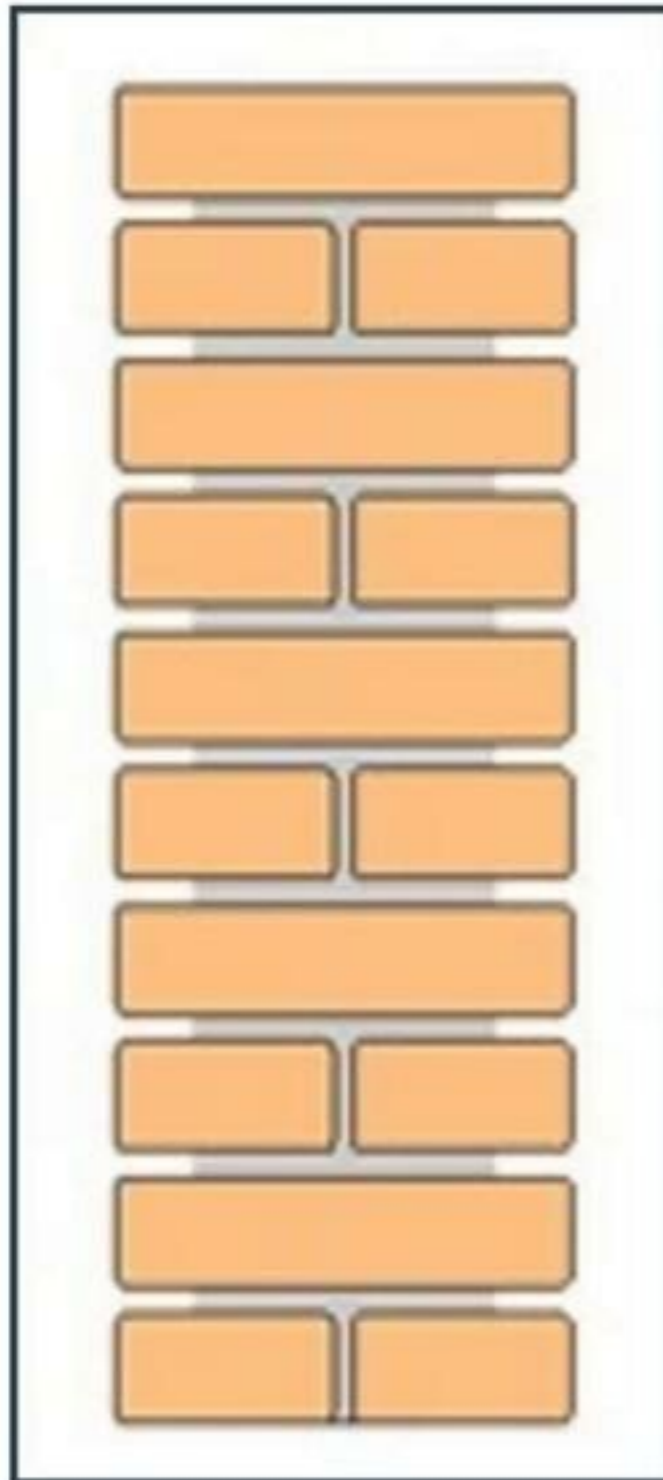
***Di particolare importanza** risulta la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l’orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, **la qualità e consistenza della malta**.*

Di rilievo risulta anche la caratterizzazione di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di pietre o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali.

*Malte e pietre sono prelevate in situ, avendo cura di prelevare le malte all’interno (ad **almeno 5-6 cm di profondità** nello spessore murario)”.*

Profondità malta di buona qualità = 5-6 cm ➡ Profondità minima di ristilatura 3-4 cm

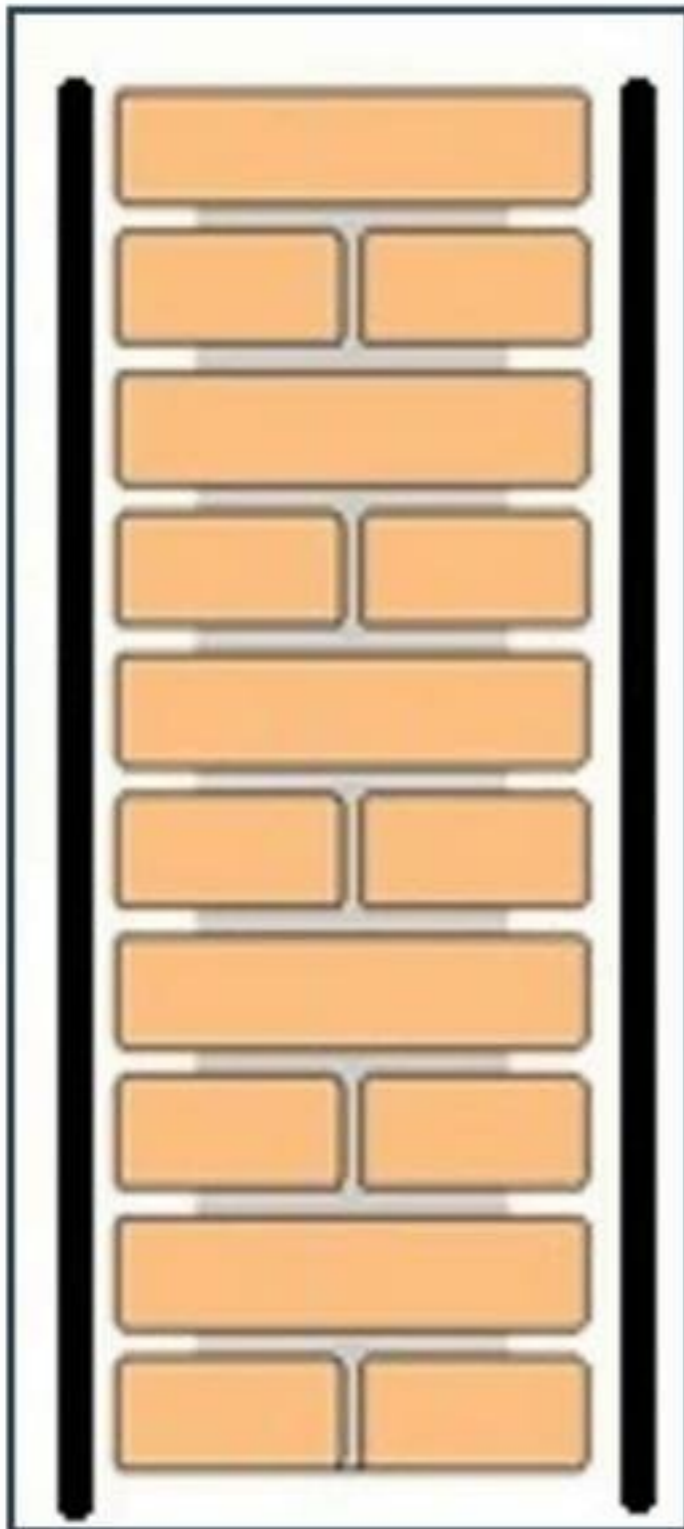
Effetto sulla modellazione senza interventi di ristilatura



Il corretto valore dello spessore di calcolo della parete dovrebbe essere pari allo spessore totale diminuito del valore della profondità di carbonatazione della malta dei giunti su entrambi i lati.

Di conseguenza il momento d'inerzia nella direzione ortogonale diminuisce in misura significativa.

Effetto sull'efficacia del rinforzo con sistemi compositi



Di fatto, senza la ristilatura dei giunti, l'aderenza del sistema composito non è assicurata in maniera continua.

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Assenza di indicazioni quantitative nelle norme ed in letteratura tecnica

Ristilatura = ?

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

Tabella C.8.A.2.2 – Coefficienti correttivi delle proprietà meccaniche della muratura in dipendenza del tipo di intervento strutturale adottato.

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Le prove penetrometriche sulla malta ASTM C803 (Windsor Pin Test)

Cosa accade se si rigenerano i giunti con una malta ad elevata resistenza a compressione pari a 50 N/mm², ovvero con una malta HPRM (High Performance Reinforced Mortar) ?



Campagna di prove sperimentali

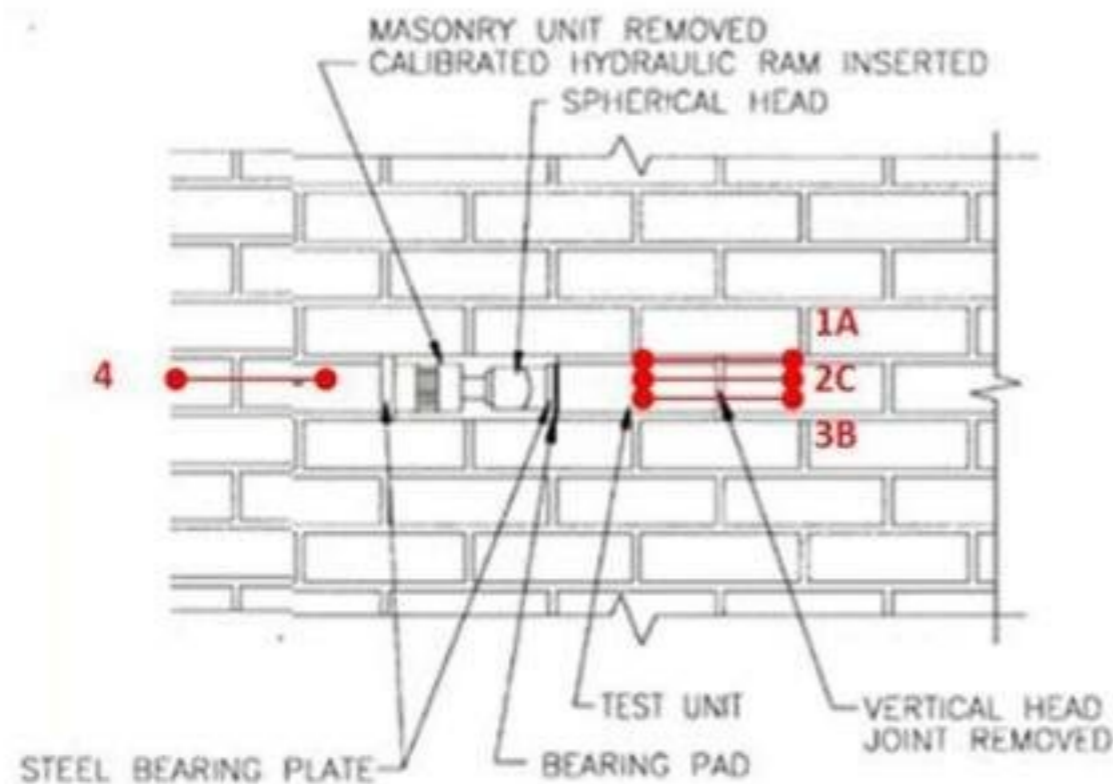
VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Le prove sulla muratura "Shear Test" ASTM C1531

La prova ha consistito nello spingere in direzione orizzontale un mattone al quale siano stati preventivamente eliminati i giunti di malta trasversali-verticali, rilevando la forza applicata e gli spostamenti orizzontali indotti.

Sono state eseguite 4 prove tipo shear test, di cui 2 su pannelli murari con i giunti ricostruiti mediante ristilatura con malta HPRM, e 2 su pannelli non rinforzati.

Tutte le prove sono state eseguite su pannelli murari scarichi (copertura rimossa).



Schema di carico "Shear Test" ASTM C1531

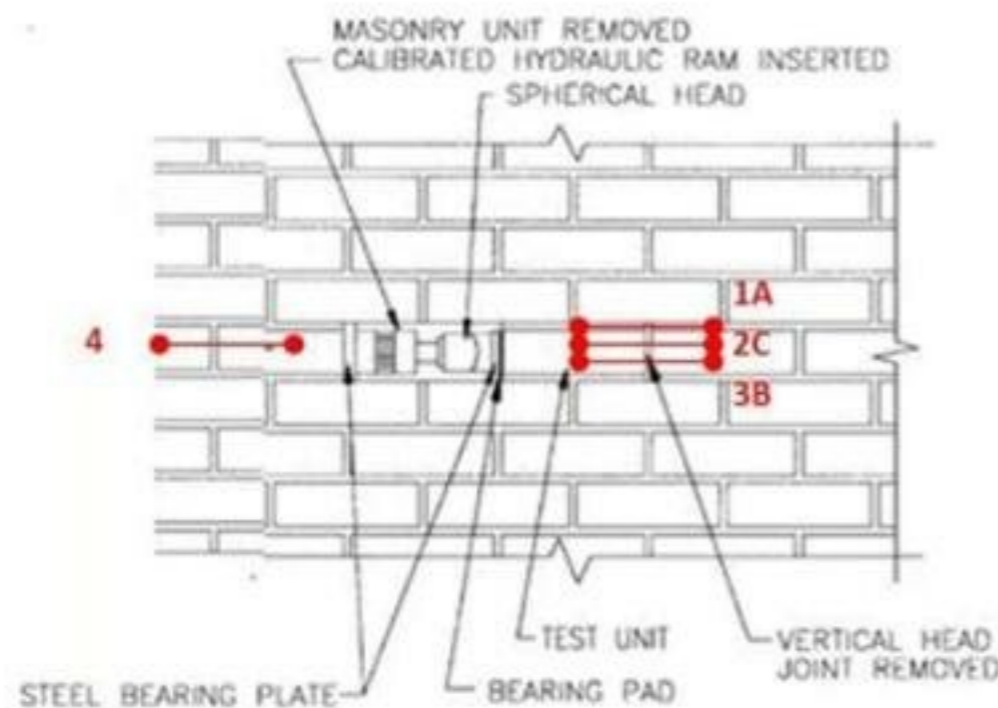


Prova su parete non ristilata

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Procedura "Shear Test" ASTM C1531

- Fase 1: Asportazione di un mattone rimuovendo la malta dei giunti vert. ed orizz.
- Fase 2: Eliminazione del secondo giunto di malta verticale del mattone adiacente a quello asportato, allo scopo di isolare in direzione verticale tale mattone
- Fase 3: Inserimento nella cavità di un martinetto a spinta in orizzontale
- Fase 4: Installazione di 4 coppie di basi orizzontali di lunghezza 200 mm (misura spostamenti orizzontali sia del mattone sottoposto a prova che dei mattoni adiacenti)
- Fase 5: Pompaggio graduale dell'olio nel martinetto, con incrementi di 20 bar, fino a raggiungere lo scorrimento del mattone sottoposto a prova



Schema di carico "Shear Test" ASTM C1531



Prova su parete ristilata con HPRM

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

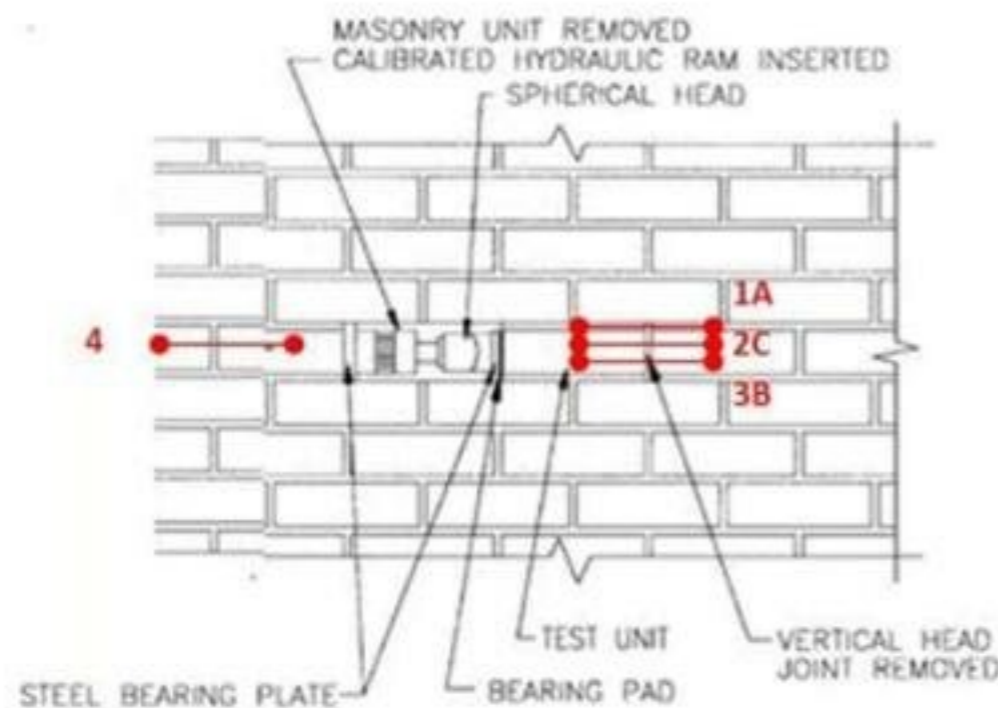
Risultati prova “Shear Test” ASTM C1531

Per ogni prova è stata calcolata la corrispondente tensione tangenziale τ_i massima che ha portato allo scorrimento del giunto:

$$\tau_i = F_{app,i} / A_i$$

dove A_i è la somma dell'area dei giunti orizzontali superiore ed inferiore del mattone i-esimo considerato; $F_{app,i}$ è la forza orizzontale esercitata dal martinetto.

Sono state posizionate 3 basi deformometriche a destra del mattone libero orizzontalmente sottoposto a spinta, ed 1 base a sinistra del mattone di contrasto fisso.



Schema di carico “Shear Test” ASTM C1531



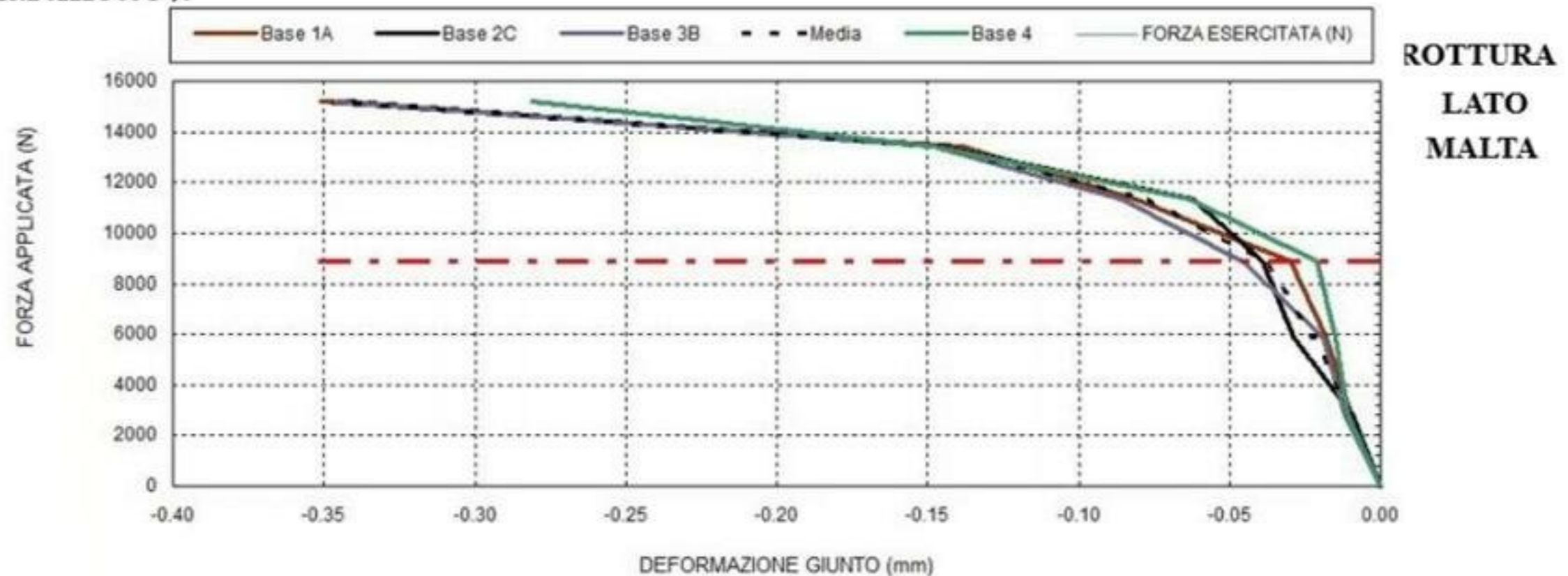
Prova su parte ristilata con HPRM

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Risultati prova “Shear Test” zona MB1 – Parete muraria NON ristilata

La prova è stata condotta su un pannello murario del piano copertura con i giunti di malta originali prima dell'intervento di ristilatura.

Il martinetto è stato posizionato a circa 185 cm al di sotto della sommità del pannello. La forza di rottura registrata è stata 8.910 N ➡ tensione tangenziale = 0.14 N/mm². In figura si ha il diagramma carico-spostamento per ogni base: la base deformometrica posta sul mattone di contrasto (a sinistra del martinetto) ha avuto lo stesso andamento delle 3 basi poste sul mattone libero (a destra del martinetto).



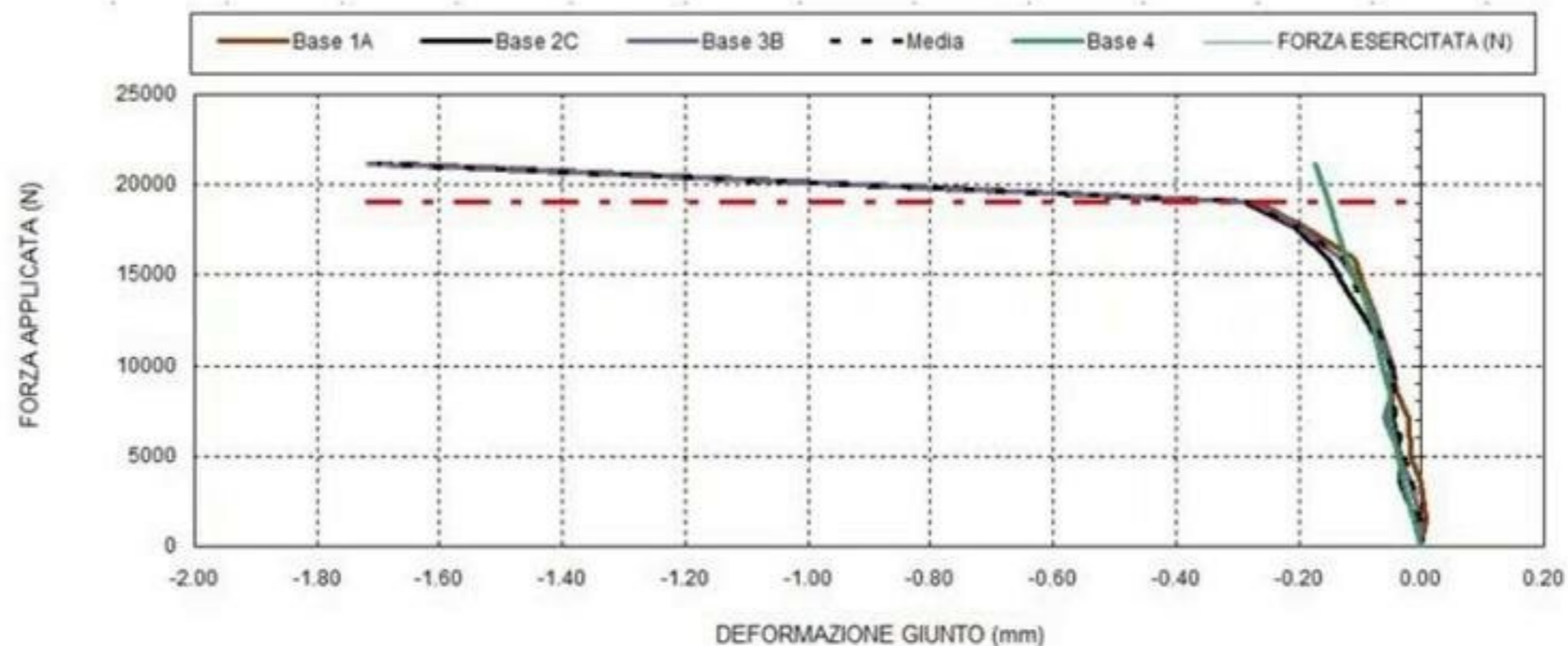
VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Risultati prova "Shear Test" zona MB2 – Parete muraria ristilata

Prova su pannello murario del piano copertura con i giunti ricostruiti con la malta ad elevata resistenza per una profondità di circa 3 cm.

Il martinetto è stato posizionato a circa 130 cm al di sotto della sommità del pannello. La forza di rottura registrata è stata 19.093 N → tensione tangenziale = 0.31 N/mm², quindi molto maggiore di quella della prova MB1.

Inoltre si vede che l'andamento della base deformometrica 4 a sinistra del martinetto (linea verde) è lineare fino a rottura ed indica che il mattone di contrasto è ben solidarizzato alla muratura a testimonianza della qualità della malta nuova.



**ROTTURA
LATO
MATTONE**

VALIDAZIONE EMPIRICA DELLA RISTILATURA

Campagna sperimentale con l'Università di Perugia **Prove a compressione diagonale**



(a)



(b)

Le prove a compressione diagonale secondo la procedura standard ASTM E 519-02 hanno confermato i risultati delle prove mediante shear test ASTM C1531

Campagna sperimentale con l'Università di Perugia **Prove a compressione diagonale su pannello rinforzato**



Pannello rinforzato con malta Rurewall T del tipo HPRM: mappa dell'andamento delle lesioni al termine della prova

Importanza della ristilatura dei giunti di malta eseguita in profondità

Doppia funzione della ristilatura:

- miglioramento della prestazioni meccaniche della muratura
- preparazione del substrato in caso si prevedano rinforzi fibrosi (FRP o FRCM)

Analogia con quanto avviene in caso si eseguano rinforzi su elementi in c.a.:

NON SI INTRODUCONO RINFORZI FRP O FRCM SU SUPERFICI IN CALCESTRUZZO CHE NON SIANO STATE RIGENERATE IN PROFONDITA'
(scarifica copriferro e riprofilatura con malta tixotropica)

Allo stesso modo **NON SI DOVREBBERO ESEGUIRE OPERE DI RINFORZO CON FRP O FRCM SU PARETI MURARIE SE PRIMA NON SONO STATI RIGENERATI I LETTI DI MALTA** (scarifica giunti e rigenerazione con nuova malta pozzolanica)

CRITERI GENERALI D'INTERVENTO SULLA MURATURA

Valutare la concezione di base dell'apparecchio murario



Valutare la concezione di base dell'apparecchio murario



CRITERI GENERALI D'INTERVENTO SULLA MURATURA

Valutare la concezione di base dell'apparecchio murario



CRITERI GENERALI D'INTERVENTO SULLA MURATURA

Dare sempre precedenza alle tecniche tradizionali volte a garantire il comportamento monolitico dei pannelli murari



CRITERI GENERALI D'INTERVENTO SULLA MURATURA

Dare sempre precedenza alle tecniche tradizionali volte a garantire il comportamento monolitico dei pannelli murari

1. RICUCITURA MURARIA



Dare sempre precedenza alle tecniche tradizionali volte a garantire il comportamento monolitico dei pannelli murari

2. RISTILATURA DEI GIUNTI DI MALTA



CRITERI GENERALI D'INTERVENTO SULLA MURATURA

Dare sempre precedenza alle tecniche tradizionali volte a garantire il comportamento monolitico dei pannelli murari

3. LASTRA ESTERNA BEN AMMORSATA NEI GIUNTI DI MALTA



CRITERI GENERALI D'INTERVENTO SULLA MURATURA

Dare sempre precedenza alle tecniche tradizionali volte a garantire il comportamento monolitico dei pannelli murari

4. RINFORZO VARCHI MURARI CON TELAIO IN C.A.



Soltanto dopo essersi assicurati di aver raggiunto la continuità dell'organismo murario si può passare ad intervenire con rinforzi di superficie

5. RINFORZO CON MATERIALI FRCM



Grazie per l'attenzione