QUADERNI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE

6: L'ACCIAIO NEGLI INTERVENTI SULLE COSTRUZIONI ESISTENTI – parte 2

INTERVENTI LOCALI MEDIANTE CERCHIATURE METALLICHE

Fondazione
Promozione Acciaio
CRESCE L'ACCIAIO, CRESCE IL PAESE.

Sommario

1) PREMESSA: GLI INTERVENTI LOCALI 3

2) CERCHIATURE METALLICHE PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVE APERTURE IN PARETI PORTANTI IN MURATURA 4

Determinazione caratteristiche meccaniche delle strutture murarie esistenti 5

Considerazioni sulla variazione di rigidezza degli interventi 6

Calcolo rigidezza maschi murari pre-intervento 7

Calcolo rigidezza maschi murari post-intervento 9

Perdita di rigidezza e scelta della cerchiatura 10

Calcolo resistenza maschi murari pre e post intervento 11

Verifica resistenza carchiatura metallica 12

3) ESEMPIO DI REALIZZAZIONE DI UN'APERTURA SU MURATURA PORTANTE 13

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI 17

CREDITS 17

1) PREMESSA: GLI INTERVENTI LOCALI

Gli interventi locali, così come definiti dalle NTC2018 [1], sono finalizzati a **ripristinare**, a seguito di danneggiamenti (dovuti ad una emergenza, ad errori progettuali, a modifiche sopravvenute alla costruzione nel corso degli anni, ecc.), le caratteristiche iniziali di singole parti e/o elementi della struttura (solitamente pannelli murari, pilastri e/o travi) danneggiati, a **migliorare** le prestazioni in termini di resistenza e/o di duttilità di elementi o sottostrutture e ad impedire l'attivazione di meccanismi locali di collasso.

Come afferma la Circolare delle NTC2018 [2], *"in tale categoria rientrano gli interventi di ripristino, rinforzo o sostituzione di elementi strutturali o di parti di essi non adeguati alla funzione che devono svolgere…OMISSIS…In particolare gli interventi di rinforzo devono privilegiare lo sviluppo di meccanismi duttili o comunque migliorare la duttilita locale, cosi da favorire lo sviluppo della duttilità di insieme della struttura"*.

I rafforzamenti locali hanno lo scopo di risolvere le carenze di capacità **senza modificare in modo sostanziale il comportamento globale dell'opera**.

Il progetto e la valutazione della sicurezza possono dunque riferirsi alle sole parti e/o elementi interessati senza dover effettuare una successiva analisi globale del manufatto dal momento che, nel complesso, le modifiche progettate e realizzate non comportano alterazioni del comportamento strutturale del manufatto.

Si ricorda che per gli interventi locali non viene quindi richiesta la valutazione della sicurezza globale dell'opera ma, nel caso di rafforzamento locale finalizzato al miglioramento del funzionamento di elementi strutturali o alla limitazione di meccanismi di collasso, è altresì richiesta la valutazione della variazione del livello locale di sicurezza.

2) CERCHIATURE METALLICHE PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVE APERTURE IN PARETI PORTANTI IN MURATURA

La realizzazione di nuove aperture o la modifica di quelle esistenti all'interno di una parete portante di muratura è uno degli interventi maggiormente diffusi sul patrimonio esistente.

L'approccio più comune consiste nel prevedere l'inserimento di una cerchiatura metallica all'interno della muratura.

La necessità di tale intervento può essere dettata da molteplici esigenze, come ad esempio un cambio di destinazione d'uso dei locali, requisiti illuminotecnici e/o impiantistici oppure interventi di frazionamento immobiliare.

Fig. 1 – Inserimento di una cerchiatura metallica all'interno di una muratura

La realizzazione e/o la modifica di aperture all'interno delle murature comportano una **variazione di rigidezza e resistenza** del paramento alle azioni orizzontali e richiedono, pertanto, una valutazione accurata degli effetti sia a livello locale sia, quando necessario, a livello dell'intera struttura ante e post operam.

Risulta dunque necessario calcolare le perdite di rigidezza e di resistenza dovute alle modifiche progettuali valutate come differenza tra i corrispondenti valori delle pareti calcolati nella situazione iniziale rispetto a quelli nella situazione finale.

NOTA: interventi parziali non coordinati possono provocare danneggiamento eccessivo delle strutture murarie, ad esempio nel caso di ristrutturazioni di diversi appartamenti all'interno di un unico condominio eseguiti in tempi differenti. A tal proposito risulta motlo utile la consultazione dell'eventuale "fascicolo del fabbricato" contenente lo storico degli interventi eseguiti nel tempo e una certificazione sullo stato della struttura.

Determinazione caratteristiche meccaniche delle strutture murarie esistenti

Le caratteristiche meccaniche della struttura muraria esistente, dei blocchi e della malta devono essere determinate prima dell'esecuzione dell'intervento rendendo così possibile la classificazione della tipologia di tessitura muraria secondo quanto, ad esempio, riportato nella Tabella C8.5.I della circolare n.9/2009 delle NTC2018.

Tabella C8.5.I -*Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:* **f** *= resistenza media a compressione,* τ_0 *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* f_{v0} *= resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),* **E** *= valore medio del modulo di elasticità normale,* **G** *= valore medio del modulo di elasticità tangenziale,* **w** *= peso specifico medio.*

Tipologia di muratura	f (N/mm²)	τ_0 (N/mm²)	f_{v0} (N/mm²)	E (N/mm²)	G (N/mm²)	w (kN/m³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es,: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione **f**può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Fig. 2 – Valori di riferimento meccanici della muratura esistente, Tabella C8.5.I – Circolare NTC2018

In questo modo è possibile effettuare la valutazione della variazione di comportamento tra la situazione ante-intervento (i.e. parete continua) e la situazione post-intervento (i.e. due distinti maschi murari).

In base al dettaglio delle informazioni ottenute dalla documentazione e dalle prove in situ, si accederà ad uno dei tre livelli di conoscenza previsti dalle NTC: LC1, LC2, LC3.

Per maggiori approfondimenti sulla caratterizzazione meccanica della muratura, si può fare riferimento al par. C8.5.3.1 della Circolare applicativa delle NTC2018.

Considerazioni sulla variazione di rigidezza degli interventi

Essendo considerati tipicamente come interventi locali, come anticipato in precedenza, le realizzazioni di nuove aperture (o modifiche) di vani in una parete in muratura prevedono una stima della variazione di rigidezza e di resistenza.

Questa indicazione viene fornita sia dalle NTC2018 al par. 8.4.1 come requisito per gli interventi locali, sia nella relativa Circolare al corrispondente paragrafo, di cui si riporta lo stralcio:

"OMISSIS…la modifica di una parte limitata della struttura (ad es. ***l'apertura di un vano in una parete, accompagnata da opportuni rinforzi****) puo rientrare in questa categoria, a condizione che si dimostri che l'insieme degli interventi* ***non modifichi significativamente rigidezza, resistenza*** *nei confronti delle azioni orizzontali e capacita di deformazione della struttura…OMISSIS*".

Tuttavia, né le NTC2018 né la relativa Circolare applicativa forniscono particolari indicazioni sul metodo della valutazione della rigidezza, lasciando al progettista l'onere di alcune scelte progettuali che possono influire in modo non trascurabile sul risultato finale.

Utili informazioni per effettuare tale valutazione si possono trovare nel parere del comitato tecnico-scientifico della Regione Toscana all'interno del documento "Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti" [3]. Di seguito si riporta il pertinente stralcio:

"OMISSIS...

1.2 Calcolo e verifica

Le indicazioni sono suggerite al punto C8.4.3. In particolare, ai fini del dimensionamento degli elementi e della parete nel suo stato di progetto, deve essere dimostrato:

- *che la rigidezza dell'elemento variato (parete) non cambi significativamente rispetto allo stato preesistente (± 15%);*

- *che 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 iniziale.*

Dovrà essere sufficientemente argomentato che tale intervento non cambia significativamente il comportamento globale della struttura.

In accordo con questo parere si può assumere che la variazione di rigidezza non è significativa se rimante entro il 15%.

Calcolo rigidezza maschi murari pre-intervento

Per il calcolo della rigidezza di una parete in muratura è necessario identificare prima di tutto i maschi murari, la loro geometria ed i vincoli, tenendo in conto la presenza di eventuali aperture.

I principali metodi di modellazione, prendendo in considerazione un singolo pannello murario, sono i seguenti:

- **Modello ad incastro-incastro**: il maschio può essere considerato come vincolato con incastro alla base e incastro scorrevole in sommità (comportamento alla Grinter). In questo caso si ipotizza che le fasce di piano (intese come le fasce orizzontali continue sopra le aperture) siano assimilabili a dei traversi rigidi a flessione (modello "shear type".

  La rigidezza del paramento può essere ottenuta facendo il rapporto fra la forza F applicata in sommità e lo spostamento δ:

$$K = \frac{F}{\delta}$$

  Dove:

$$\delta = \delta_F + \delta_T = \frac{F h^3}{12\,E\,J} + \frac{F \chi h}{G\,A}$$

  È lo spostamento dovuto al contributo flessionale (δ_F) e tagliante (δ_T).

  Si ottiene dunque la rigidezza del pannello murario:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{12\,E\,J} + \chi\,\frac{h}{G\,A}}$$

  In cui:

  h = altezza del maschio murario
  A = area sezione orizzontle del maschio murario
  J = momento di inerzia della sezione orizzontale del maschio murario
  X = fattore ditaglio (pari a 1,2 per sezioni rettangolari)
  E = modulo di elasticità del materiale
  G = modulo di elasticità tangenziale

- **Modello a mensola**: nel caso in cui le fasce di piano non siano in grado di creare un opportuno vincolo rotazionale alle estremità delle pareti, è possibile modellare i maschi murari come delle mensole incastrate alla base.

  Tenuto sempre in considerazione il contributo tagliante, la rigidezza del maschio murario K si ottiene attraverso la seguente formula:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3\,E\,J} + \chi\,\frac{h}{G\,A}}$$

Il calcolo della rigidezza di un'intera parete si ottiene attraverso la somma delle rigidezze dei singoli maschi murari, come indicato nella figura seguente:

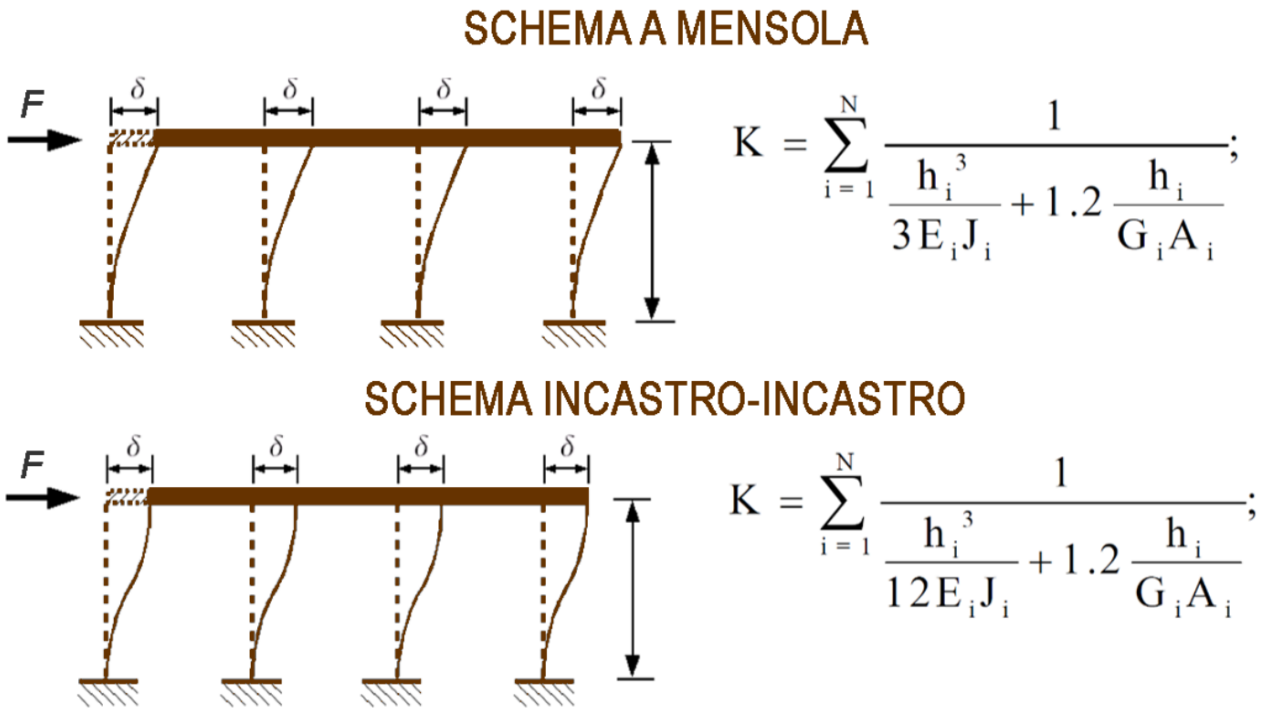

Fig. 3 – Calcolo delle rigidezze dei maschi murari di cui è composta la parete

Calcolo rigidezza maschi murari post-intervento

A seguito della modifica o creazione di nuove aperture, la configurazione della parete risulterà modificata rispetto alla condizione originaria, essendo ad esempio formata da maschi murari differenti in geometria e/o in numero e pertanto il suo comportamento globale risulterà modificato rispetto a quello originario.

Risulta necessario procedere al calcolo della rigidezza a seguito delle modifiche della nuova configurazione, in modo da confrontarla con quella iniziale.

In questo frangente, è molto importante considerare correttamente l'altezza dei maschi murari per il calcolo della rigidezza pre e post intervento.

Per la valutazione dell'altezza del pannello murario si può ricorrere a differenti metodi basati sull'ipotesi di:

- **fasce di piano non rigide** (pannelli murari con altezza pari all'altezza di interpiano)
- **fasce di piano rigide** (pannelli murari con altezza pari all'altezza delle aperture adiacenti
- **fasce di piano semirigide** (metodo proposto da Dolce, 1989. In questo caso si modella la parete come un telaio equivalente per le analisi pushover).

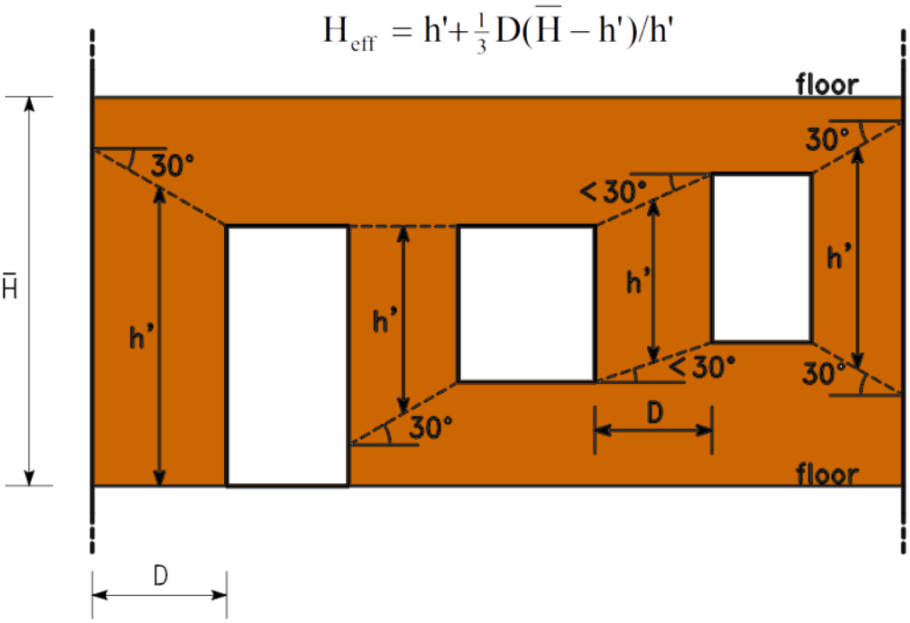

Fig. 4 – Definizione dell'altezza efficace dei maschi murari (metodo di Dolce, 1989)

NOTA: è importante che la configurazione nello stato modificato sia di fatto confrontabile con quella dello stato iniziale. Nel caso di realizzazione di un'apertura in una parete inizialmente sprovvista, ad esempio, se si considera la formazione delle fasce di piano rigide in seguito alla creazione delle aperture, considerando una nuova altezza inferiore per i maschi murari pari a quella delle nuove aperture, si rischia di incorrere in un aumento di rigidezza solo apparente.

Perdita di rigidezza e scelta della cerchiatura

Mettendo a confronto la rigidezza iniziale della muratura con quella finale, si ricava una perdita di rigidezza che dovrà essere reintegrata attraverso la l'inserimento della cerchiatura metallica:

$$K_T = K_i - K_f$$

La rigidezza richiesta alla cerchiatura può essere calcolata con la formula seguente

$$K_T = \frac{12\,E\,\sum J_p}{H^3}$$

Dove:

E = modulo elastico acciaio dei piedritti costituenti la cerchiatura

ΣJ_p = sommatoria dei momenti di inerzi dei piedritti

H = altezza piedritti

La cerchiatura è costituita da uno o più telai in acciaio collegati lungo il perimetro al paramento ed al piede al solaio di piano.

L'intelaiatura in acciaio lavora in parallelo alla muratura esistente consentendo di ripristinare la rigidezza e la resistenza originarie del maschio murario, minimizzando le variazioni di risposta strutturale tra situazione ante e post intervento.

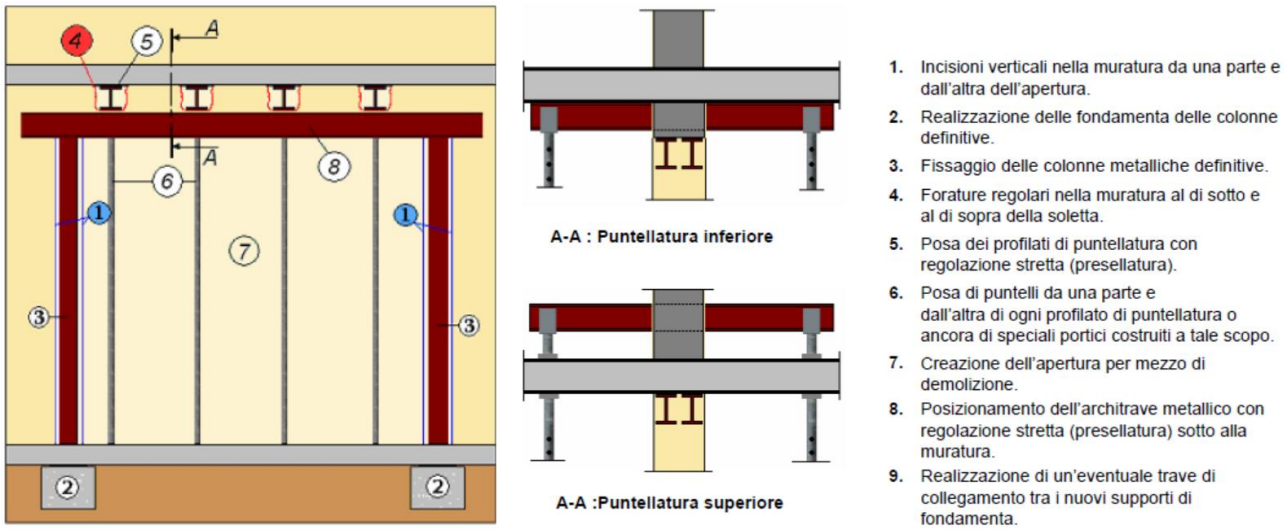

Fig.5 – Creazione di un'apertura in muratura tramite puntellatura e consolidamento

A questo punto si stabilisce il tipo e il numero di profili in acciaio per ottenere un'adeguata rigidezza flessionale in funzione dell'altezza dei piedritti.

Dai seguenti link è possibile consultare il sagomario dei profili e la reperibilità commerciale:

SAGOMARIO DEI PROFILI

SAGOMARIO COMMERCIALE - DISPONIBILITA' DEI PROFILI

Dal momento che l'intervento ricade nella classificazione di interventi di riparazione o intervento locale, occorre dimostrare che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente.

A tal proposito è possibile ricorrere all'interpretazione del Comitato Tecnico Scientifico della Regione Toscana precedentemente citato, che quantifica la variazione in una percentuale pari a +/- 15% della rigidezza iniziale della parete.

Affinchè la verifica della rigidezza possa dirsi soddisfatta, dovrà risultare che:

$$0{,}85\ K_i \leq K_f \leq\ 1{,}15\ K_i$$

Dove K_f è la rigidezza della parete post intervento considerando il contributo della cerchiatura.

Calcolo resistenza maschi murari pre e post intervento

Analogamente alla rigidezza, occorre mettere a confronto le prestazioni della parete anche in termini di resistenza pre e post intervento, in modo da valutare il contributo di rinforzo fornito dalla cerchiatura metallica.

Il calcolo della resistenza alle azioni orizzontali delle pareti può essere eseguito considerando separatamente i maschi murari e delle eventuali fasce di piano.

Per i maschi murari sarà necessario verificare i meccanismi di rottura facendo riferimento ai metodi di calcolo impiegati per le strutture in muratura, in accordo alle NTC2018, fra cui:

- crisi per pressoflessione (formula [7.8.2] – NTC 2018)
- crisi per taglio da scorrimento (formula [7.8.3] – NTC 2018)
- crisi per taglio per fessurazione diagonale (es. formula [C8.7.1.16] – Circolare 2019) .

Verifica resistenza carchiatura metallica

Una volta dimensionato opportunamente la cerchiatura al fine di ripristinare la perdita di rigidezza e di resistenza della parete, si può procedere con le verifiche di resistenza telaio in acciaio in accordo al par. 4.2 delle NTC2018.

Particolare attenzione dovrà essere prestata per le seguenti verifiche:

Verifiche di resistenza e stabilità delle membrature

- Verifica a taglio dei piedritti (4.2.4.1.2.4 – NTC2018)
- Verifica a presso-flessione dei piedritti (4.2.4.1.2.7 – NTC2018)
- Verifica a flessione e taglio del traverso (4.2.4.1.2.6 – NTC2018)

- Verifica stabilità a presso-flessione dei piedritti (4.2.4.1.3.3 – NTC2018)
- Verifica stabilità flesso-torsionale del traverso (4.2.4.1.3.2 – NTC2018)

Dai seguenti link è possibile scaricare alcuni tool di calcolo per le verifiche sopra citate:

Verifica di resistenza e di stabilità PROFILI DOPPIO T

Verifica di resistenza e di stabilità PROFILI CAVI

Verifiche dei collegamenti

- Verifica collegamento saldato piedtritto-traverso con cordoni d'angolo
- Verifica collegamento alla basedei piedritti

Dai seguenti link è possibile scaricare un tool di calcolo per le verifiche di collegamenti saldati trave-colonna:

Verifica collegamenti saldati trave-colonna

3) ESEMPIO DI REALIZZAZIONE DI UN'APERTURA SU MURATURA PORTANTE

L'esempio in seguito riportato è tratto dalla pubblicazione "L'Acciaio negli interventi strutturali su costruzioni esistenti di muratura e di calcestruzzo armato: esempi ed applicazioni" [4].

L'intervento riportato nella Scheda AC01 riguarda la realizzazione di una nuova apertura all'interno di un maschio murario portante con conseguente realizzazione di una cerchiatura metallica; l'intervento si è reso necessario a seguito di modifiche architettoniche e funzionali all'interno del manufatto.

Nel caso specifico riportato nella Scheda AC01, l'intervento prevede l'inserimento di una cerchiatura metallica costituita da un doppio telaio in acciaio con montanti e traversi IPE400. Alla base della cerchiatura sono stati inseriti dei traversi secondari, costituiti da profili HEB200, per il passaggio degli impianti. I telai sono collegati alla muratura esistente mediante pioli Nelson saldati sulle superfici laterali dei montanti, sull'estradosso dei traversi superiori e all'intradosso dei traversi di base. Il dimensionamento della cerchiatura è volto a ripristinare le caratteristiche preesistenti di rigidezza e resistenza del paramento, limitando al ±15% la variazione di rigidezza e cercando di ottenere valori di resistenza (in termini di taglio ultimo) e duttilità (in termini di spostamento ultimo) non minori dei valori originari della parete su cui si interviene. È necessario inoltre effettuare le verifiche di resistenza della carpenteria metallica in condizioni sia statiche sia sismiche, con particolare attenzione alla verifica degli ammorsamenti e del sistema di fissaggio alla muratura esistente.

Fig. 6 – Posa in opera della cerchiatura e ripristino della muratura

La scelta progettuale di impiegare un doppio telaio consente una maggiore facilità di posa in opera. Da un punto di vista operativo, si procede anzitutto con la demolizione parziale dello spessore murario seguita dall'inserimento della prima cerchiatura e dalla sua messa in forza; l'intervento si conclude con la demolizione dello spessore restante della muratura ed il posizionamento del secondo telaio. Durante la fase di demolizione della struttura muraria, è necessario prestare particolare attenzione all'eventuale insorgere di lesioni e/o fessurazioni.

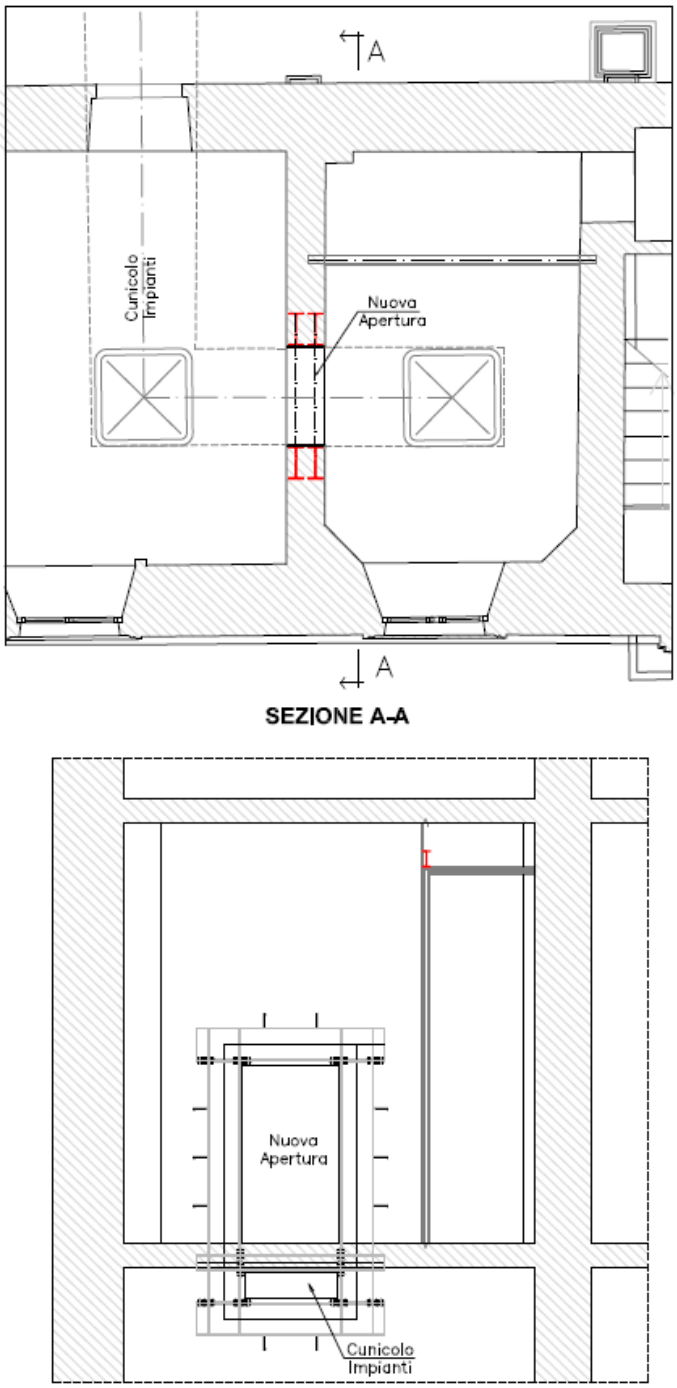

Fig. 7 – Localizzazione intervento

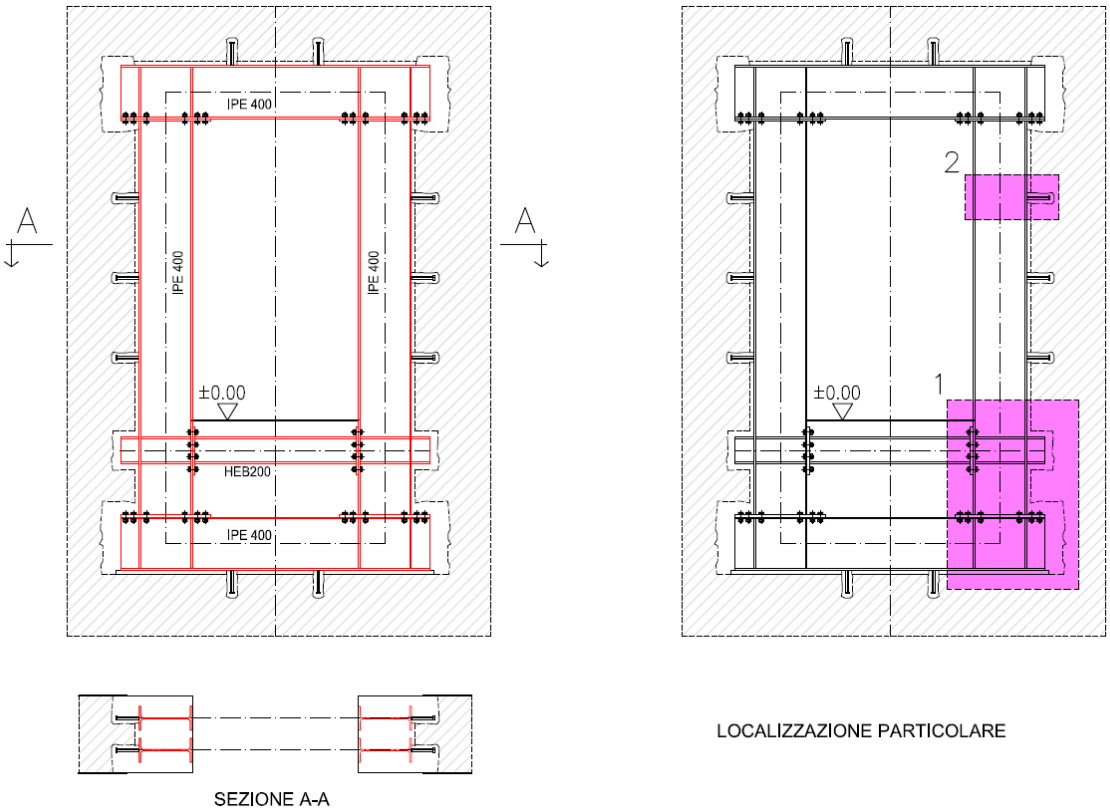

Fig. 8 – Inserimento della cerchiatura metallica nella muratura

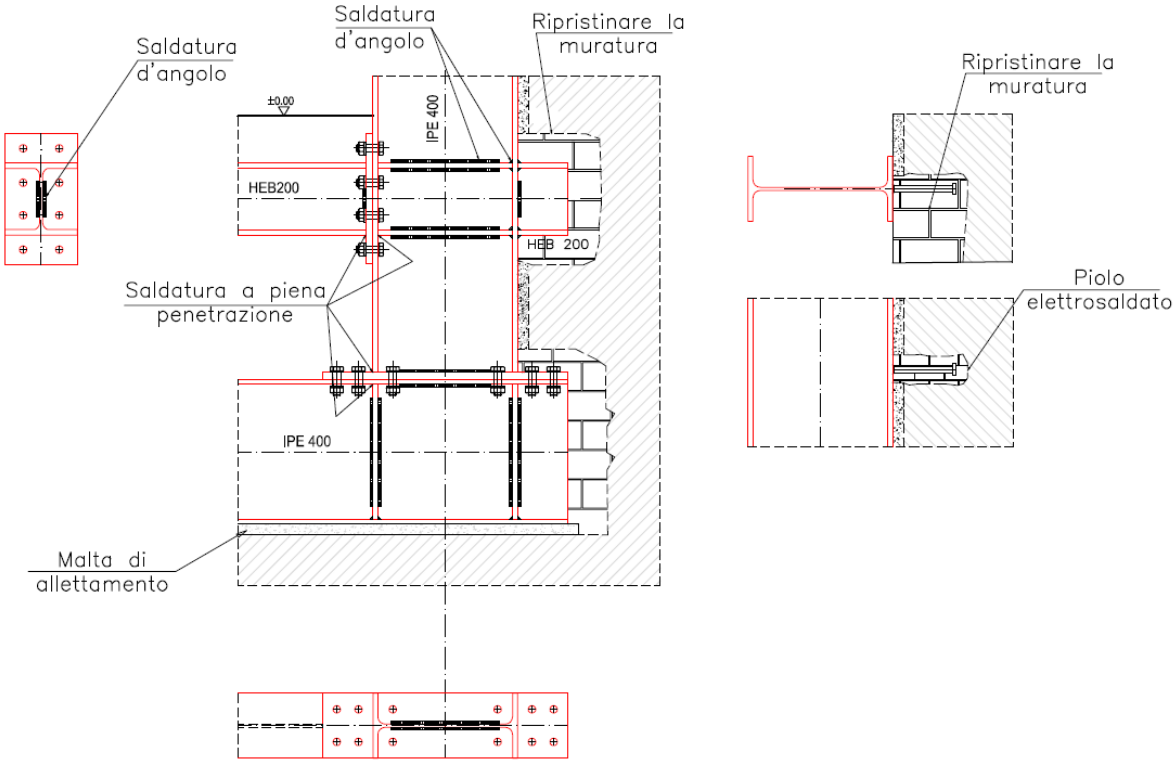

Fig. 9 – Dettagli costruttivi cerchiatura metallica

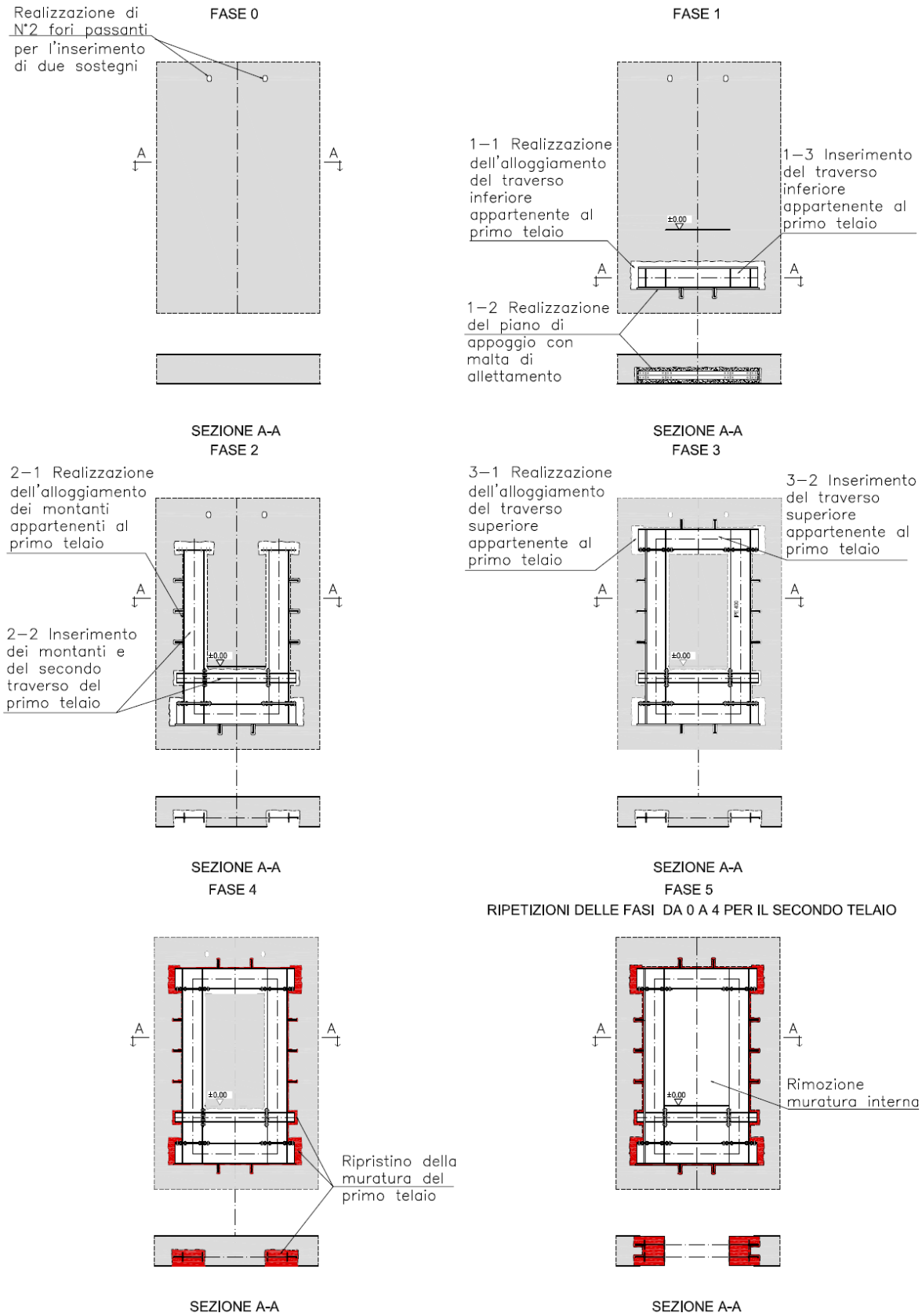

Fig. 10 – Schema indicativo montaggio delle cerchiature

RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

[1] D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;

[2] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;

[3] D.G.R. n. 606 del 21/06/10 – Comitato tecnico scientifico in materia di rischio sismico – Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti – Regione Toscana;

[4] F. V. Lippi, F. Mangini, W. Salvatore, S. Caprili
L'ACCIAIO NEGLI INTERVENTI STRUTTURALI SU COSTRUZIONI ESISTENTI DI MURATURA E CEMENTO ARMATO: ESEMPI ED APPLICAZIONI
Fondazione Promozione Acciaio - Dario Flaccovio Editore

CREDITS

- Fig. 1/6/7/8/9/10 – F. V. Lippi, F. Mangini, W. Salvatore, S. Caprili
  L'ACCIAIO NEGLI INTERVENTI STRUTTURALI SU COSTRUZIONI ESISTENTI DI MURATURA E CEMENTO ARMATO: ESEMPI ED APPLICAZIONI
  Fondazione Promozione Acciaio - Dario Flaccovio Editore;

- Fig. 2 – Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, Tabella C8.5.1;

- Fig. 3/4 – Ufficio Tecnico Fondazione Promozione Acciaio

- Fig. 5 – Constructalia – ArcelorMittal;

- Copertina: Università degli studi di Firenze, PROGETTO: Prof. Arch. Alberto Breschi

Redazione e pubblicazione: Marzo 2022
Documento a cura di Fondazione Promozione Acciaio - Tutti i diritti riservati.

Immagini e disegni salvo diversamente specificato sono di proprietà esclusiva di Fondazione Promozione Acciaio, ogni riproduzione parziale o totale è esplicitamente vietata.