

Prodotti e soluzioni di acciaio per il rafforzamento locale e miglioramento sismico di costruzioni esistenti

Steel solutions for the local strengthening and global seismic retrofit of existing buildings

Silvia Caprili¹, Francesco V. Lippi², Francesco Morelli³, Walter Salvatore⁴ ■

Sommario

Gli edifici esistenti in Italia rappresentano la maggior parte del patrimonio edilizio, con caratteristiche notevolmente diverse in relazione alla tipologia ed allo schema strutturale impiegato, alle attività che in essi si svolgono, ai materiali impiegati ed all'attuale stato di conservazione. I recenti e passati eventi sismici (ad esempio Emilia-Romagna 2012, L'Aquila 2009, Umbria - Marche 1997) hanno evidenziato l'elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio esistente, nonché la necessità di individuare strategie di intervento per l'adeguamento, il miglioramento o il rafforzamento sismico dei fabbricati (o di porzioni di essi) caratterizzate da una elevata versatilità, facilità di applicazione, reversibilità e, laddove possibile, economicità. In tale contesto, l'applicazione di sistemi di rafforzamento/consolidamento strutturale in acciaio si presenta come una soluzione ottimizzata e performante in grado di fondere le eccellenti prestazioni meccaniche del materiale, in resistenza e duttilità, con la capacità di adempiere alle attuali richieste normative per gli edifici in zona sismica mediante sistemi semplici e facilmente applicabili e installabili.

Parole chiave: Sistemi in acciaio, edifici esistenti, miglioramento sismico globale, rafforzamento locale.

Abstract

Existing buildings represent, nowadays, the majority of the national cultural heritage, characterized by different structural typologies, different materials adopted (masonry, reinforced concrete, wood and others), different maintenance conditions and designed to house different activities. Recent and past seismic events (for example, Emilia-Romagna 2012, L'Aquila 2009, Umbria-Marche 1997) evidenced the high vulnerability of existing buildings and the necessity to individuate retrofit techniques for the structures (or portions of them) able to provide easiness in the application, reversibility and, if possible, reduced costs of installation.

In this context, the adoption of local/global steel systems for the retrofit of existing constructions represents an optimized and performing solution able to join the excellent mechanical characteristics of the material (in terms of ductility and strength) with the ability to satisfy the prescriptions of actual technical standards for buildings located in high seismic regions with simple and easy-installation systems.

Keywords: Steel systems, existing buildings, global seismic retrofit, local strengthening.

1. Introduzione

La riduzione del rischio connesso alla vulnerabilità del costruito è attualmente una priorità da affrontare con grande attenzione e urgenza da parte delle Amministrazioni, degli Enti gestori e degli operatori del settore delle costruzioni. Le costruzioni esistenti presentano ciascuna problemi peculiari che dipendono dal loro carattere (edifici storici, strategici, rilevanti, impianti industriali, ecc.), dalle caratteristiche del materiale (muratura, calcestruzzo armato, legno), dalla tipologia e

dallo schema strutturale, dalle trasformazioni che hanno subito nel corso degli anni e dal loro stesso stato di conservazione, cosicché un approccio unitario al loro rafforzamento/miglioramento risulta particolarmente complesso, se non talvolta persino impossibile. Al fine di garantire adeguati livelli di sicurezza e sufficiente efficienza e versatilità costruttiva, occorre definire regole progettuali chiare e soluzioni strutturali efficaci per le diverse tipologie strutturali e per le corrispondenti categorie di problemi.

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale, Università di Pisa - ✉ silvia.caprili@ing.unipi.it

² Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale, Università di Pisa - ✉ francesco.lippi@ing.unipi.it

³ Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale, Università di Pisa - ✉ francesco.morelli@dic.unipi.it

⁴ Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale, Università di Pisa - ✉ walter@ing.unipi.it

L'individuazione delle ottimali strategie di intervento da applicare ad un edificio esistente che non soddisfa gli attuali requisiti di sicurezza previsti dalla normativa non può prescindere dalla definizione di livelli prestazionali associati a diversi valori della domanda sismica e da un'accurata analisi della capacità della struttura. Una possibile metodologia, ad esempio, individua, da un lato, i diversi livelli di prestazione strutturale associati ai vari stati limite (domanda sismica) e dall'altro le vulnerabilità (puntuali, locali o globali) di cui può soffrire la struttura in esame, necessarie a definire la capacità dell'edificio. Dal paragone tra domanda e capacità, espresse nei termini più opportuni per rappresentare il livello prestazionale, discende la strategia di intervento da applicare in relazione alle diverse necessità.

Le possibili soluzioni da applicare per ridurre la vulnerabilità della costruzione ed ottenere pertanto una capacità in grado di soddisfare la domanda per i diversi livelli di prestazione e stati limite variano fortemente a seconda della peculiarità della costruzione ed in relazione al materiale prescelto per l'esecuzione dell'intervento. Effettuare una disanima ed una valutazione critica completa, esauriente e di carattere generale sulla tecnica da adottare risulta di fatto impossibile; è necessario pertanto che il tecnico incaricato, a seconda del problema specifico da risolvere, individui la tecnica di intervento ottimale in termini di sicurezza, durabilità, semplicità e costi.

Nel seguito sono illustrate ed analizzate criticamente le tecniche di intervento realizzabili utilizzando opportunamente prodotti e strutture di acciaio, particolarmente efficaci e competitive sia per le elevate prestazioni meccaniche sia per le caratteristiche di prefabbricabilità, leggerezza e reversibilità.

2. Le soluzioni di acciaio per il rafforzamento ed il miglioramento di costruzioni esistenti

L'acciaio, come noto, è un materiale dalle eccellenti prestazioni meccaniche sia in termini di resistenza sia in termini di duttilità, capace di soddisfare con facilità le richieste normative per le costruzioni in zona sismica nei diversi impieghi possibili. Esso dimostra eccellenti livelli di duttilità anche quando soggetto ad azioni oligo-cicliche (sismiche); a titolo di esempio, nella Figura 1a sono riportati i risultati di prove a fatica oligo-ciclica effettuate su barre di acciaio da calcestruzzo armato tipo B450C, espressi in termini di sforzo assiale in funzione della deformazione assiale corrispondente (Braconi et al., 2012a, Apostolopoulos et al. 2014). L'ottima capacità duttile della barra sotto carico ciclico è evidenziata dall'elevato numero di cicli eseguiti e dalla elevata densità di energia dissipata prima che sopraggiunga la rottura. Risultati analoghi sono ovviamente ottenibili anche con acciai da carpenteria metallica.

Grazie all'elevata capacità di dissipazione isteretica, inoltre, è possibile utilizzare elementi di acciaio per la realizzazione di sistemi di protezione passiva. A tal proposito, nel caso in cui sia richiesto un intervento, locale o globale, caratterizzato da una bassa resistenza ma da una elevata duttilità, onde evitare l'utilizzo di sezioni troppo ridotte degli elementi di rinforzo, è possibile impiegare apposite qualità di acciaio. In Figura 1b è riportata la curva tensione-deformazione di un elemento realizzato con una qualità di acciaio generalmente impiegata per le lamiere delle automobili, sottoposto ad una storia di carico ciclica (Braconi et al., 2012b) e lateralmente vincolato per evitare possibili fenomeni di instabilità in fase di compressione. Dall'analisi della Figura 1b si può apprezzare la stabilità dei

Figura 1
Prova di fatica oligo-ciclica:
a) su barre in acciaio per calcestruzzo armato, sollecitate a deformazione assiale massima rispettivamente pari a 2.5% e 4.0%, b) sul provino in acciaio di Figura 2.

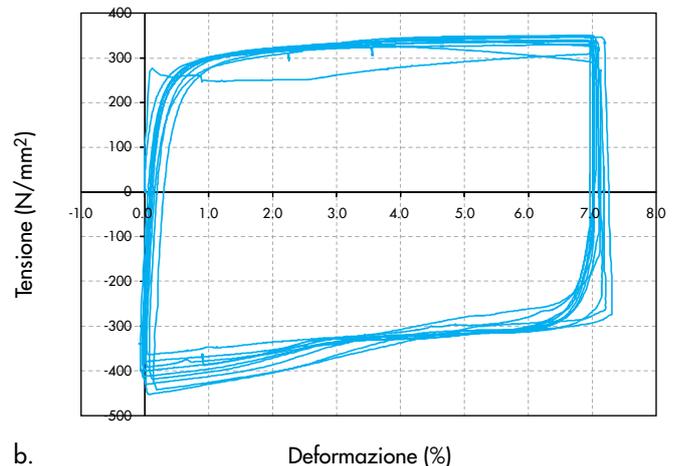
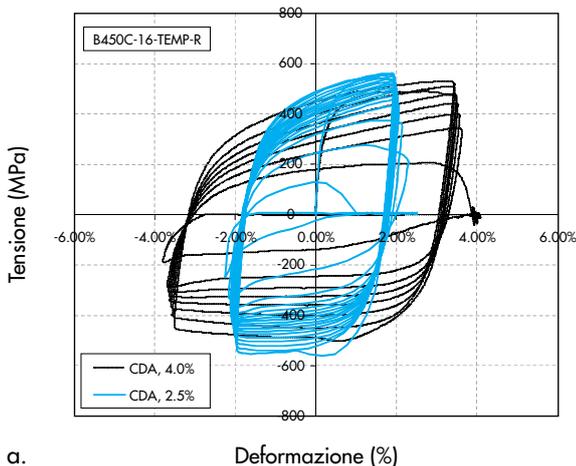




Figura 2
Provino in acciaio dotato di un sistema di stabilizzazione laterale.

cicli isteretici dell'acciaio per elevati valori della deformazione imposta e del numero di cicli.

Alle prestazioni meccaniche del materiale si associano le proprietà di leggerezza (elevato rapporto resistenza-peso), di reversibilità (le strutture di acciaio sono facilmente modificabili, migliorabili, smontabili), di prefabbricabilità (è possibile eseguire gran parte delle lavorazioni in officina) ed anche di sostenibilità (l'acciaio è riciclabile sino al 95%), le quali consentono la realizzazione di soluzioni strutturali particolarmente competitive.

La scelta della soluzione ottimale per uno specifico problema di vulnerabilità puntuale/locale/globale deve infatti coinvolgere aspetti strutturali (capacità degli elementi strutturali, compatibilità col sistema strutturale esistente), aspetti tecnici (reversibilità, durabilità, estetica, funzionalità, sostenibilità, disponibilità del materiale, qualità del materiale, supporto tecnico/normativo) e aspetti economici (costi di fabbricazione, trasporto, montaggio, manutenzione).

Nel seguito si illustrano le peculiarità di alcuni dei possibili impieghi delle soluzioni di acciaio per la realizzazione di interventi su costruzioni

esistenti, differenziandole, ovviamente, a seconda della costruzione su cui intervenire (muratura, calcestruzzo armato) e del livello di vulnerabilità di cui essa soffre, puntuale/locale/globale.

2.1 Interventi di rafforzamento locale

Nel caso di carenze puntuali o locali, come ad esempio nei casi di danneggiamento locale a taglio riportati in Figura 3 per edifici di calcestruzzo armato, generalmente si effettuano interventi di *rafforzamento locale*.

La Tabella 1 riassume schematicamente le più ricorrenti fonti di vulnerabilità per edifici in c.a. e in muratura, solitamente riconducibili ad uno dei tre *sotto-sistemi strutturali*: solai e copertura, sistema resistente alle azioni verticali (pilastri e travi in c.a., pareti verticali in muratura) e sistema di fondazione.

Le soluzioni di acciaio sono particolarmente efficaci e versatili per la realizzazione degli interventi di rafforzamento locale di solai e travi e colonne in c.a., prestandosi tuttavia ugualmente bene anche per l'applicazione ad elementi in muratura, come brevemente illustrato negli esempi applicativi di seguito riportati.

Figura 3
Danneggiamento locale a taglio di pilastri e nodi in strutture in c.a. (danni terremoto L'Aquila, 2009).

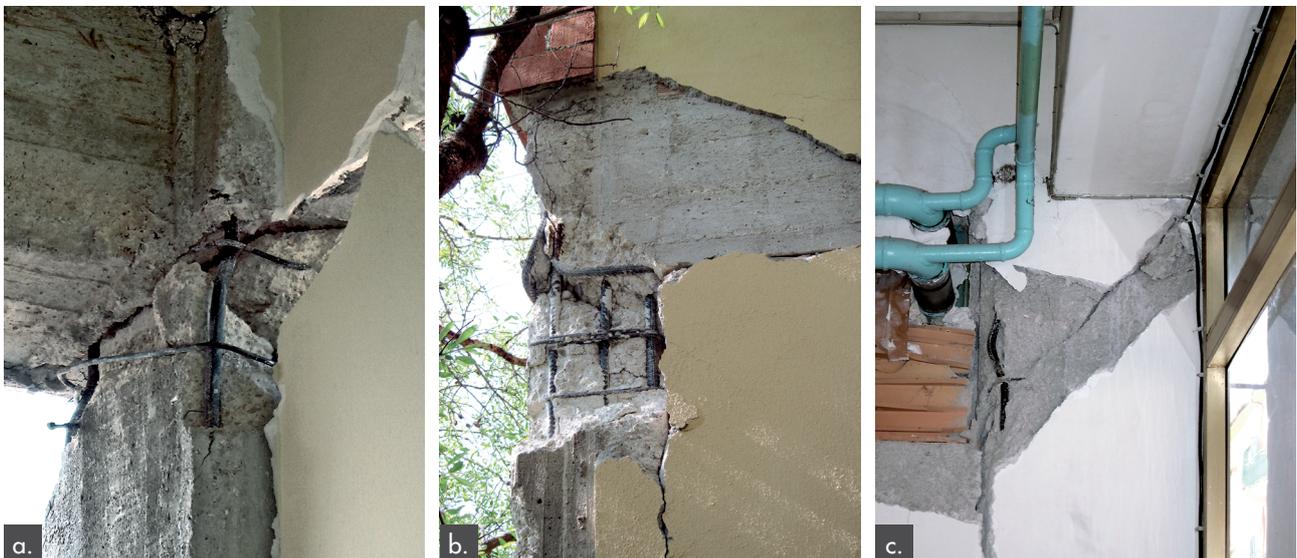


Tabella 1 - Tipici elementi di vulnerabilità locale per edifici di calcestruzzo armato e muratura

Sotto-sistema strutturale	Tipologia Strutturale	Principali fonti di vulnerabilità
Solai e copertura	Cemento Armato, Muratura	Eccessiva deformabilità; Mancanza di continuità (ad es. causata dalla presenza di piani ammezzati, o diaframmi interrotti da giunti di espansione); Presenza di larghe aperture (vani scala, etc.); Forti irregolarità in pianta.
	Muratura	Scarsa qualità dei materiali; Spessore insufficiente delle pareti; Presenza di ampie aperture, specialmente se disposte in maniera irregolare; Connessione muro-solaio insufficiente; Forti irregolarità in pianta o in elevato.
Sistema resistente ai carichi verticali	Cemento armato	Armature longitudinali o lunghezza di sovrapposizione insufficienti; Passo eccessivo dell'armatura trasversale; Insufficiente lunghezza di ancoraggio; Nodi non confinati o non sufficientemente armati, eccessiva eccentricità dei nodi; Forti irregolarità in pianta o in elevato.
	Cemento Armato, Muratura	Resistenza insufficiente a flessione o taglio degli elementi di fondazione; Resistenza assiale insufficiente dei pali (nel caso di fondazioni profonde); Inadeguate dimensioni della fondazione su terreni scarsamente resistenti con conseguenti cedimenti o rotazioni eccessive.

2.1.1 Interventi di rafforzamento locale su strutture in calcestruzzo armato

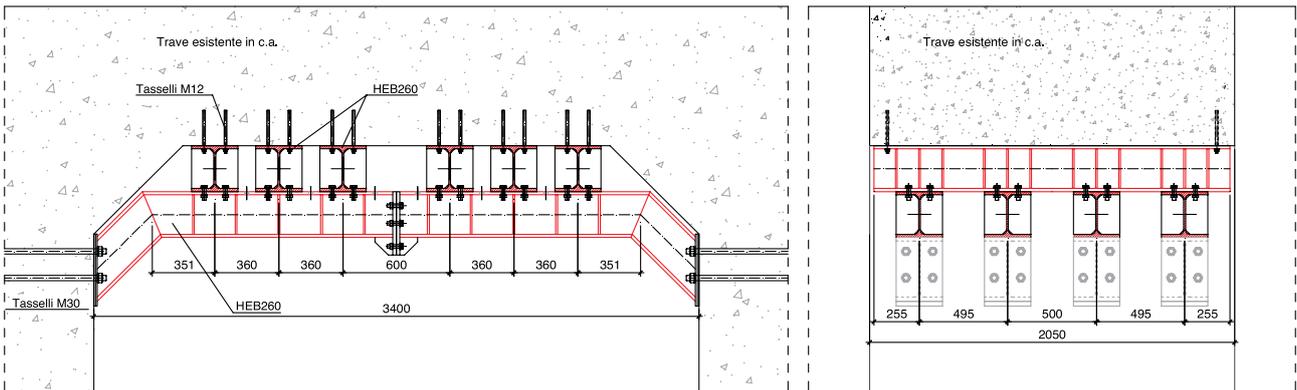
Rinforzo di travi in calcestruzzo armato mediante profilati metallici

Nelle strutture in calcestruzzo armato del secondo dopoguerra, le travi presentavano frequentemente ringrossi in corrispondenza del collegamento con le colonne, al fine di aumentare l'altezza della sezione resistente. Nel caso in cui risulti necessario un intervento di rinforzo strutturale, l'adozione di una trave rettilinea di sostegno all'intradosso della trave esistente in c.a. può essere problematica, soprattutto per quanto riguarda le operazioni di messa in opera; in alternativa è possibile pertanto utilizzare una o più travi in acciaio disposte "ad arco" e cioè caratterizzate da asse non rettilineo, come schematicamente riportato in Figura 4.

Nell'esempio riportato, le travi ad arco sostengono una serie di traversi metallici posti a diretto contatto con il calcestruzzo e aventi la funzione di trasferire i carichi verticali dalla trave in c.a. alle colonne. La connessione tra i traversi e l'intradosso della trave esistente in c.a. avviene mediante tasselli chimici appositamente dimensionati per costituire un efficace vincolo agli spostamenti orizzontali fuori piano delle sottostanti travi "ad arco", con conseguente effetto stabilizzante. Le travi ad arco sono a loro volta collegate alle facce interne delle colonne mediante l'impiego di tasselli chimici.

Le connessioni di estremità, grazie alla geometria non rettilinea, risultano soggette a sforzi di taglio e compressione e sono pertanto in grado di minimizzare le sollecitazioni di trazione nei tasselli di ancoraggio, migliorandone la capa-

Figura 4
Vista laterale dell'intervento di sostegno delle travi.



cità portante a taglio. Anche in questo caso, la messa in opera del sistema di rinforzo richiede l'esecuzione di una serie preliminare di operazioni sulle strutture esistenti in calcestruzzo, quali la rimozione ed il ripristino del copriferro ammalorato, il ripristino (ove necessario) delle armature e l'esecuzione di fori per il posizionamento dei tasselli chimici di ancoraggio.

Rinforzo di colonne in calcestruzzo armato mediante calastrellatura

Uno degli approcci più efficaci per il rafforzamento locale di colonne in c.a. soggette prevalentemente a sforzo normale consiste nel cerchiaggio mediante elementi in carpenteria metallica. Il cerchiaggio ha la funzione di aumentare significativamente il confinamento laterale del calcestruzzo, ottenendo un corrispondente aumento della resistenza a compressione della sezione trasversale e della capacità deformativa.

Nell'esempio riportato in Figura 5, il cerchiaggio è ottenuto mediante il posizionamento di angolari e piastre in acciaio, che costituiscono di fatto una colonna composta calastrellata. L'intervento prevede la rimozione preliminare delle parti di calcestruzzo ammalorate ed il successivo posizionamento di angolari e piastre, rese solidali mediante saldature a cordone in opera; prima di eseguire la saldatura tra gli angolari e i calastrelli, questi ultimi sono generalmente scaldati in maniera tale che la loro successiva "contrazione" migliori il contatto tra acciaio e calcestruzzo migliorando l'effetto di confinamento.

Prima di eseguire l'intervento di rafforzamento

sopra descritto, è necessario eseguire una serie di operazioni preliminari sulla struttura esistente in calcestruzzo, quali la rimozione e il successivo ripristino del copriferro ammalorato, il ripristino (ove necessario) delle armature nonché l'esecuzione dei fori per l'inserimento dei tasselli chimici di ancoraggio (quando richiesti).

Rinforzo di una soletta nervata in calcestruzzo armato

Nelle costruzioni industriali si adottano frequentemente orizzontamenti in c.a. con soletta nervata, i quali devono essere in grado di sostenere carichi di esercizio di elevata intensità. Nel caso in cui lo stato di ammaloramento delle strutture orizzontali sia particolarmente grave ed esteso può essere effettuato un intervento di rafforzamento globale dell'impalcato, consistente sia nel rinforzo delle solette di impalcato sia da quello delle nervature, come nell'esempio riportato in Figura 6 e in Figura 7.

In tali figure, l'intervento eseguito sulle solette consiste nella realizzazione di un graticcio di travi, costituite da doppi profili UPN, necessarie per riportare i carichi verticali in fondazione attraverso i setti perimetrali in c.a. Le travi sono vincolate mediante bullonatura ai profili UPN di estremità, a loro volta fissati ai setti verticali portanti mediante tasselli chimici.

L'intervento di sostegno delle solette consente pertanto di trasferire i carichi di esercizio dalle nervature alle nuove travi in acciaio. Le nervature, a loro volta, sono rinforzate mediante due travi parallele in acciaio composte-saldate con

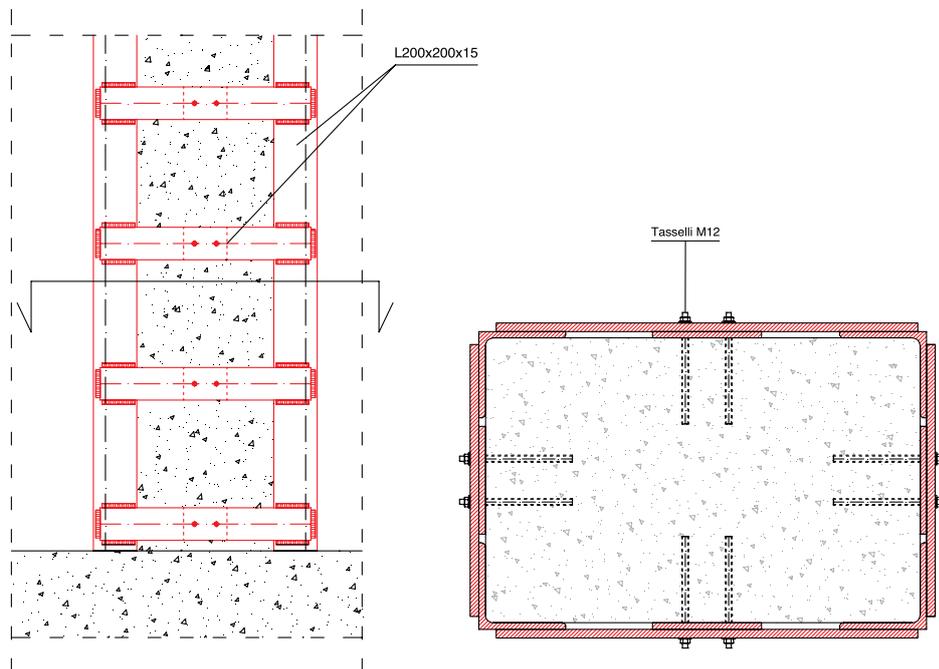


Figura 5
Sezione tipo e vista laterale dell'intervento di calastrellatura.

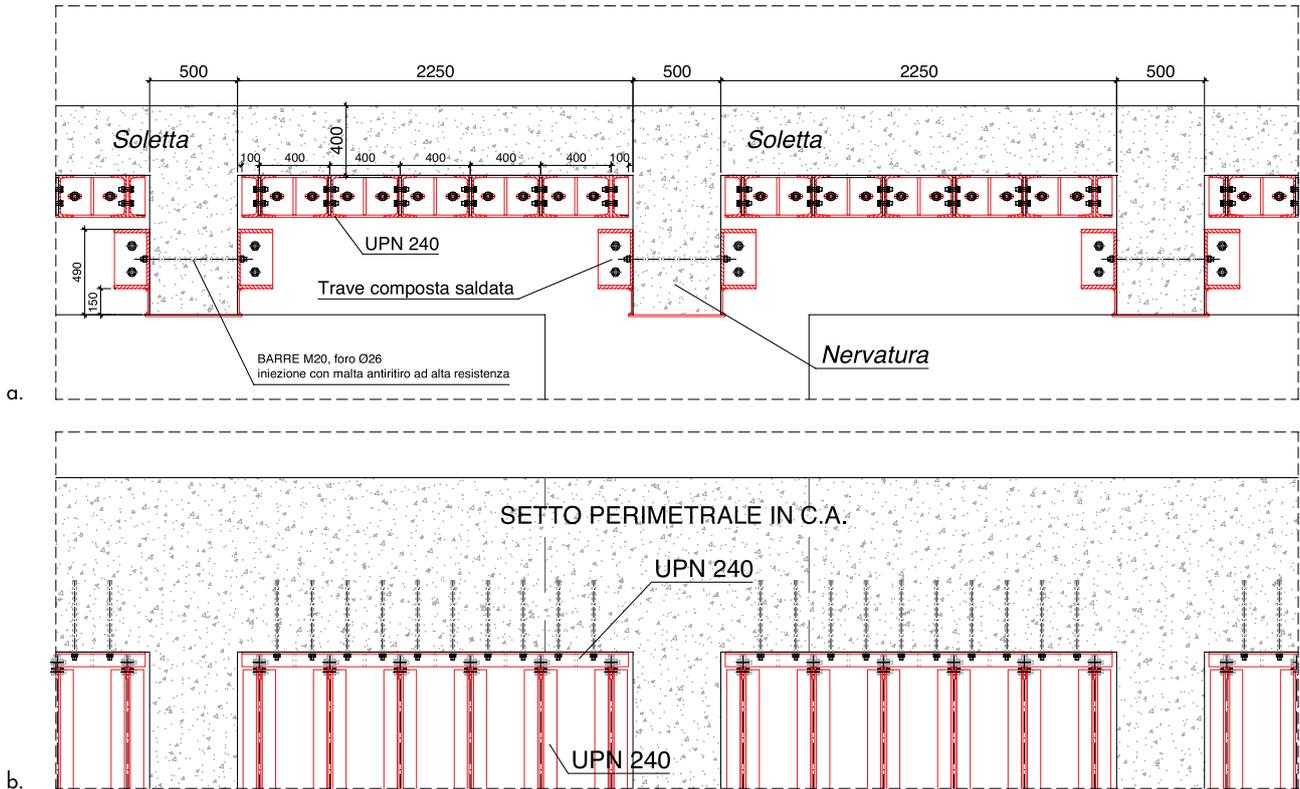


Figura 6
a) Sezione trasversale dell'intervento di rinforzo di soletta e nervature, b) pianta dell'intervento di sostegno delle solette.

sezione a "C", serrate alla nervature mediante barre filettate, come visibile in Figura 7.

La nervatura è quindi "fasciata" con piatti in acciaio posizionati all'intradosso e saldati in opera alle nuove travi di sostegno. Per entrambi gli interventi di rinforzo su soletta e nervature, è necessario eseguire la rimozione e ripristino del copriferro ammalorato, l'eventuale ripristino delle armature e l'esecuzione dei fori passanti di alloggiamento delle barre filettate, successivamente iniettati con malta ad alta resistenza.

2.1.2 Interventi di rafforzamento locale su edifici in muratura

Realizzazione di un nuovo solaio piano in acciaio in un edificio esistente in muratura

Analogamente a quanto descritto per gli edifici in c.a., anche negli edifici esistenti in muratura si riscontrano frequentemente problemi strutturali degli orizzontamenti, legati per lo più a variazioni dei carichi rispetto a quelli originari di progetto o a modifiche della conformazione del fabbricato ed all'organizzazione degli spazi, in relazione ai quali si richiedono interventi di sostituzione, rafforzamento o aumento della capacità portante e deformativa del solaio.

In Figura 8 si riporta, a titolo esemplificativo, il progetto di un intervento di rifacimento di due solai all'interno di un edificio storico, intervento resosi necessario a seguito delle operazioni di riqualificazione architettonico-funzionale dell'im-

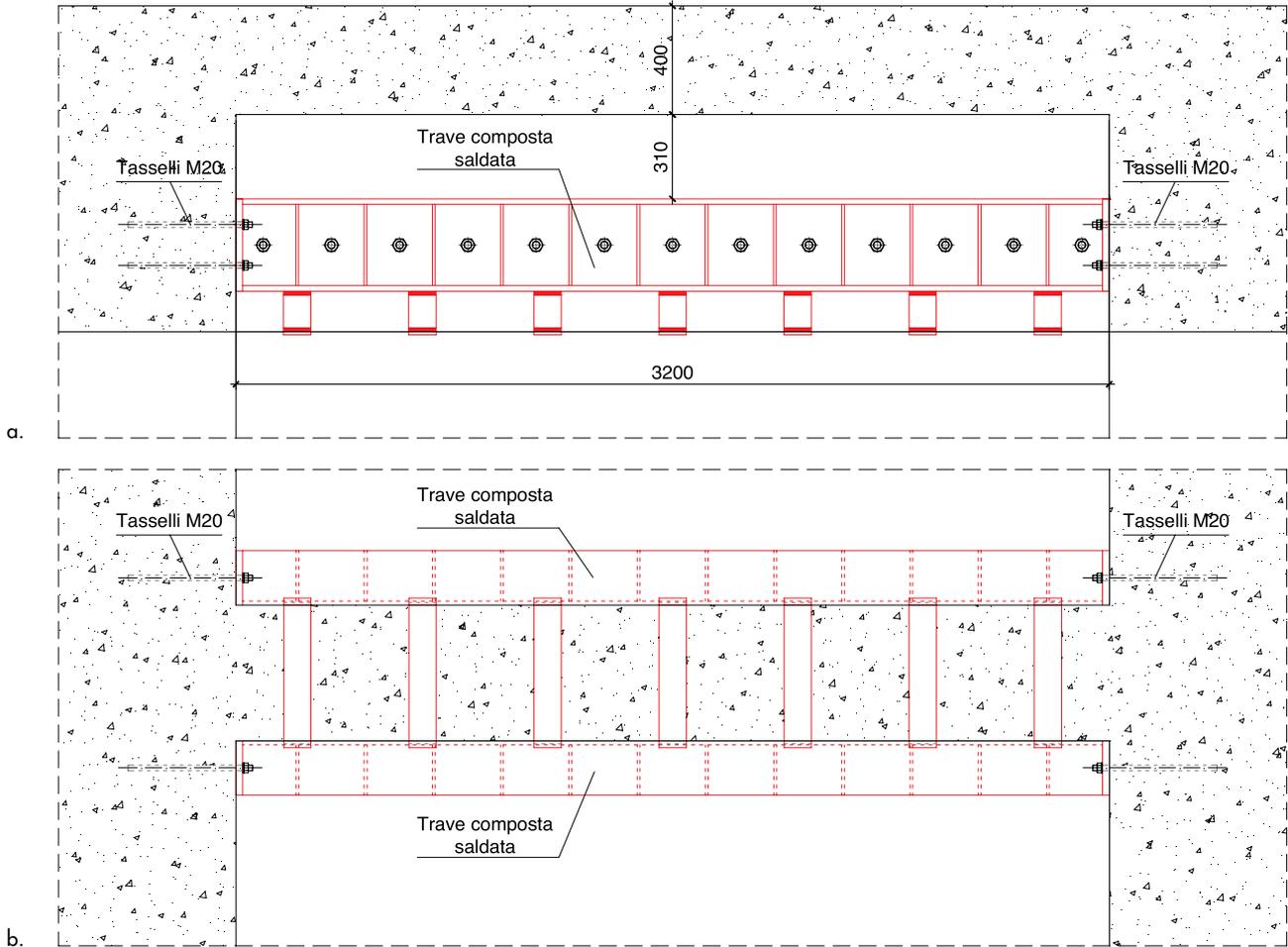
mobile, con sostituzione dell'attuale scala di collegamento tra i vari piani e la necessità di realizzazione di nuovi orizzontamenti, non essendo conveniente il consolidamento e la modifica di quelli esistenti.

Per i due nuovi solai è stata adottata la solita soluzione progettuale e la medesima disposizione degli elementi resistenti; ovviamente, la variazione delle dimensioni dei locali in relazione ai restringimenti e alla inclinazione variabile delle pareti conduce a lievi differenze tra gli interassi delle travi principali rompitratta.

La struttura dei nuovi solai prevede quindi travi principali e secondarie costituite da profili HE e sovrastante lamiera grecata con soletta in calcestruzzo alleggerito non collaborante (tipo Hi-Bond A55/P600) di spessore 30 mm armata con rete elettrosaldata $\phi 5$ a passo 15 cm.

Le travi principali sono posizionate parallelamente al lato corto dei locali; gli elementi rompitratta, costituiti da profili tipo HEA140, sono stati disposti ortogonalmente a queste con un interasse variabile tra 65 e 100 cm in relazione al locale considerato, come schematicamente riportato in Figura 8.

Al fine di non irrigidire eccessivamente la zona oggetto di intervento, modificando di conseguenza il comportamento della struttura rispetto alla condizione attuale pre-intervento, si è scelto di non posizionare un cordolo in acciaio continuo lungo tutto il perimetro dei locali in cui si agisce.



Con le stesse finalità si è adottata una soletta in calcestruzzo alleggerito di spessore inferiore a quello suggerito da normativa per la realizzazione di un solaio con comportamento rigido nel piano. L'appoggio delle travi principali alle pareti portati è stato realizzato mediante piastre metalliche rigide di dimensioni e spessore adeguati a garantire una uniforme redistribuzione del carico dovuto al solaio sulle strutture murarie, con valori massimi delle tensioni totali inferiori a quelli ammissibili in relazione alla tipologia di muratura presente. In corrispondenza dei lati "corti" dei locali sono stati posizionati due profili continui tipo UPN200, collegati alla muratura mediante l'impiego barre metalliche ancorate con resine, a cui sono stati direttamente giuntati i rompitratta, come schematicamente riportato in Figura 8.

Rinforzo di una parete in muratura in falso

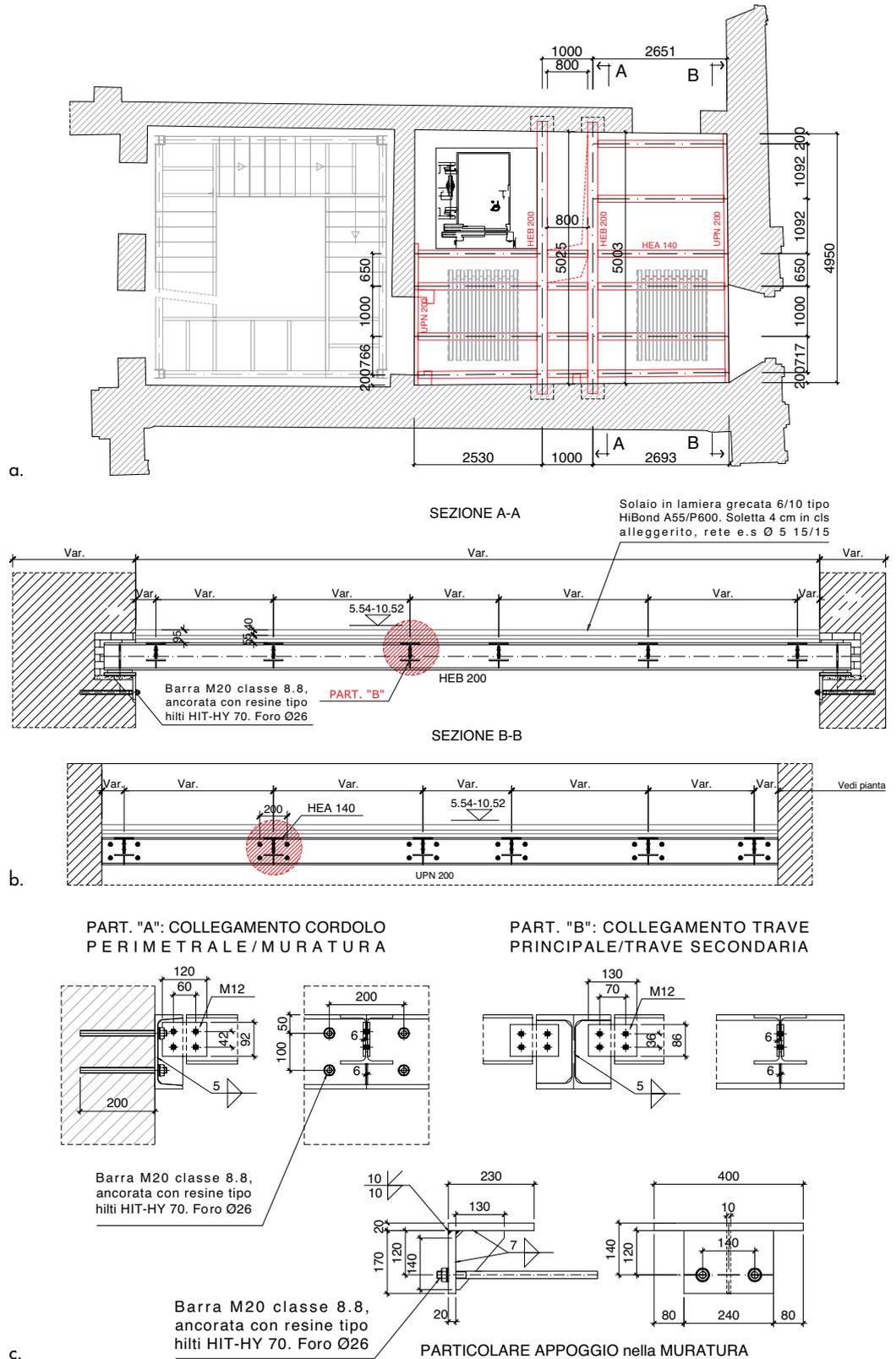
In alcuni edifici storici, frutto di trasformazioni successive, ampliamenti, sopraelevazioni, modifiche dei carichi e delle destinazioni d'uso, possono riscontrarsi situazioni particolarmente gravose e pericolose soprattutto in presenza di azioni orizzontali, quali, ad esempio, la presen-

za di elementi verticali in falso direttamente appoggiati su orizzontamenti piani o voltati.

Nell'esempio sotto riportato, al fine di evitare lo scarico diretto di una parete in muratura in falso sulla sottostante volta in laterizio, è stata predisposta l'installazione di un profilo metallico (tipo HE) in grado di sostenere la parete sovrastante e ricondurre il peso sulle pareti ortogonali esterne (Figura 9). In aggiunta al corretto dimensionamento del profilo metallico portante, che deve essere dotato, oltre che di idonea resistenza anche di adeguata rigidità per contenere il cedimento verticale della parete, è necessario un approfondito studio delle fasi di montaggio e installazione del sistema di rinforzo, schematicamente indicate in Figura 9. Considerando la natura disomogenea delle pareti esistenti in muratura ed il conseguente rischio di disgregazione della stessa durante la messa in opera della trave rompitratta, è stata progettata anche una struttura temporanea di sostegno della parete medesima costituita da una serie di traversine metalliche a distanza di circa 50-70 cm l'una dall'altra appoggiate a due travature reticolari affiancate alla parete in falso e che ne permettono il sostegno durante le fasi di taglio e inserimento del

Figura 7
a) Vista laterale dell'intervento di sostegno delle nervature,
b) vista inferiore dell'intervento di sostegno delle nervature.

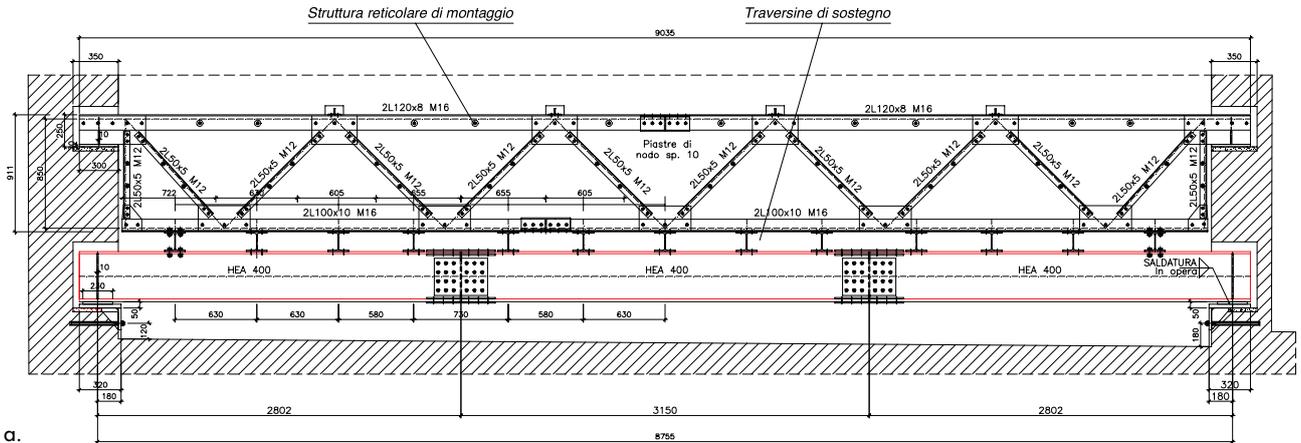
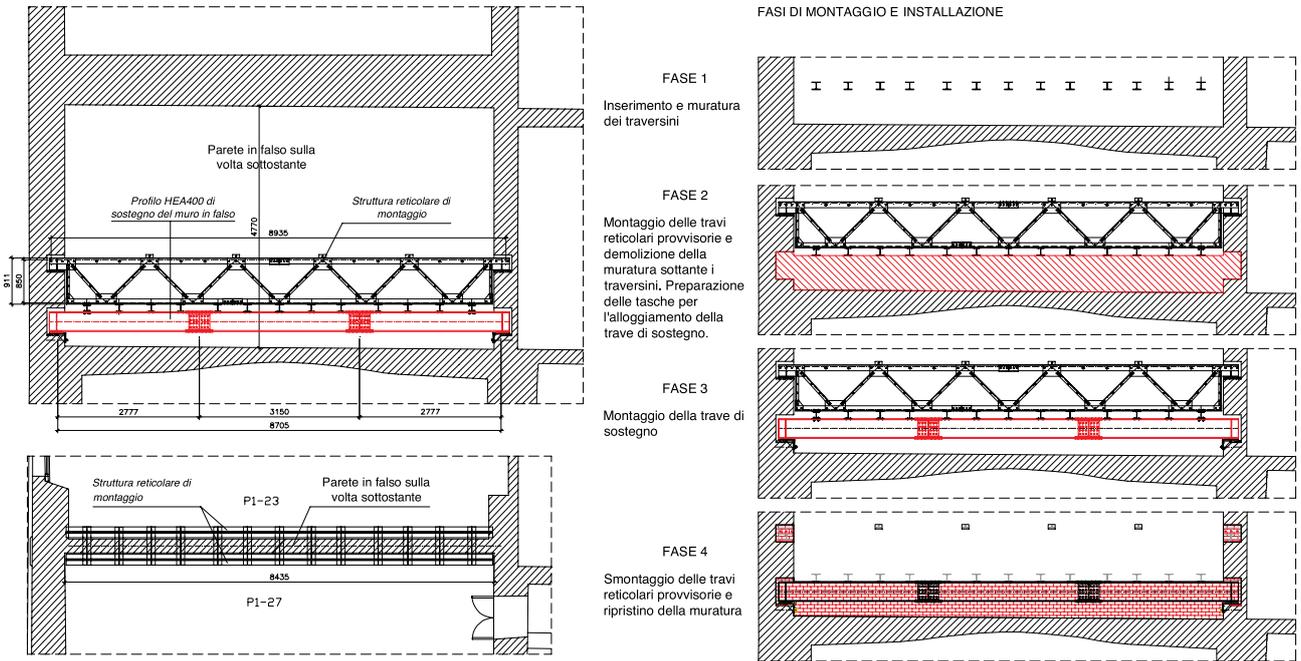
Figura 8
a) Pianta generale dell'intervento di rifacimento dei solai in acciaio, b) sezioni significative, c).



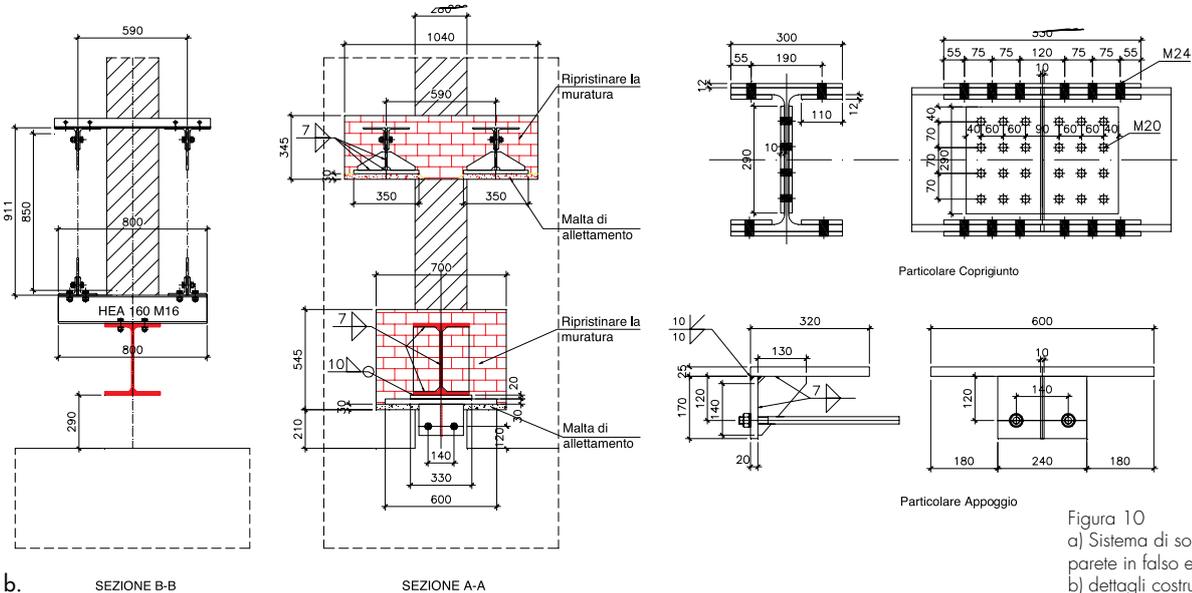
profilo HEA400 di rinforzo (Figura 10). La struttura ausiliaria di installazione (traversine e travi reticolari) deve essere chiaramente rimossa alla fine delle operazioni, provvedendo al ripristino della muratura nelle zone ove necessario. Così come già accennato nel caso del posizio-

namento del rompitratta in acciaio, è necessario dimensionare accuratamente l'appoggio delle varie strutture all'interno delle murature mediante analisi delle tensioni trasmesse e ripartizione delle medesime mediante l'applicazione di piastre di spessore e dimensioni adeguate.

Figura 9
Rinforzo di una parete in falso in muratura gravante su una struttura voltata: messa in opera del profilo metallico di sostegno, strutture reticolari ausiliarie di montaggio e fasi del processo di installazione in opera.



d.



b.

Figura 10
a) Sistema di sostegno della parete in falso e b) dettagli costruttivi.

Interventi di rinforzo su strutture di copertura in legno

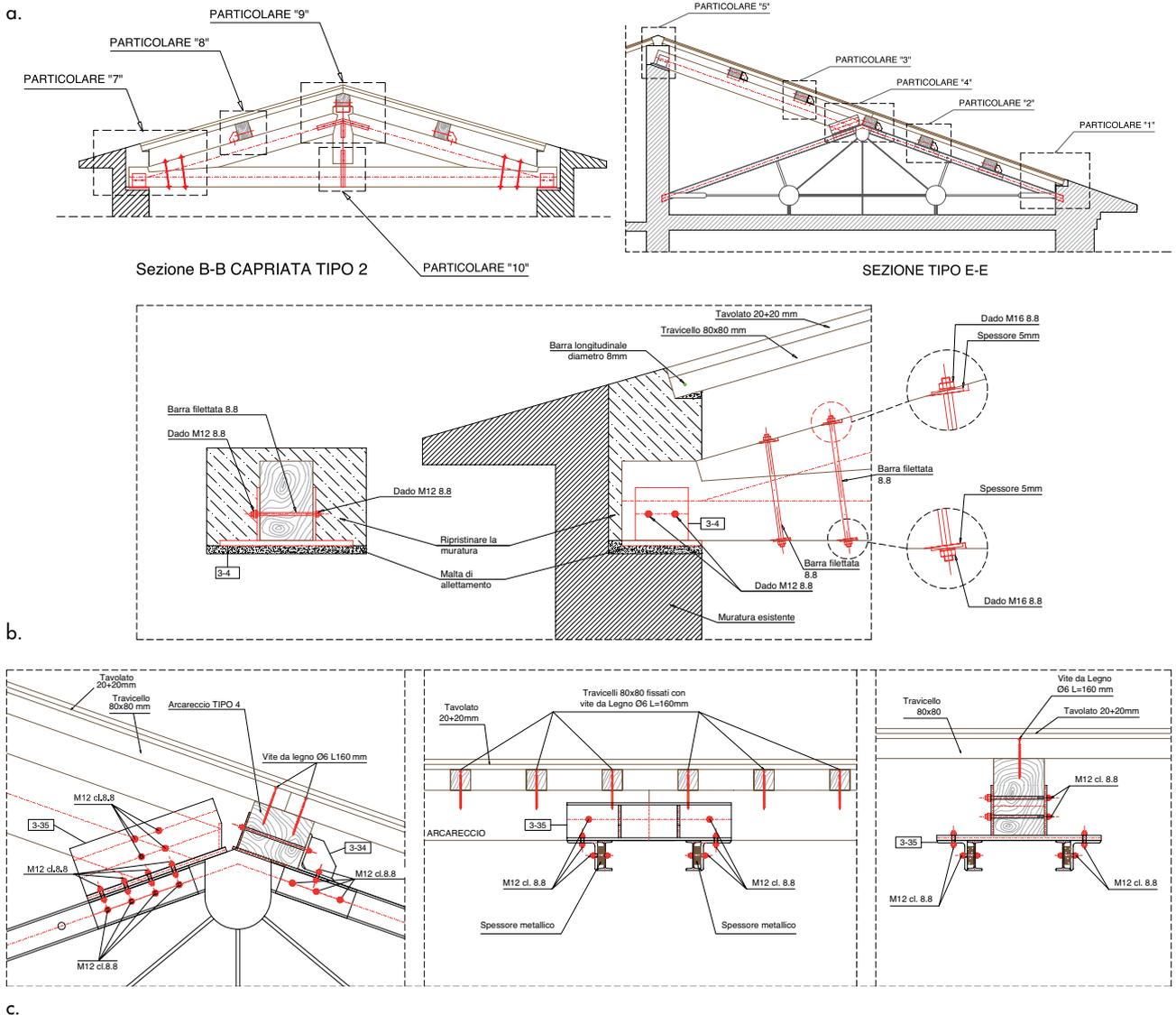
Le coperture degli edifici esistenti in muratura sono frequentemente costituite da capriate con travi principali, travi secondarie ed arcarecci in legno disposti secondo diverse possibili orditure, caratterizzati da diverse specie legnose e dalla presenza di appoggi di varia forma e tipologia. In conseguenza all'applicazione di regole di progettazione mancanti di specifica attenzione nei confronti delle azioni orizzontali, spesso tali

coperture risultano sprovviste di idonee strutture di collegamento orizzontali (cordoli) capaci di garantire un adeguato comportamento "di insieme" al fabbricato. Numerosi problemi si riscontrano poi in corrispondenza degli appoggi e dei collegamenti tra i diversi elementi costituenti la capriata, come ad esempio visibile in Figura 11, al punto da richiedere la progettazione e la sostituzione di parti della struttura, soprattutto se ammalorate con conseguente riduzione della sezione resistente.

Figura 11
Esempi di collegamento tra i vari elementi costituenti la copertura di un edificio storico in muratura (a destra).



Figura 12
a) Schemi generali di intervento su elementi in legno, b e c) dettaglio appoggio alla parete muraria (in basso).



A titolo esemplificativo, in Figura 12 si riporta lo schema generale di intervento su due diverse porzioni di copertura (una con capriata in legno e l'altra, in acciaio con travi secondarie in legno) ed alcuni dettagli delle zone di appoggio.

Un altro esempio di intervento eseguito su strutture in legno all'interno di edifici esistenti in muratura è quello schematicamente riportato in Figura 13. In questo caso, al fine di prevenire lo sfilamento dei travicelli di copertura di un porticato ligneo, sprovvisti di un appoggio di idonea lunghezza all'interno della muratura (come rilevato in situ), si è predisposta la messa in opera di un profilo corrente a L al di sotto dei travicelli opportunamente sagomato e ancorato alla mu-

ratura esistente mediante tasselli chimici di idonea dimensione e disposti ad adeguata distanza. Data la disomogeneità dei travicelli (per quanto riguarda forma, dimensione ed inclinazione) e la non perfetta rettilineità delle pareti a cui il profilo ad L deve essere ancorato, particolare attenzione deve essere applicata al posizionamento di eventuali piastre di spessoramento da interporre tra i travicelli e il profilo corrente ed, inoltre, al taglio in opera dei vari profili ad L da applicare lungo le pareti verticali medesime. In Figura 13 è riportato, in aggiunta, lo schema di intervento di rinforzo dell'appoggio della trave dell'orditura secondaria alla trave in legno principale realizzato mediante piastre metalliche.

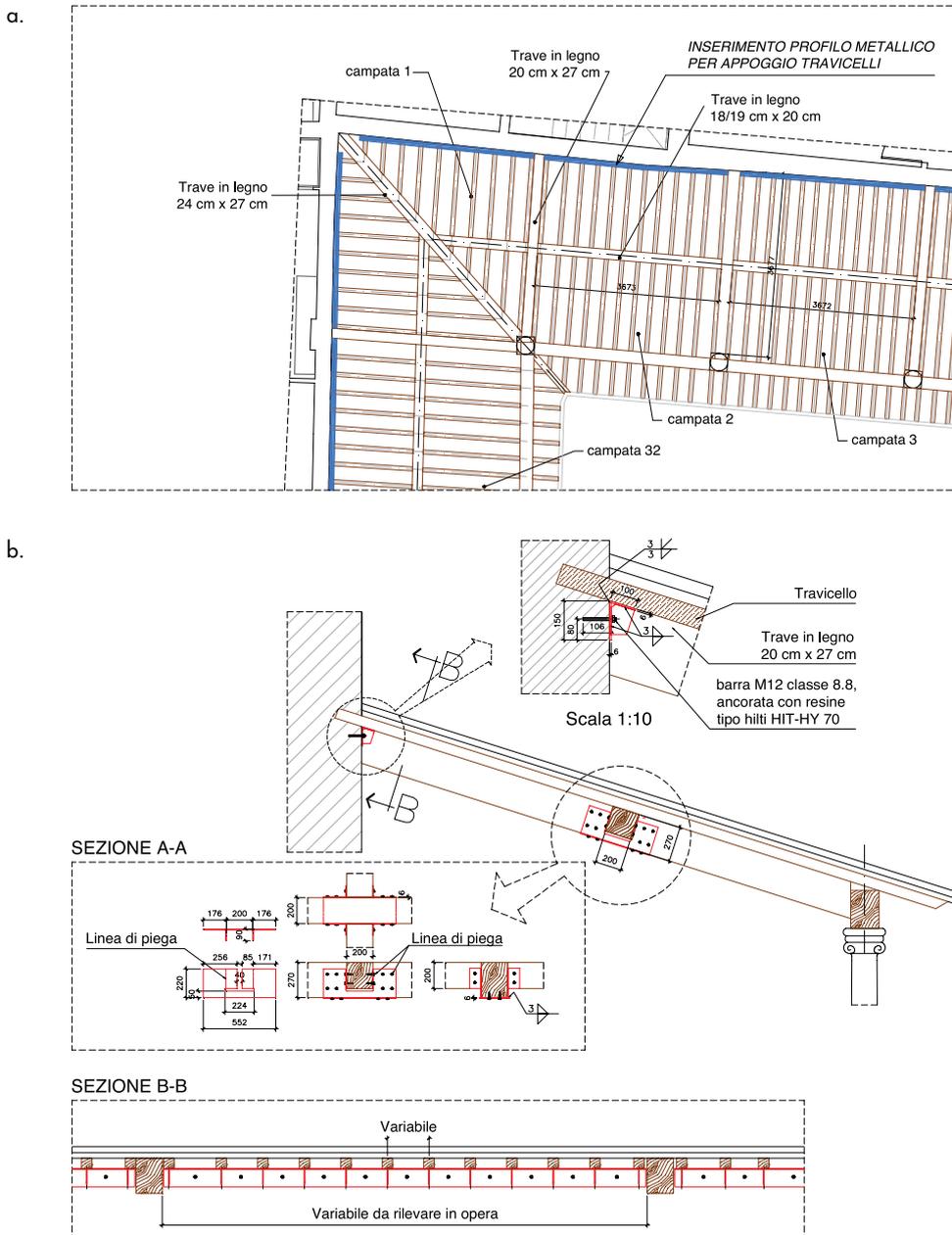


Figura 13
Intervento di rinforzo di un porticato in legno: inserimento di un profilo di appoggio ai travicelli per evitarne lo sfilamento e rinforzo dell'appoggio della trave secondaria alla trave principale.

4. Conclusioni

La riduzione del rischio sismico e l'incremento della sicurezza nei confronti delle azioni statiche delle costruzioni esistenti è, al giorno d'oggi, una tematica di grande attualità per un paese come l'Italia, caratterizzato da un patrimonio edilizio realizzato, per la maggior parte, nel rispetto di criteri di sicurezza riconosciuti ormai come inadeguati. In questo contesto, l'utilizzo di sistemi in acciaio per opere sia di rinforzo locale sia di miglioramento sismico risulta particolarmente conveniente grazie alle eccellenti prestazioni

meccaniche del materiale in termini di resistenza, duttilità e capacità dissipativa. La versatilità dell'acciaio ed il recente sviluppo di nuovi ed affidabili metodi di collegamento con elementi in muratura o calcestruzzo armato permettono di progettare interventi che ben si adattano alle caratteristiche della costruzione in esame (in termini di tipologia strutturale, materiale, geometria etc.), ottimizzando il comportamento degli elementi di rinforzo e consentendo, quindi, di incrementare la capacità nei confronti delle azioni statiche e di diminuire il rischio associato a quelle sismiche.

Bibliografia

- Braconi A., Braga F., Caprili S., Gigliotti R., Salvatore W. (2012a) - Ductility Demand on Steel Reinforcing Bars in Concrete Buildings. 11th International Conference on Computational Structures Technology, 4-7 September 2012, Dubrovnik, Croatia.
- Braconi A., Morelli F., Salvatore W. (2012b) - Development, design and experimental validation of a steel self-centering device (SSCD) for seismic protection of buildings, Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 10 (6), pagg. 1915-1941.
- Bartlam P., Bonessio N., Bordea S., Bortone G., Braconi A., Braga F., Dogariu A., Dubina D., Estanislau S.C., Fianchisti G., Fulop L., Gundel M.,

- Hoffmesiter B., Karamanos K., Lobo J.B., Lomiento F., Morelli F., Nardini L., Obiala R., Salvatore W., Signorini N., Tremea A., Tsintzos P., Varelis G., Vasilikis D. (2010) - STEEL solutions for seismic RETROfit and upgrade of existing constructions. RFSR-CT-2007-00050 project. Final report, European commission, Brussels.
- Apostolopoulos C., Ascanio C., Bianco L., Braconi A., Caprili S., Diamantogiannis G., Ferreira Pimenta G., Finetto M., Moersch J., Salvatore W. (2014) - Effects of corrosion on low-cycle fatigue (seismic) behaviour of high strength steel reinforcing bars. RFSR-CT-2009-00023 project. Final report, European Commission, Brussels.

Gli autori

Silvia Caprili

È dottore di ricerca in Scienze e Tecniche dell'Ingegneria Civile - curriculum strutturale. È titolare di un assegno di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa dove svolge attività di ricerca nel campo dell'ingegneria strutturale sulla progettazione antisismica di nuove costruzioni e sull'adeguamento di edifici esistenti. È autrice di pubblicazioni a livello nazionale ed internazionale.

Francesco Morelli

È dottore di ricerca in Scienze e Tecniche dell'Ingegneria Civile - curriculum strutturale. È titolare di un assegno di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa dove svolge attività di ricerca nel campo dell'ingegneria sismica con particolare riguardo al comportamento di edifici in acciaio e allo studio e allo sviluppo di sistemi di protezione passiva degli edifici. È autore di pubblicazioni a livello nazionale ed internazionale.

Francesco Lippi

È dottore di ricerca in Scienze e Tecniche dell'Ingegneria Civile - curriculum strutturale. È titolare di un assegno di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa dove svolge attività di ricerca nel campo dell'ingegneria sismica con particolare riguardo al comportamento dinamico di strutture civili e industriali di acciaio. È autore di pubblicazioni a livello nazionale ed internazionale.

Walter Salvatore

È Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni dell'Università di Pisa dove tiene i corsi di Costruzioni in Zona Sismica e Strutture di Fondazione. È autore di numerose pubblicazioni scientifiche e membro di commissioni tecniche e normative a livello nazionale ed internazionale.