

ADEGUAMENTO SISMICO DI EDIFICI IN CEMENTO ARMATO: BRB E FRP

SEISMIC UPGRADING OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS: BRB & FRP

Federico M. Mazzolani, Antonio Formisano, Generoso Vaiano

I risultati della ricostruzione privata, che ha fatto seguito al terremoto dell'Abruzzo del 6 Aprile 2009, hanno mostrato una vastissima utilizzazione della tecnologia di consolidamento basata sui materiali compositi. Al contrario, le tecnologie che impiegano la carpenteria metallica sono state pressoché ignorate nella maggior parte dei casi. In aggiunta, dalla documentazione ufficiale appare che l'uso dei materiali compositi è risultato più economico rispetto a quello della carpenteria metallica. Dopo l'esperienza di vari decenni di ricerche ed applicazioni pratiche utilizzando diversi sistemi di consolidamento per il miglioramento sismico di edifici esistenti, questo risultato è sembrato sorprendente. Per questa ragione, è stato scelto come caso di studio un edificio esistente a struttura in c.a. progettata per solo carichi verticali. Per esso viene sviluppato il progetto di miglioramento sismico utilizzando due sistemi caratterizzanti le tecnologie sopra citate; in particolare le fibre di carbonio (C-FRP) ed i controventi ad instabilità impedita (BRB). Lo scopo della progettazione è stato quello di garantire l'ottenimento con entrambe le tecnologie dello stesso livello di incremento della capacità portante nei riguardi delle azioni orizzontali. Con questa condizione, il confronto fra i costi di realizzazione può considerarsi obiettivo. Il risultato di questo confronto ha completamente ribaltato le conclusioni di quanto era stato ufficialmente divulgato.

The results of the private reconstruction after the 2009 April 6th Abruzzo earthquake have shown a very wide use of the consolidation technology based on composite materials. Contrary, the technologies based on the use of steelwork have been practically ignored in the majority of cases. In addition, from the official documentation it appears that the use of composite materials is more economic than the one of the steelwork. From the experience of several decades of studies and practical applications by using different consolidation systems for the seismic upgrading of existing buildings, this result seemed to be surprising. For this reason, a case study has been selected, consisting on an existing RC building designed for vertical loads only. Its design for seismic upgrading has been done by using two systems characterized by the above technologies; in particular the carbon fibres (C-FRP) and the Buckling Restrained Braces (BRB). The scope of the design was to guarantee, by using both technologies, the obtaining of the same level of increasing of the load bearing capacity against horizontal actions. Under this condition, the comparison between the erection costs can be considered as objective. The result of this comparison completely overturned the conclusions of what has been officially disseminated.



Fig. 1 - Edificio oggetto di studio

1. PREMESSA

Negli ultimi decenni i terremoti in Italia si susseguono a ritmo inquietante (Friuli 1976; Campania-Basilicata-Puglia 1980; Marche-Umbria 1997; Molise 2002; L'Aquila 2009; Centro Italia 2016-2017). La vulnerabilità delle costruzioni, unitamente all'elevata densità abitativa di queste zone, è la causa principale di incommensurabili disastri economico-sociali. In questo tragico scenario, il consuntivo di tali eventi contiene una serie di informazioni che dovrebbero essere utilizzate per ridurre o quanto meno mitigare gli effetti disastrosi dei sismi a venire. Infatti le procedure post-sisma, che vengono sistematicamente messe in atto per gestire l'emergenza e la ricostruzione delle zone colpite dal sisma, sembrano risultare sempre più operativamente efficienti.

Quello che manca, a parere di chi scrive, è una politica che conduca allo sviluppo di azioni preventive mirate all'adeguamento sismico od almeno al miglioramento della capacità portante delle strutture nei riguardi del terremoto. È superfluo sottolineare quali sarebbero i vantaggi potenziali di questo auspicato tipo di politica: si avrebbe una drastica riduzione dei danni e dei conseguenti disagi per la popolazione. L'immediata risposta è che il bilancio della Stato non lo consentirebbe e quindi questa scelta viene subito e semplicisticamente bocciata. Sarebbe invece sufficiente imporre un regime assicurativo obbligatorio agli edifici privati, così come d'altronde è ormai consolidato per le automobili, che calibri il premio annuo da corrispondere alle Compagnie di Assicurazione in stretta relazione alle condizioni di salute delle strutture. Non sarebbe una novità; basterebbe copiare od ispirarsi a modelli già in vigore in nazioni altamente sismiche come il Giappone. Ma questa è fantapolitica. Infatti i politici non vogliono sentir parlare di prevenzione, perché è un'operazione che ripaga solo a lunga scadenza; a loro interessano solo scelte immediate e contenute nei periodi di alternanza degli appuntamenti elettorali.

Scartata quindi questa via improponibile, almeno si concentri l'attenzione nell'identificazione, traendo insegnamento dai sismi passati, di sistemi tecnologici economici ed affidabili da proporre nell'ambito dell'edilizia privata ai proprietari coscienti che inten-

dono premunirsi in attesa di un prossimo evento sismico. In questa prospettiva è quindi interessante osservare quale è oggi l'offerta del mercato.

L'adeguamento sismico od il semplice miglioramento può essere effettuato applicando numerose tecnologie attualmente disponibili. Un riferimento importante per verificare la presenza e la diffusione di queste tecniche sul territorio nazionale è rappresentato dal *"Libro bianco sulla ricostruzione privata fuori dai centri storici nei comuni colpiti dal sisma dell'Abruzzo del 6 aprile 2009"* a cura di Mauro Dolce e Gaetano Manfredi [1], dove gli aspetti tecnici sono stati curati dal consorzio ReLUIS. In questo testo, dopo un confronto con le procedure post-sisma seguite in precedenza, vengono riportati i risultati del processo di ricostruzione nella provincia de L'Aquila attraverso l'esame dei progetti presentati allo scopo di ottenere un contributo economico da parte dei comuni per gli edifici danneggiati dal sisma. L'istruttoria tecnico-economica è stata condotta dai consorzi ReLUIS e Cineas, che hanno esaminato circa 20.000 pratiche; i dettagli sull'attività svolta sono diligentemente riportati in [2,3]. Dall'immensa mole dei risultati ivi riportati, si pone l'attenzione solo su quelli relativi alle tecnologie utilizzate dai progettisti locali nel progetto di miglioramento sismico (veniva imposto un adeguamento pari almeno al 60%) proposto per la pratica di rimborso.

In sintesi i risultati in termini di frequenza delle tecnologie utilizzate sono stati i seguenti:

- FRP 58%;
- interventi in fondazione 30%;
- incamiciature in c.a. 23%;
- collegamento delle tamponature alla struttura 20%;
- CAM 13%;
- isolamento sismico 11%;
- aggiunta di nuovi setti in c.a. 9%;
- riparazione lesioni 8%;
- incamiciatura di acciaio 8%;
- beton plaqué 7%;
- controventi di acciaio 7%;
- sostituzione elementi strutturali e non 2%;
- controventi dissipativi 2%.

A fronte delle succitate tecnologie, vengono riportati i relativi costi di realizzazione computati nei vari progetti, che a partire dal più economico in misura crescente, sono risultati:

- FRP;
- incamiciatura in c.a.;
- aggiunta di nuovi setti in c.a.;
- incamiciatura di acciaio;
- sostituzione di elementi strutturali e non;
- CAM;
- beton plaqué;
- isolamento sismico;
- interventi in fondazione;

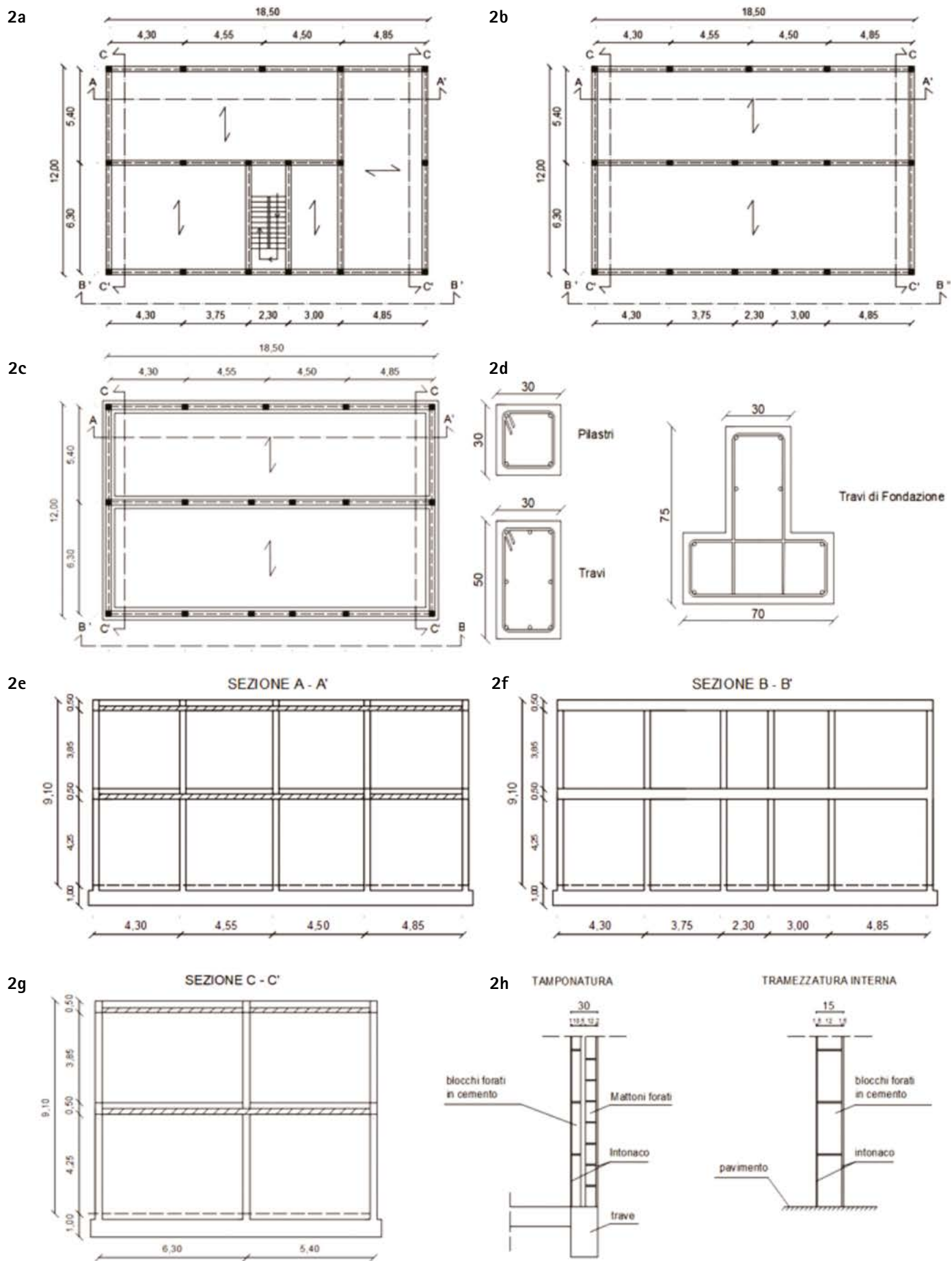


Fig. 2 - a) piano impalcato; b) secondo impalcato; c) pianta fondazioni; d) sezioni trasversali; e) sezione longitudinale A-A'; f) vista longitudinale B-B'; g) sezione trasversale C-C'; h) dettagli tamponatura e tramezzatura.



Fig. 3 - Posizionamento del controvento BRB nell'intercapedine fra i due pannelli della tamponatura esterna

- controventi di acciaio;
- controventi dissipativi.

I costi unitari dell'intervento complessivo dipendono da molti fattori e possono ragionevolmente ritenersi compresi fra 100 e 300 € a metro quadro di superficie coperta per il solo rafforzamento e miglioramento sismico.

Si è osservato inoltre che, in tutti gli interventi ottenuti dalla combinazione di varie tecnologie, FRP era sempre presente.

Da questi dati riportati in sintesi, risulta che la tecnologia prescelta dalla maggioranza dei progettisti locale è stata quella basata sulle fibre di carbonio (FRP), ovviamente perché ritenuta più affidabile da un punto di vista dell'efficienza strutturale, ma anche perché risultava più economica.

Il risultato ancor più sorprendente è che le tecnologie basate sui sistemi metallici tradizionali (semplici controventi di acciaio) sono state scelte solo nel 7% dei casi, mentre quelle più avanzate (controventi dissipativi) sono state praticamente ignorate (2%). Inoltre entrambe sono state considerate le più costose.

L'insieme di questi risultati hanno lasciato fortemente perplesso chi da decenni studia ed approfondisce il problema della protezione e del consolidamento sismico di edifici esistenti a struttura in cemento armato, in muratura, in legno, appartenenti non solo all'edilizia corrente, ma anche alle costruzioni di interesse storico. I sistemi e le applicazioni proposte hanno utilizzato sia la carpenteria metallica che la tecnologia di materiali compositi. I risultati ottenuti da tale attività sono stati resi pubblici a livello nazionale ed internazionale attraverso pubblicazioni su rivista [4-19], presentazioni a congressi [20-114], volumi contenenti gli atti di Congressi, lezioni a corsi di perfezionamento, rapporti di progetti di ricerca [115-133]. Nel complesso lo scenario si presenta molto vario e differenziato, dimostrando che non esiste una tecnica valida in assoluto, ma va selezionata caso per caso in considerazione delle condizioni al contorno. In particolare si ricorda la campagna di prove eseguita su edifici reali in cemento armato (progetti ILVA-IDEM e PROHITECH), che ha dimostrato risultati fortemente contraddittori con le scelte effettuate dai progettisti de L'Aquila, forse perché non ne erano al corrente.

Per queste ragioni si è deciso di esaminare nel dettaglio il problema del miglioramento sismico di un edificio esistente a struttura in c.a. Come caso di studio è stato scelto un edificio di tipologia corrente e di note caratteristiche geometriche e morfologiche, realizzato prima del 1980, quando la città di Napoli è stata inserita in zona sismica, e quindi progettato per soli carichi gravitazionali (vedi par. 1). Vengono applicate le due tecnologie che nell'ambito dell'esperienza aquilana hanno detenuto il primo e l'ultimo posto: FRP e controventi dissipativi di acciaio (BRB) (vedi par. 3). Per rendere confrontabili i risultati, l'obiettivo è stato quello di cercare di ottenere in entrambi i casi lo stesso miglioramento sismico in termini di incremento della capacità portante alle azioni orizzontali.

2. SCELTA DEL CASO STUDIO

L'edificio oggetto di studio, edificato verso la fine degli anni '70, era situato nell'ex complesso industriale ILVA di Bagnoli (NA), oggi demolito in seguito ai lavori di bonifica dell'area industriale, già esaminato dai punti di vista teorico e sperimentale nell'ambito del progetto di ricerca PROHITECH [115] (figura 1).

I primi risultati delle analisi eseguite su questo caso studio sono stati presentati a congressi nazionali [134] ed internazionali [135]. Dalle discussioni seguite a queste presentazioni, si sono tratti interessanti spunti per l'approfondimento di alcuni aspetti che vengono trattati nel presente lavoro, che integra e completa i due precedenti. Le lievi differenze quantitative sui risultati finali, rispetto a quelli dei precedenti lavori, sono conseguenza di un successivo approfondimento con analisi più raffinate, che comunque non hanno alterato la qualità comparativa dei risultati.

Si tratta di un edificio a pianta rettangolare su due livelli (figura 1a). La struttura è costituita da telai in cemento armato orditi in una sola direzione, essendo stata progettata per resistere solo a carichi verticali, completati da solai latero-cementizi.

Al primo piano (figura 2a) tutte le travi hanno sezione trasversale rettangolare 30x50 cm con otto barre longitudinali: 3 barre disposte superiormente ($2\phi 12+1\phi 8$), 2 centralmente ($2\phi 8$) e 3 barre inferiormente ($2\phi 12+1\phi 8$). L'armatura trasversale è costituita da staffe $\phi 8$ con un passo di circa 20 cm. Al secondo piano (figura 2b) tutte le travi hanno le stesse caratteristiche di quelle del piano sottostante. Tutti pilastri sui due livelli hanno sezione quadrata 30x30 cm con quattro barre longitudinali $\phi 16$ negli angoli della sezione trasversale. Le staffe con diametro 8 mm e passo circa 20 cm costituiscono l'armatura trasversale.

Le fondazioni (figura 2c) hanno il piano di posa ad un metro di profondità rispetto al piano campagna e sono costituite da travi in c.a. con sezione a T-rovescia, armate con 8 barre ($4\phi 8+4\phi 14$) longitudinali con staffe $\phi 8$ con passo di circa 30 cm.

La figura 2d riporta le dimensioni delle sezioni trasversali e le armature degli elementi sopra descritti.

Per quanto concerne le caratteristiche del terreno, tenuto conto

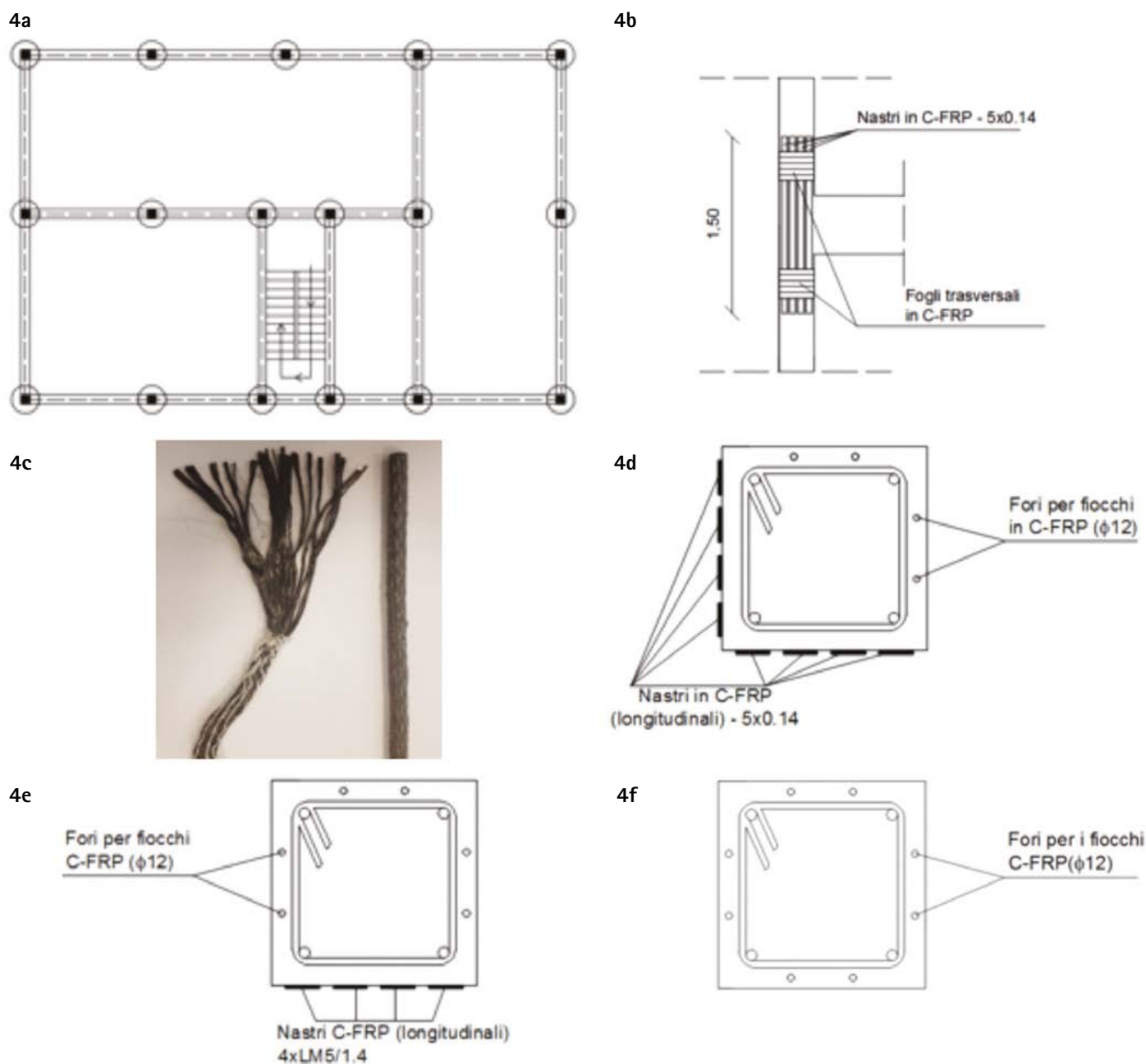


Fig. 4 - a) pilastri interessati dall'intervento con i C-FRP; b) particolare del rinforzo con C-FRP sulla faccia del pilastro; c) fiocco in C-FRP; d) sezione trasversale pilastro d'angolo; e) sezione trasversale pilastro perimetrale; f) sezione trasversale pilastri con tutte le quattro facce bloccate

delle dimensioni della fondazione e del carico di esercizio applicato dall'edificio, salvo maggiori approfondimenti, si è ritenuto ragionevole adottare una costante di sottofondo variabile in un intervallo compreso tra 1,25 e 1,75 Kg/cm³, con valore medio pari a di 1,50 Kg/cm³. Volendo operare a vantaggio di sicurezza, al fine di massimizzare le sollecitazioni sulla struttura in elevazione, è stato assunto nei modelli proposti un valore della costante di sottofondo del terreno pari a 1,00 Kg/cm³.

I solai sono latero-cementizi con altezza di 24 e 20 cm, rispettivamente al primo e secondo impalcato. Le altezze d'interpiano, misurate rispetto agli assi degli elementi, sono di 4,25 m per il primo piano e 3,85 m per il secondo (figure 2e, 2f e 2g). La tamponatura esterna è costituita da una doppia fodera con camera d'aria. La fodera esterna è composta da mattoni forati di 12 cm, mentre la fodera

interna è composta da blocchi di cemento anch'essi forati, aventi spessore di 10 cm. I due rivestimenti sono separati da una camera d'aria con spessore di 5 cm (figura 2h). La tramezzatura interna è composta da blocchi di cemento forati di 10 cm.

Va sottolineato che è stato osservato un insufficiente ancoraggio e sovrapposizioni non corrette delle barre longitudinali di acciaio, insieme all'assenza di un opportuno confinamento dei nodi, eccentricità nei nodi trave-pilastro e, infine, passo delle staffe trasversali discontinue in travi e pilastri, largamente distanziate e non ben ancorate all'interno delle sezioni trasversali. La presenza di queste imperfezioni, che peraltro corrispondono alle effettive modalità costruttive dell'epoca, hanno reso più realistici i risultati delle prove eseguite sull'edificio nell'ambito del progetto PROHITECH [61,71,90]. Durante questo progetto, l'edificio è stato prima sottoposto a carichi

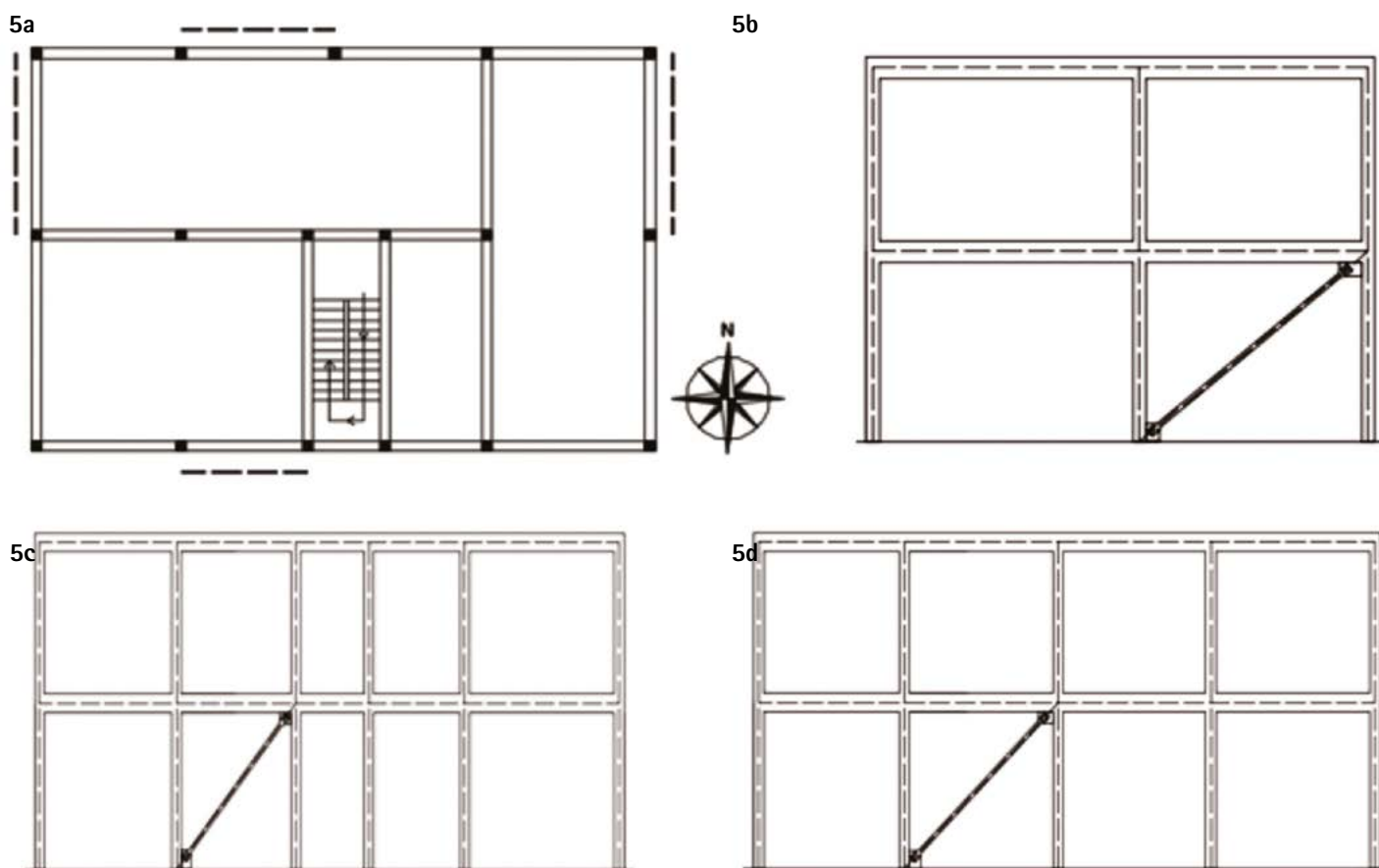


Fig. 5 - a) vista in pianta del posizionamento dei BRB; b) posizionamento dei BRB nei lati est ed ovest; c) posizionamento dei BRB nel lato sud; d) posizionamento dei BRB nel lato nord.

ciclici fino a collasso. Successivamente è stato riparato ed adeguato sismicamente mediante diagonali a instabilità impedita (BRB), dimostrando in pratica la possibilità di inglobare questi controventi nell'intercapedine fra i due pannelli murari della tamponatura esterna (figura 3). Tale requisito è fondamentale per consentire che le lavorazioni possano avvenire solo all'esterno, senza richiedere l'allontanamento delle persone dalle loro abitazioni durante le operazioni di miglioramento sismico.

3 PROGETTO DELLE TECNICHE DI ADEGUAMENTO

3.1 Adeguamento sismico con C-FRP

Al fine di incrementare la resistenza strutturale dell'edificio, la prima soluzione studiata si basa sull'utilizzo dei polimeri rinforzati in fibra di carbonio (C-FRP), progettate secondo le indicazioni fornite dal relativo documento tecnico del CNR [135].

L'intervento con i C-FRP è stato applicato a tutti i pilastri (figura 4a). Intervendendo attraverso tutti i nodi tra il primo e secondo livello, il preciso scopo è stato quello di evitare la formazione di cerniere plastiche alle estremità dei pilastri stessi, scongiurando il pericolo della formazione di un meccanismo di collasso parziale (figura 4b). Per quanto riguarda le fibre disposte longitudinalmente sui pilastri attraverso i nodi, sono state adottate due differenti tipologie di C-FRP: nastri longitudinali con un modulo elastico di 170.000 MPa e fiocchi unidirezionali aventi modulo elastico di 230.000

MPa (figura 4c). Focchi e nastri longitudinali si estendono per una lunghezza totale di 1,50 m simmetricamente rispetto al nodo. Inoltre, per garantire il confinamento della sezione trasversale del pilastro, sono disposti trasversalmente all'asse dei pilastri dei fogli di tessuto di C-FRP.

I nastri in C-FRP sono posizionati sulle facce dei pilastri libere da travi, dove per ogni lato sono disposti quattro strisce longitudinali larghe 5 cm e con spessore di 1,4 mm. Dove le facce dei pilastri sono impegnate dalle travi o dal solaio, sono state utilizzate barre composte da fiocchi di carbonio aventi diametro di 12 mm. In questi casi, per avere un'area di C-FRP equivalente su tutti i lati dei pilastri, sono installate due delle predette barre per lato.

I fiocchi, trattati con resina epossidica, solidificano al contatto con questa dando luogo a rigide barre. Nel caso in esame viene realizzata esclusivamente la solidificazione della parte centrale che attraversa la trave o il solaio, in modo tale che fiocchi fuoriescano all'esterno sulle facce libere del pilastro. Per quanto riguarda la posa in opera, in primo luogo vengono creati dei fori nella trave (o nel solaio a seconda della posizione del pilastro) nei quali vengono posizionate le barre, i cui fiocchi di estremità, sfioccati ed aperti a ventaglio, sono collegati con resina epossidica alla superficie delle facce del pilastro per una lunghezza di 50 cm al di sopra ed al di sotto della trave (o del solaio) e successivamente confinati mediante fogli trasversali in C-FRP. Le figure 3d, 3e e 3f mostrano

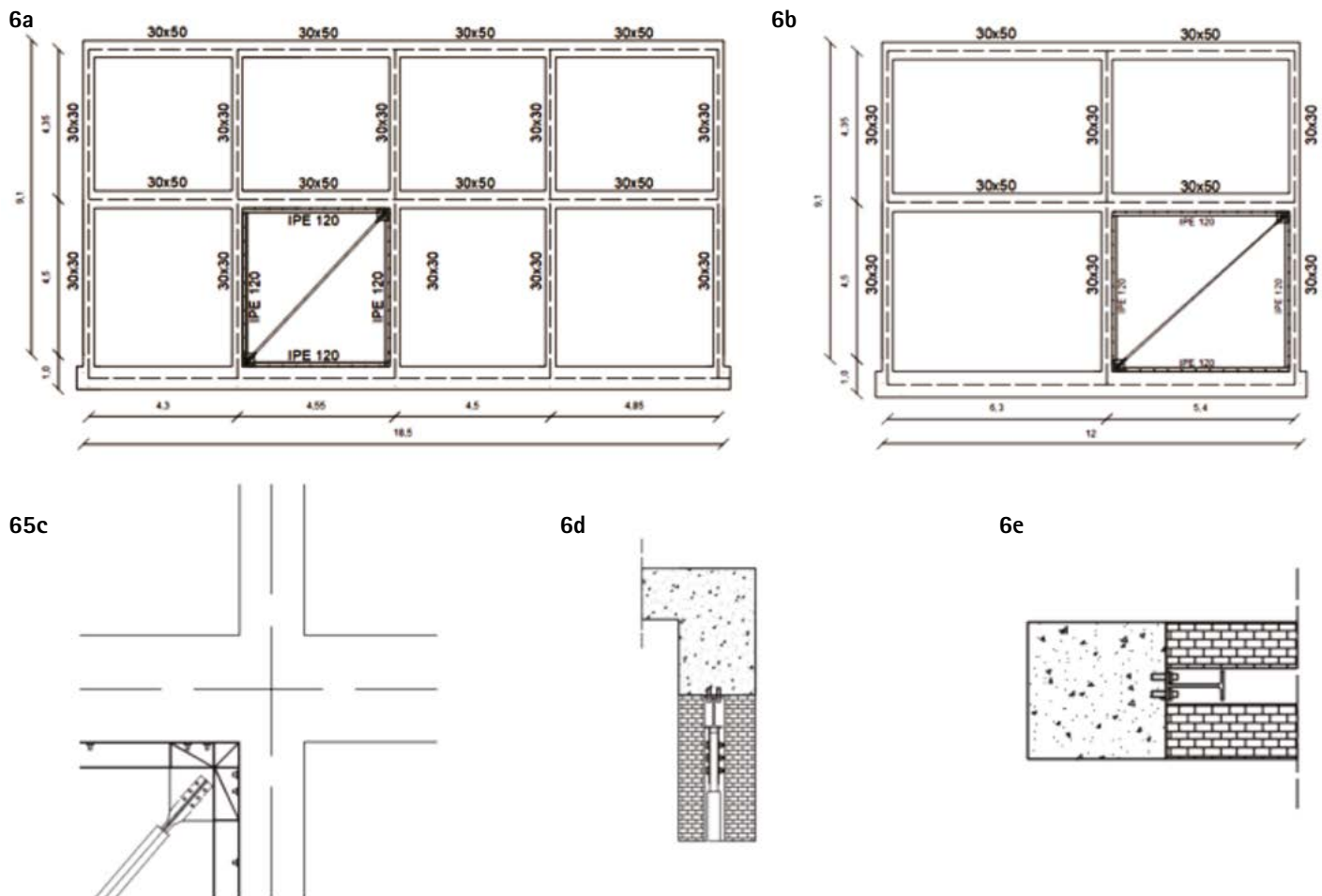


Fig. 6 - a) posizionamento del telaio in acciaio controventato in direzione longitudinale; b) posizionamento del telaio in acciaio controventato in direzione trasversale; c) particolare del nodo trave-pilastro-BRB; d) particolare del collegamento IPE120-trave in c.a.; e) particolare del collegamento IPE120-pilastro in c.a.

rispettivamente la sezione trasversale dei pilastri trattati in relazione alla loro posizione planimetrica.

3.2 Adeguamento sismico con BRB

La seconda soluzione di adeguamento sismico consiste nell'utilizzo di controventi ad instabilità impedita, più noti come BRB (Buckling Restrained Bracings), che nel presente studio vengono impiegati nella soluzione *tutta acciaio*. Infatti, rispetto alla soluzione classica con il nucleo interno riempito di calcestruzzo o malta, questa soluzione ha un peso minore e quindi una maggiore facilità di

trasporto e rapidità di montaggio. Inoltre, le connessioni bullonate usate consentono un semplice smontaggio dei BRB per la manutenzione e l'eventuale sostituzione. Questo sistema, caratterizzato dalla possibilità di essere nascosto nella camera d'aria compresa tra la fodera esterna ed interna della tamponatura, è già stato utilizzato in prove sperimentali eseguite su una struttura in calcestruzzo in scala reale [57,69,72,84,93,98] e in applicazioni pratiche [109,110]. L'intervento di adeguamento sismico proposto consiste nell'utilizzo di quattro controventi BRB, realizzati in officina e montati in sito, che vengono posizionati tutti al primo livello della struttura, uno

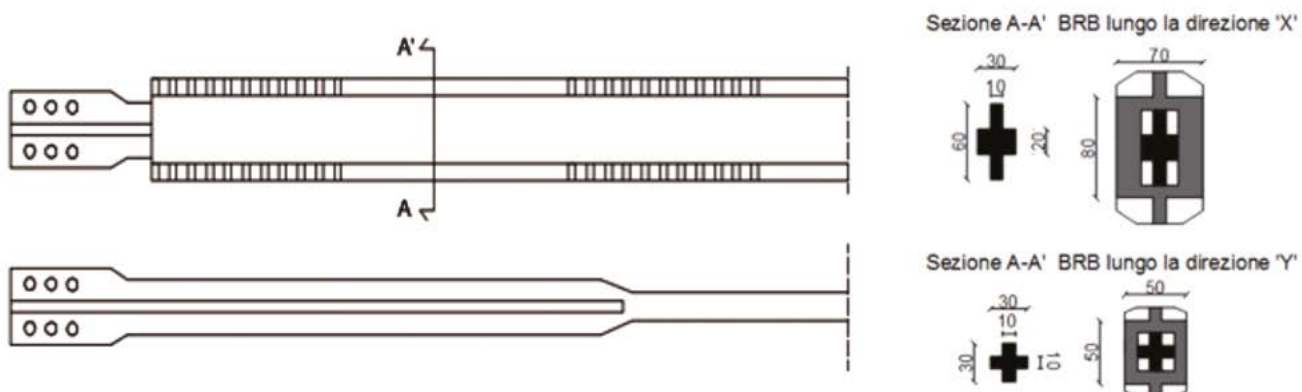


Fig. 7 - Dettaglio dei controventi BRB utilizzati.

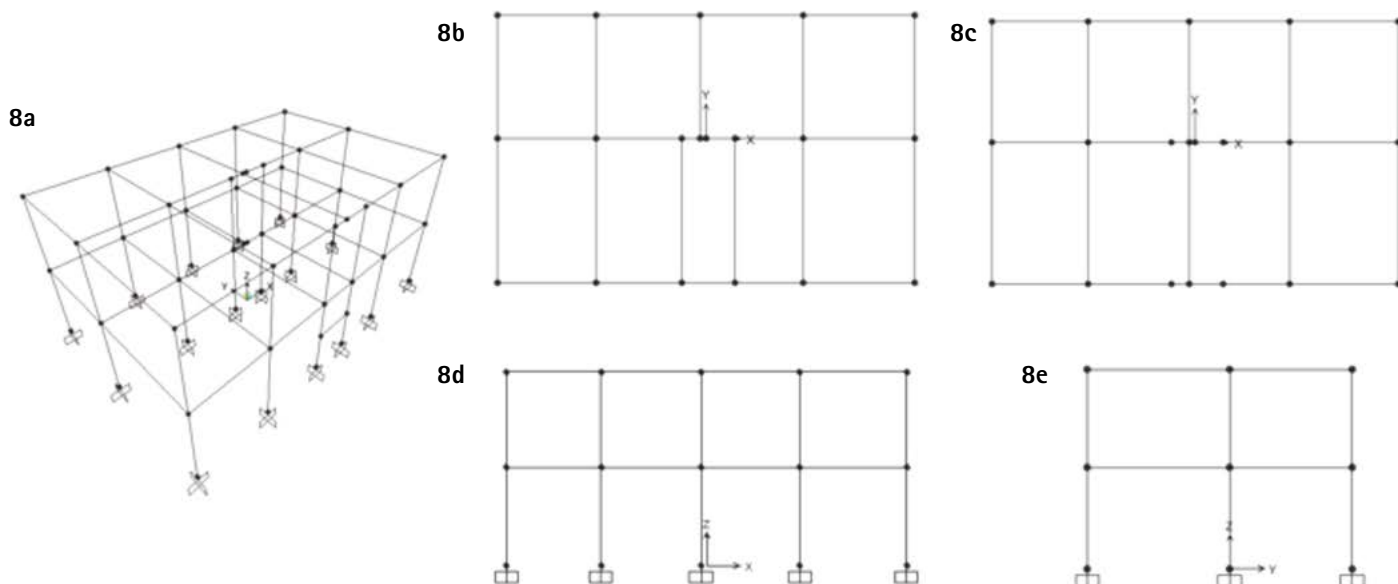


Fig. 8 - a) modello tridimensionale "M1" con incastrati alla base; b) disposizione travi primo livello; c) disposizione travi secondo livello; d) telaio longitudinale; e) telaio trasversale

per ciascun lato edificio (figura 5a), e sono stati collegati ai pilastri mediante piastre e bulloni, utilizzando gli stessi dettagli costruttivi già sperimentati al vero. Le lunghezze dei BRB sono di 6,15 m sui lati est e ovest, 5,05 m sul lato sud e 5,60 m sul lato nord (figure 5b, 5c e 5d).

In aggiunta a questa semplice soluzione di intervento, al fine di prevenire eventuali i fenomeni di crisi locale nei nodi trave-pilastro dovute all'elevata concentrazione di sforzi, si è previsto l'inserimento in ciascuna campata controventata di un telaio composto da elementi di acciaio in profilo IPE120 (figure 6a e 6b). Il dimensionamento degli stessi è stato caratterizzato dal fatto di voler continuare a nascondere il sistema di controventamento nella camera d'aria compresa tra la fodera interna ed esterna della tamponatura. I collegamenti trave-pilastro che costituiscono tali cerchiature sono di tipo saldato e sono collegati alle corrispondenti membrature in cemento armato a mezzo di connettori metallici. I controventi ad instabilità impedita sono connessi ai nodi trave-pilastro attraverso piastre con collegamento bullonato. Le figure 6c, 6d e 6e riportano i dettagli costruttivi del sistema di controventamento con telai di rinforzo. La figura 7 mostra i dettagli costruttivi dei controventi BRB utilizzati

in entrambi i casi in direzione longitudinale e trasversale. Si osserva che le sezioni trasversali delle "anime" contenute all'interno della "scatola" hanno dimensioni minime che è tecnologicamente impossibile ridurre e solo con tali dimensioni è stato possibile rispettare il target di resistenza imposto in premessa.

4. ANALISI SISMICA

4.1 Modellazione

La modellazione dell'edificio originale è stata realizzata mediante il software SAP2000. Un primo modello "M1", rappresentato nelle figure 8a, 8b, 8c, 8d e 8e, prevede i pilastri incastrati alla base. Un secondo modello "M2" più raffinato tiene in conto anche l'interazione suolo-struttura mediante l'introduzione delle travi di fondazioni, così come rappresentato nelle figure 9a, 9b e 9c. Si è adottato il modello di trave elastica su suolo elastico con costante di sottofondo pari a $1,00 \text{ Kg/cm}^3$.

Per valutare la resistenza dell'edificio nei confronti delle forze sismiche sono state eseguite analisi di *pushover* lungo le direzioni "x" e "y". Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati ottenuti per i modelli esaminati.

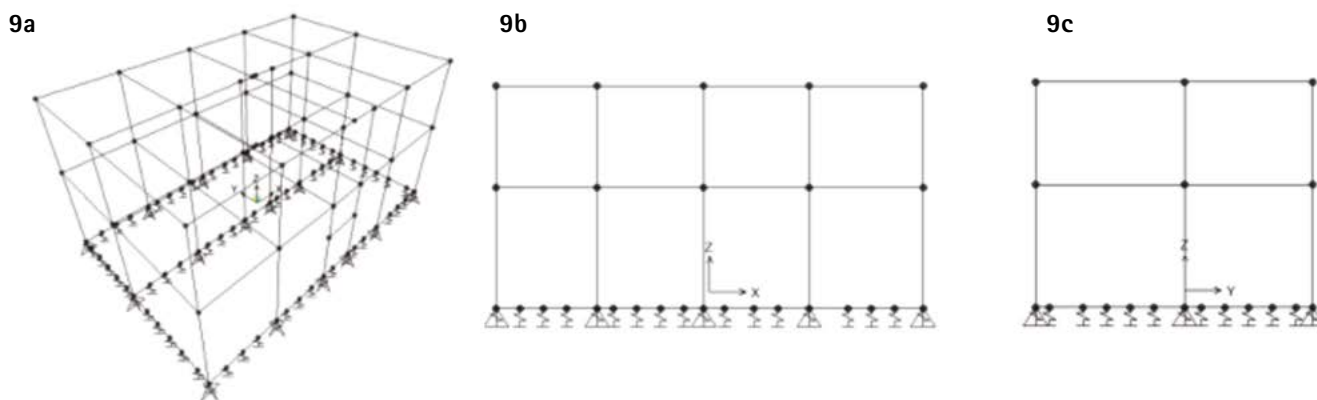


Fig. 9 - a) modello tridimensionale "M2" con fondazioni; b) telaio longitudinale; c) telaio trasversale

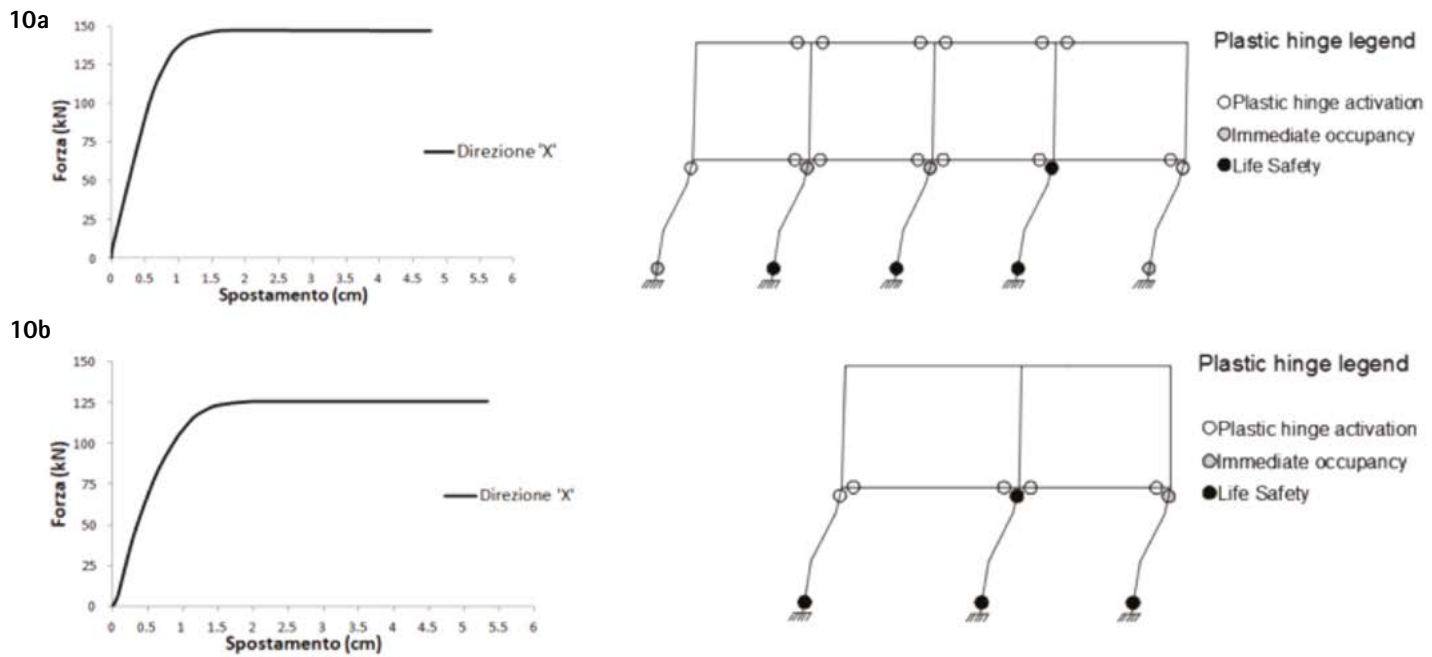


Fig. 10 - Risultati dell'analisi di pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura priva di rinforzi (modello M1)

4.2 Edificio privo di rinforzi

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)

I risultati ottenuti per questo modello possono essere osservati nelle figure 10a e 10b. È interessante notare la formazione di cerniere di plastiche alla base e all'estremità superiore dei pilastri del primo piano, che innescano un meccanismo di collasso locale.

Modello M2 (struttura travi di fondazione)

I risultati ottenuti per questo secondo modello possono essere riportati nelle figure 11a e 11b. Anche in questo caso le cerniere plastiche si formano alla base e all'estremità superiore dei pilastri del primo piano, innescando un meccanismo di collasso locale.

Confrontando le curve è evidente che la struttura presenta valori

di resistenza e rigidezza iniziale maggiori in direzione "x", dato il numero maggiore di pilastri presenti in tale direzione, rispetto a quelli ottenuti nella direzione "y".

4.3 Miglioramento sismico con C-FRP

L'intervento di miglioramento sismico proposto utilizzando C-FRP coinvolge tutti i pilastri della struttura, che sono stati rinforzati in corrispondenza dei nodi trave-pilastro del primo impalcato. Si riportano di seguito i risultati ottenuti su entrambi i modelli esaminati.

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)

Le figure 12a e 12b mostrano i risultati delle analisi *pushover* rispet-

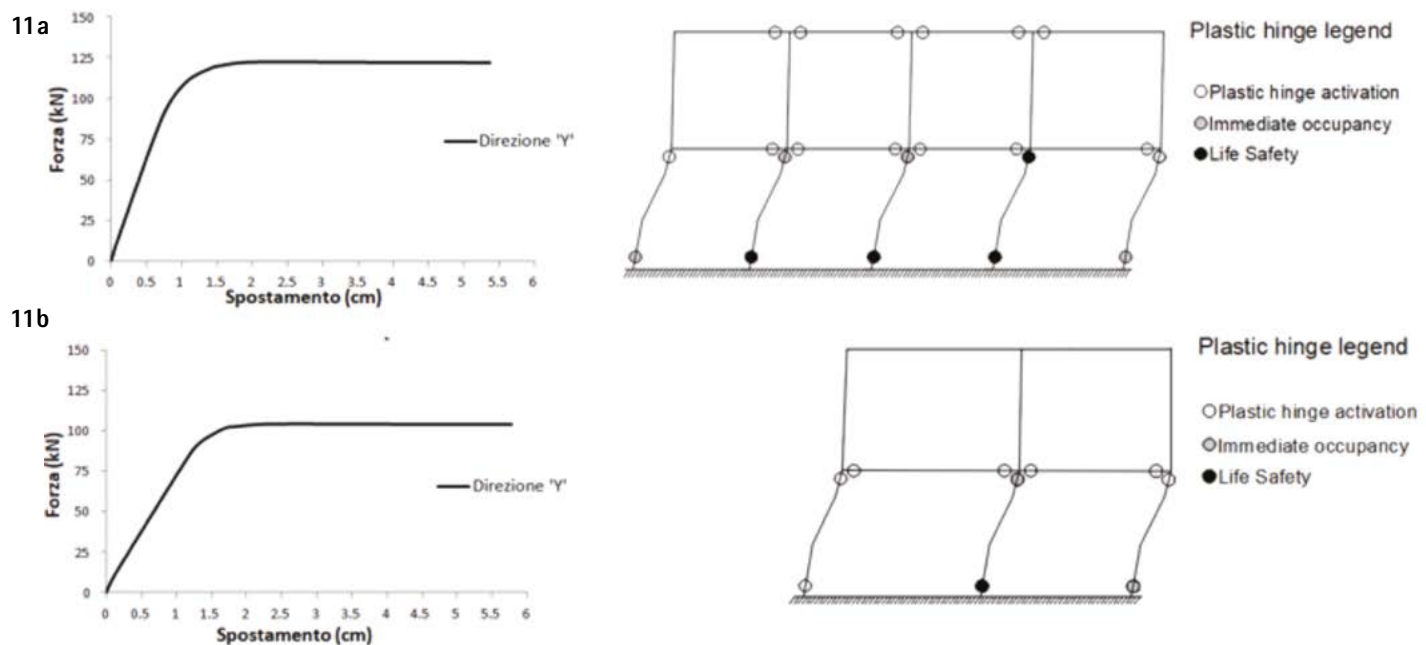


Fig. 11 - Risultati dell'analisi pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura priva di rinforzi (modello M2)

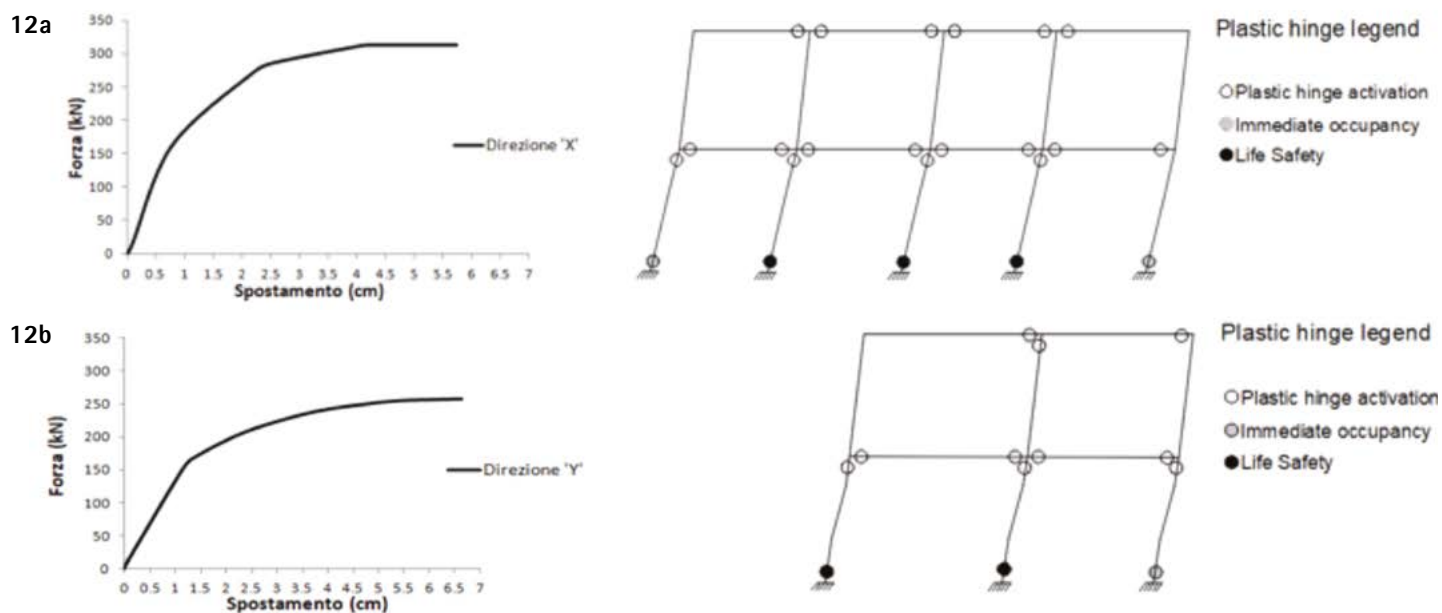


Fig. 12 - Risultati dell'analisi pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con C-FRP (modello M1)

tivamente nelle direzioni "x" e "y". I meccanismi di collasso rilevati tendono ad un comportamento sismico quasi globale che coinvolge un gran numero di travi e pilastri.

Modello M2 (struttura con travi di fondazione)

Le figure 13a e 13b mostrano i risultati delle analisi *pushover* rispettivamente nelle direzioni "x" e "y". I meccanismi di collasso evidenziati in tali direzioni sono molto simili a quelli del modello M1, con cerniere plastiche che attingono lo stato limite di salvaguardia della vita alla base di alcuni pilastri.

4.4 Miglioramento sismico con BRB

In accordo con l'obiettivo del presente studio, i controventi BRB

sono stati dimensionati con l'intento di conseguire la stessa entità i miglioramento sismico ottenuto con l'impiego di C-FRP. Sulla base di questa assunzione, la progettazione delle sezioni trasversali dei controventi BRB ha condotto ad un'area pari a 5 cm² lungo la direzione "x" ed a 10 cm² per la direzione "y". In aggiunta ai modelli M1 (pilastri incastrati alla base) e M2 (presenza di travi di fondazione), già definiti in precedenza e che si riferiscono al semplice inserimento dei controventi BRB, vengono utilizzati nuovi modelli corrispondenti ai precedenti, ma in cui vengono inseriti i telai di rinforzo nelle maglie controventate.

Sono chiamati rispettivamente M3 (pilastri incastrati alla base con telai di rinforzo) e M4 (presenza di travi di fondazione

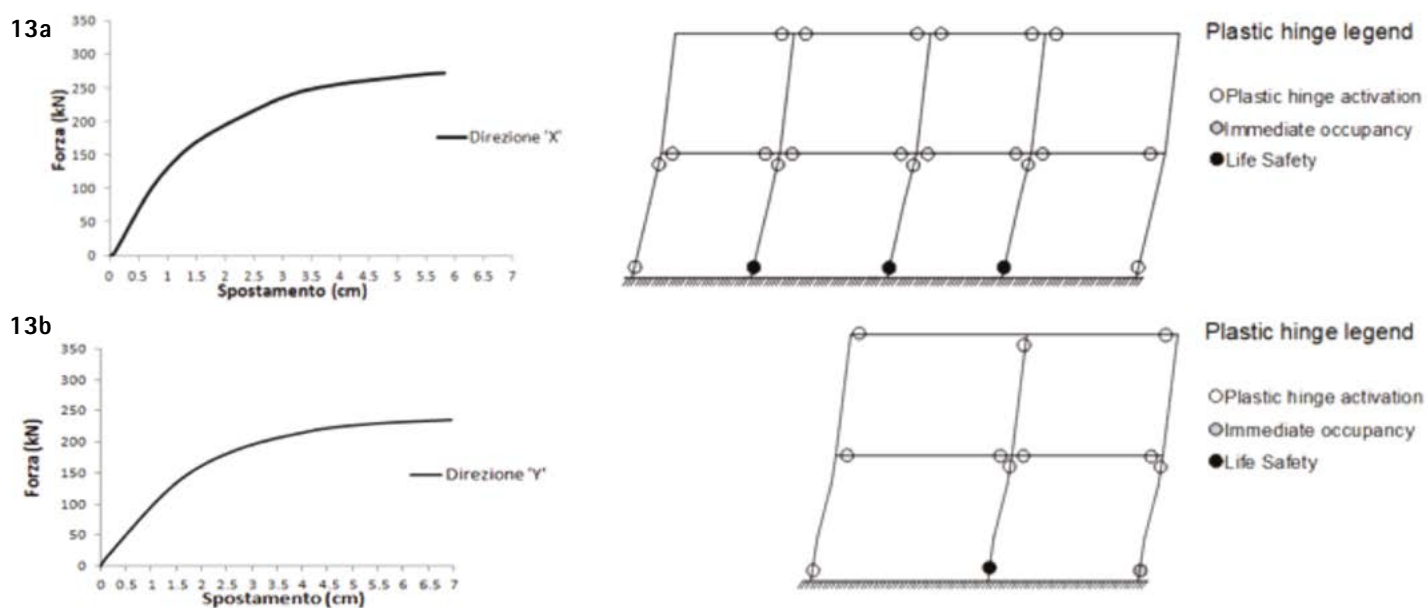


Fig. 13 - Risultati dell'analisi di pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con C-FRP (modello M2)

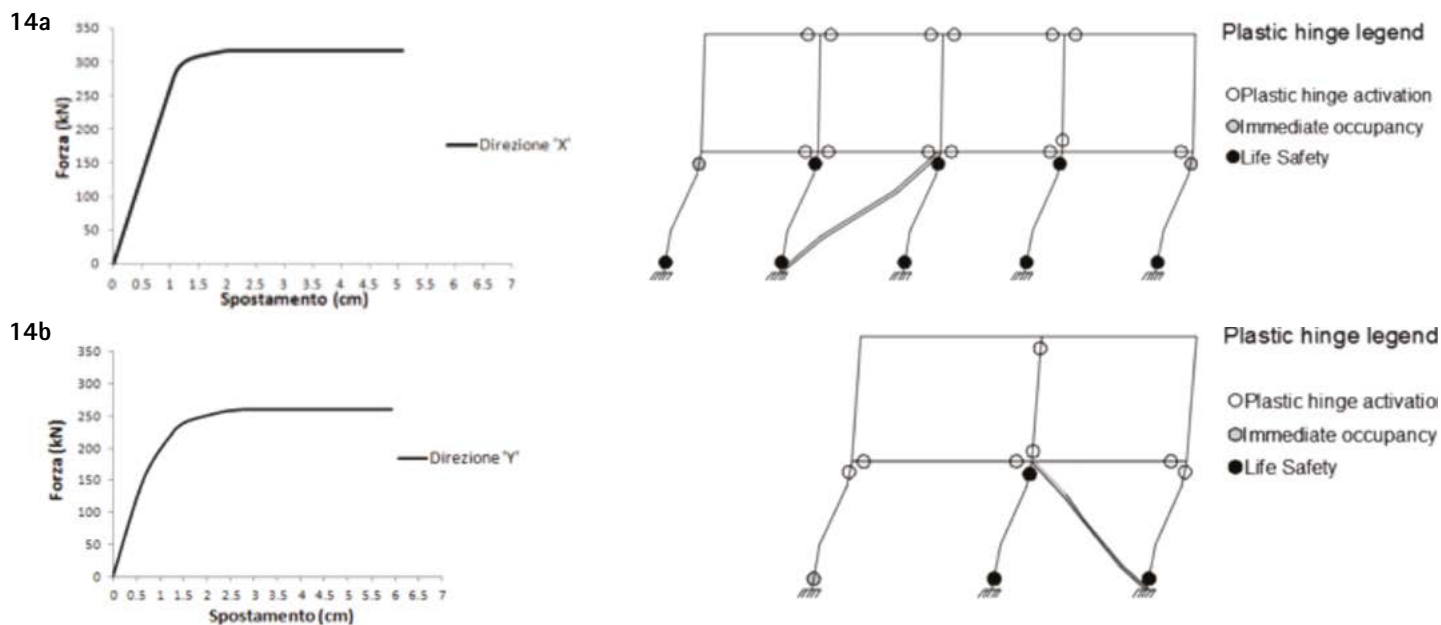


Fig. 14 - Risultati dell'analisi di pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con BRB (modello M1).

con telai di rinforzo).

Nel seguito si riportano i risultati delle analisi *pushover* per i quattro modelli sopra definiti.

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)

Le figure 14a e 14b mostrano i risultati delle analisi *pushover* rispettivamente nelle direzioni "x" e "y" e l'illustrazione dei meccanismi di collasso finali raggiunti, con lo snervamento dei BRB e la crisi locale di alcuni pilastri.

Modello M2 (struttura con travi di fondazione)

Le figure 15a e 15b mostrano i risultati delle analisi *pushover*

rispettivamente nelle direzioni "x" e "y", con meccanismo di collasso analogo al caso precedente in direzione "x", ma migliorativo in direzione "y", per l'assenza della cerniera plastica all'estremità superiore del pilastro centrale.

Modello M3 (struttura con telaio di rinforzo nelle campate controventate e pilastri incastrati alla base)

Le figure 16a e 16b mostrano i risultati delle analisi *pushover* rispettivamente nelle direzioni "x" e "y" e l'illustrazione dei meccanismi di collasso finali raggiunti. In tutte le sezioni delle membrature, ad eccezione dell'estremità di una trave in direzione longitudinale, si raggiunge la semplice attivazione delle

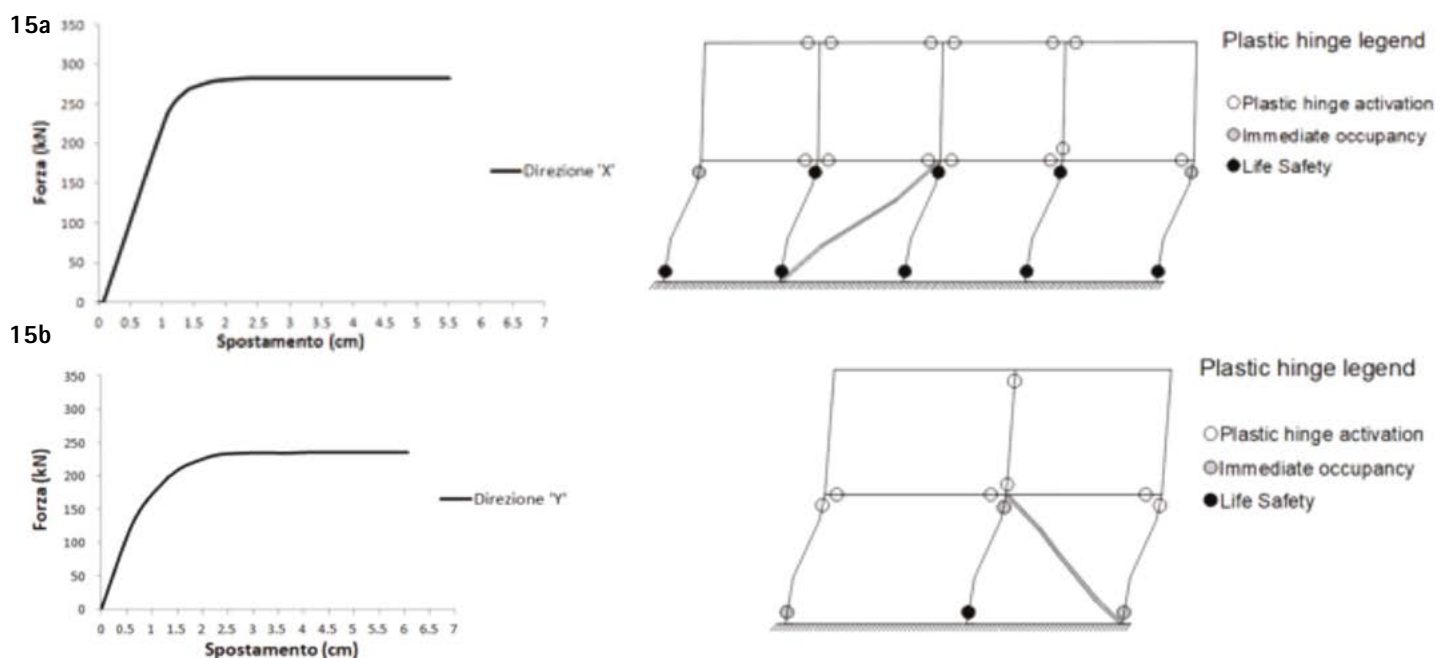


Fig. 15 - Risultati dell'analisi di pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con BRB (modello M2): 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con BRB (modello M1).

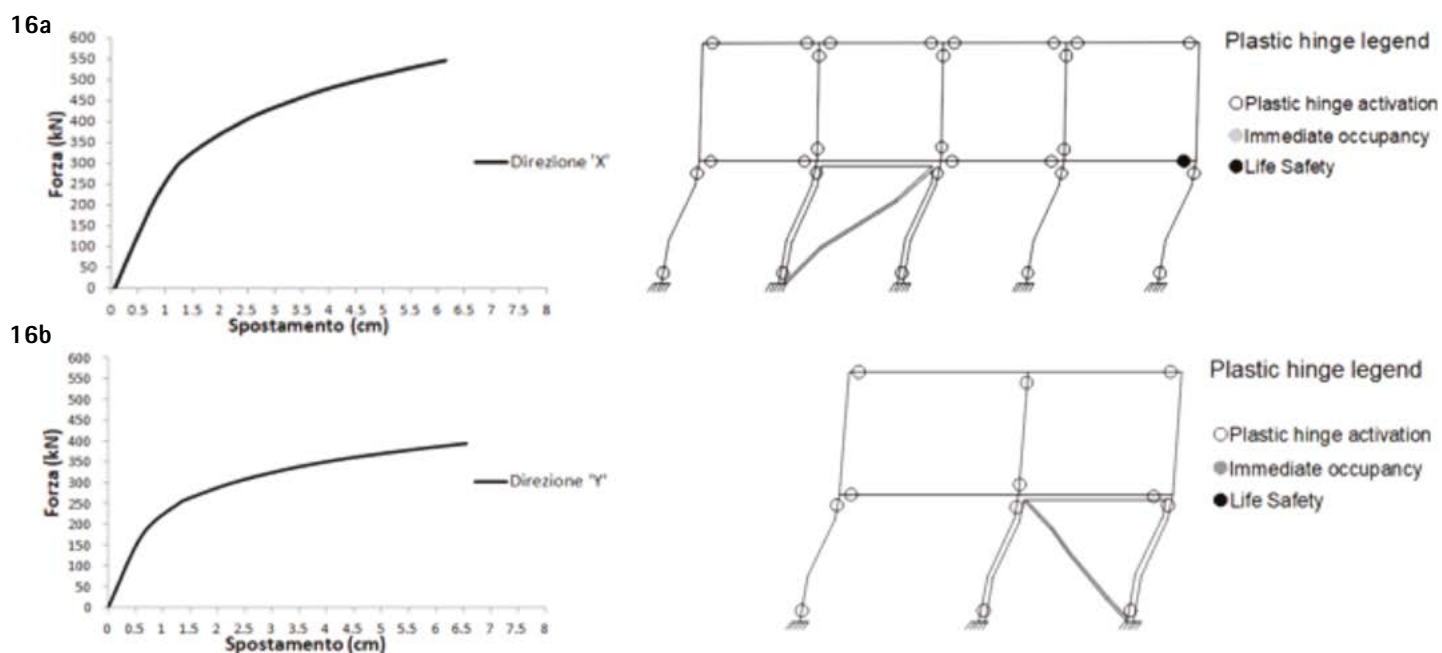


Fig. 16 - Risultati dell'analisi di pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con BRB e telai di rinforzo (modello M3)

cerniere plastiche, sempre al di sotto dello stato di “immediate occupancy”, dimostrando l’efficacia dell’inserimento dei telai di rinforzo rispetto al caso senza (modello M1).

Modello M4 (struttura con telaio di rinforzo nelle campate controventate e travi di fondazione)

Le figure 16a e 16b mostrano i risultati delle analisi *pushover* rispettivamente nelle direzioni “x” e “y” e l’illustrazione dei meccanismi di collasso finali raggiunti. Si nota un leggero peggioramento rispetto al caso precedente per il danneggiamento alla base dei pilastri dove è inserito il telaio di rinforzo.

4.5 Confronti

Dal confronto tra i due sistemi di miglioramento sismico, si ricorda che le due tecniche (BRB e C-FRP) sono state progettate allo scopo di fornire lo stesso incremento di resistenza alla struttura di base. Per soddisfare questo obiettivo, i controventi BRB sono stati dimensionati con minimi tecnologici. L’aggiunta dei telai di rinforzo nella soluzione BRB ha comportato un inevitabile incremento di resistenza rispetto alla soluzione C-FRP.

Il confronto fra i risultati delle analisi *pushover* è riportato in figura 18. Per ciascuna direzione “x” e “y” si distinguono i due casi con pilastri considerati incastrati alla base ed in presenza della fonda-

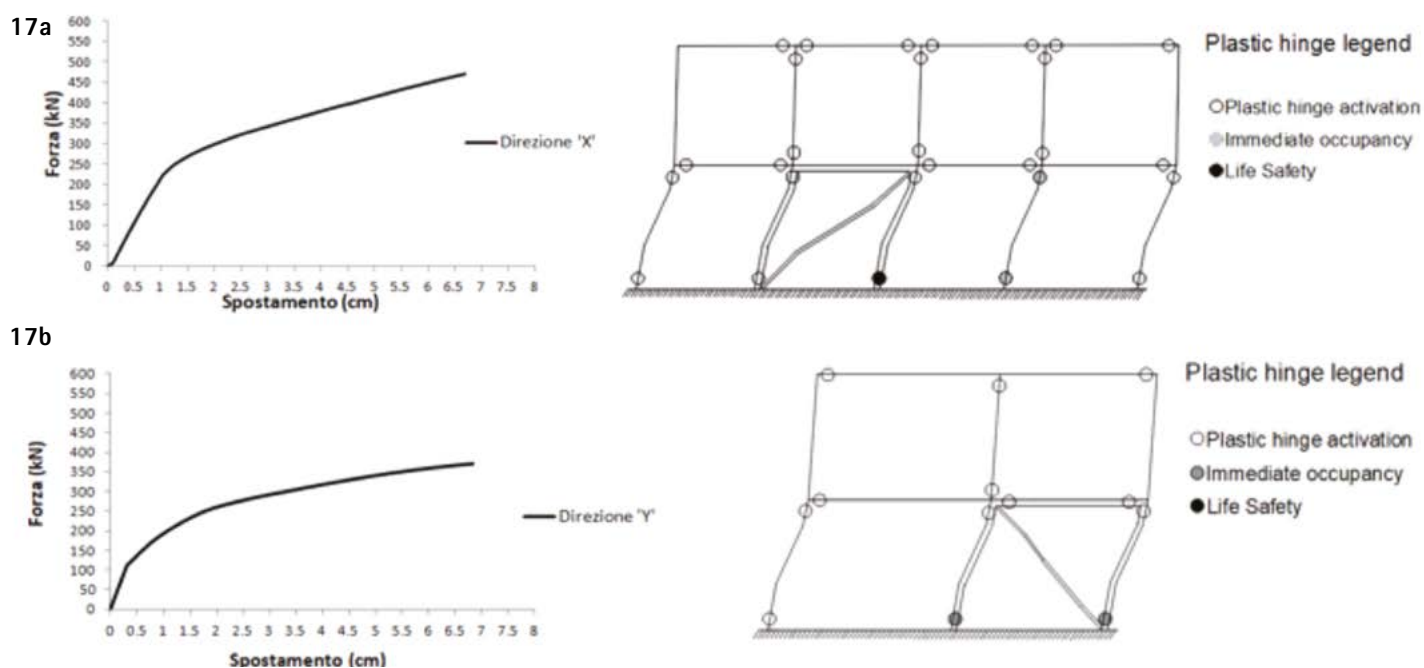


Fig. 17 - Risultati dell'analisi di pushover nelle direzioni 'x' (a) e 'y' (b) sulla struttura adeguata con BRB e telai di rinforzo (modello M4)

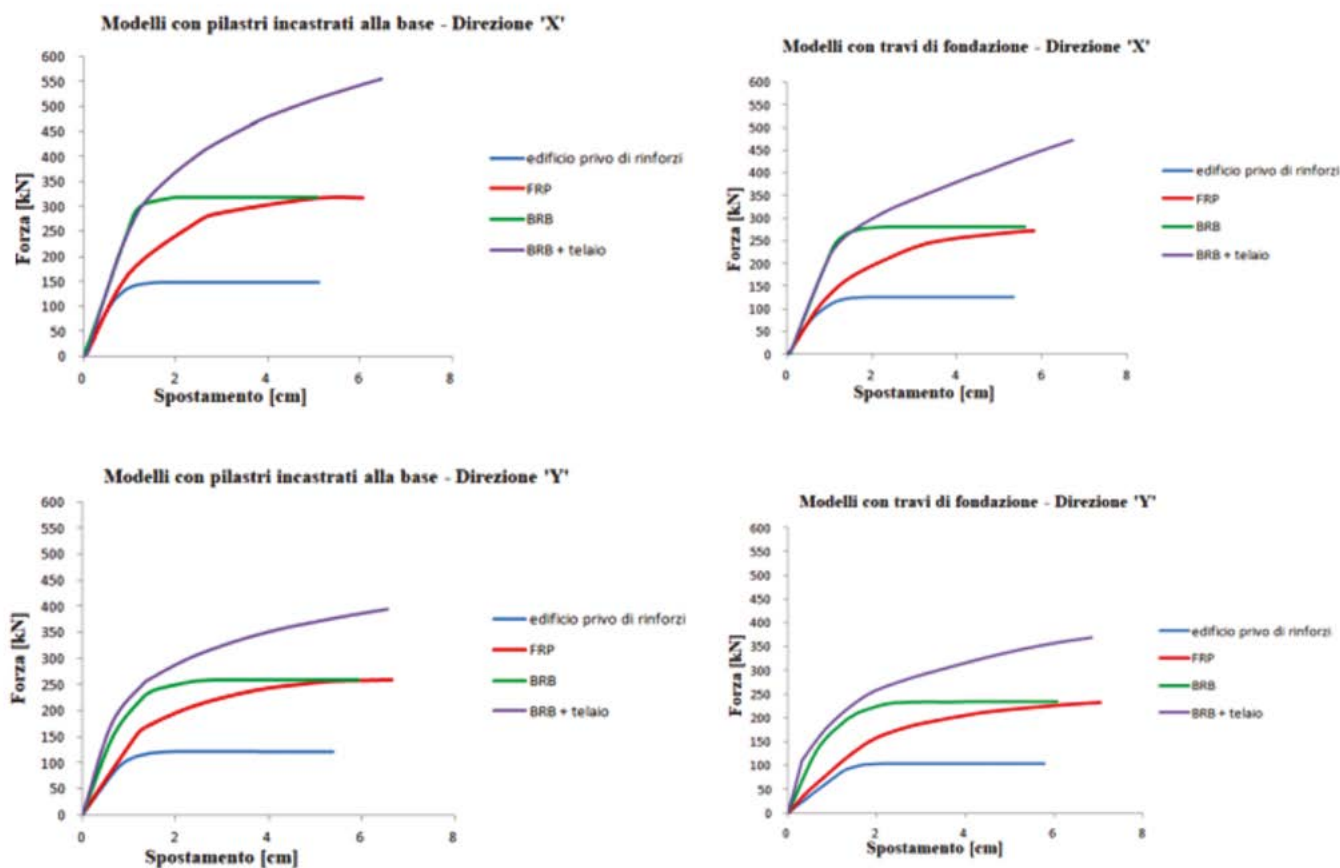


Fig. 18 - Confronto fra i risultati delle analisi pushover eseguite nelle due direzioni per tutti i modelli esaminati

zione. Con riferimento ai modelli M1 e M2, rispetto alla capacità portante originaria (curve azzurre), si osserva un incremento di resistenza di circa il 55% in entrambe le direzioni (curva rossa FRP, curva verde BRB), dove i controventi BRB conferiscono all'edificio una maggiore rigidezza, mentre l'intervento con FRP fornisce una migliore duttilità. Come era da attendersi, quando si inseriscono i telai di rinforzo in acciaio (modelli M3 e M4, curve blu), si ottiene un atteso incremento della resistenza variabile dal 34% al 42%, accompagnato da un miglioramento della duttilità.

Come da attendersi la presenza dell'“appoggio elastico” dovuto alla presenza delle fondazioni ha l'effetto di provocare un aumento delle caratteristiche della sollecitazione nei telai con conseguente riduzione della capacità portante complessiva soprattutto in direzione longitudinale.

L'applicazione dei due sistemi BRB e C-FRP (modelli M1 e M2) ha dato luogo ad un miglioramento sismico di quasi il 60%, valore minimo imposto per la richiesta di finanziamento dopo il terremoto de L'Aquila. In buona sostanza si può affermare che lo

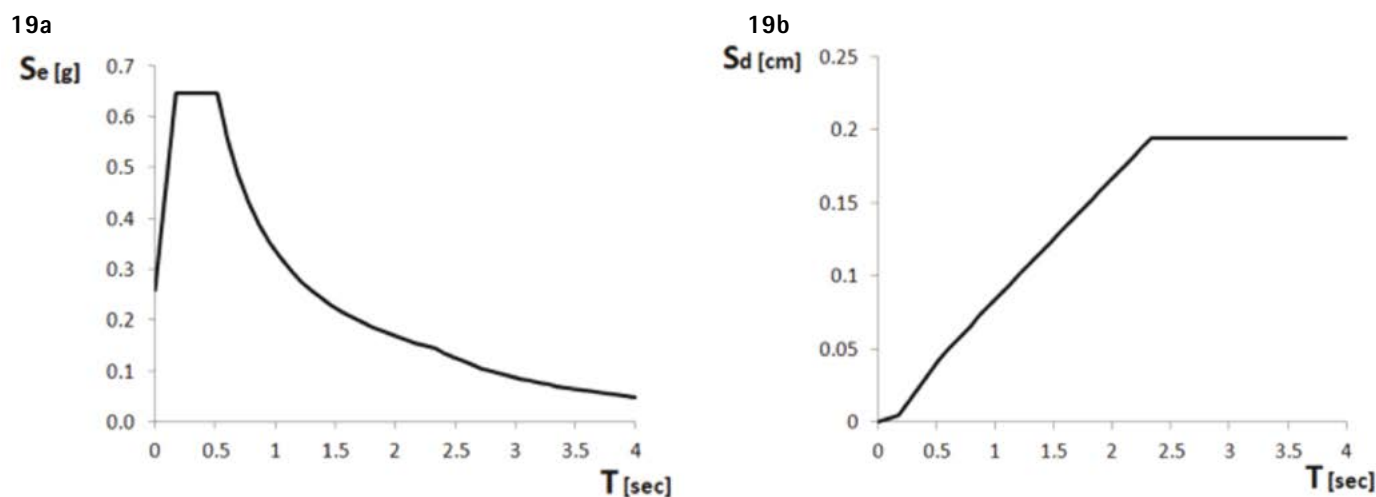
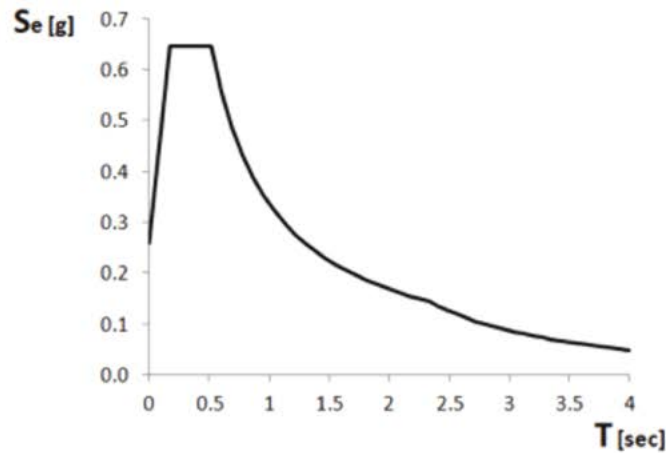


Fig. 19 - Spettro elastico allo SLV in termini di accelerazione (a) e spostamento (b) con riferimento al sito di costruzione dell'edificio (quartiere di Bagnoli in Napoli)

19a



19b

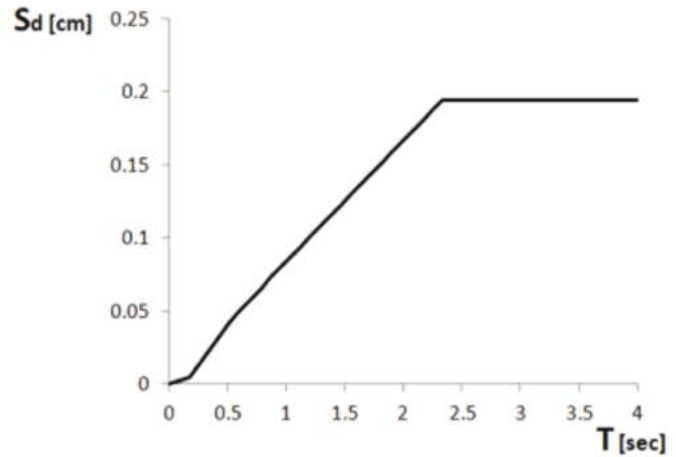


Fig. 19 - Spettro elastico allo SLV in termini di accelerazione (a) e spostamento (b) con riferimento al sito di costruzione dell'edificio (quartiere di Bagnoli in Napoli)

scopo del confronto è stato in pratica raggiunto, senza considerare l'effetto dei telai di rinforzo (modelli M3 e M4).

5. ANALISI DI VULNERABILITA'

5.1 Metodologia utilizzata

L'analisi di vulnerabilità sismica dei modelli esaminati è stata eseguita con il metodo N2 [137]. La sigla N2 indica che il metodo non è lineare (N) ed utilizza 2 modelli di calcolo della struttura: il modello MDOF (Multi Degree Of Freedom system, modello a più gradi di libertà) e quello SDOF (Single Degree Of Freedom system, modello ad un grado di libertà).

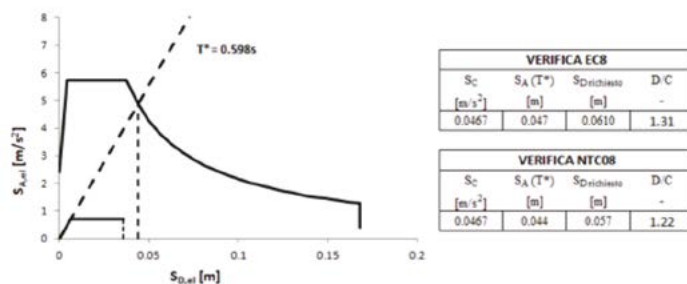
La domanda, in termini di sollecitazioni e deformazioni, si ottiene in corrispondenza dei valori di spostamento individuati sulla

curva di capacità della struttura relativi alla massima risposta attesa per le azioni sismiche corrispondenti ai diversi stati limite. Per calcolare questi punti si deve ridurre la struttura ad un modello equivalente ad un grado di libertà. Il passaggio dal modello iniziale MDOF ad un modello equivalente SDOF permette di valutare con maggiore semplicità la prestazione richiesta al sistema dal sisma preso in considerazione, cioè consente di utilizzare le informazioni derivanti dagli spettri elastici di risposta e quindi di calcolare le sollecitazioni a cui la struttura deve essere in grado di resistere per i diversi stati limite. Infatti, definito il sistema SDOF equivalente e calcolato il suo periodo proprio T^* , è immediato, con l'utilizzo dello spettro di risposta elastico in spostamento, dedurre lo spostamento massimo che il

5.2 Edificio esistente

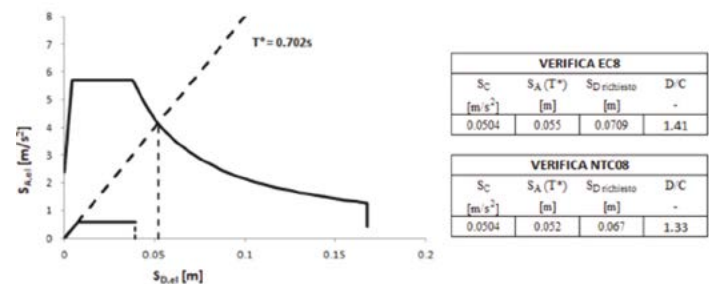
5.2.1 Direzione X

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)

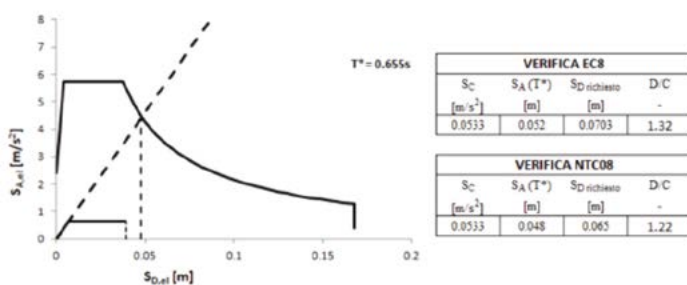


5.2.2 Direzione Y

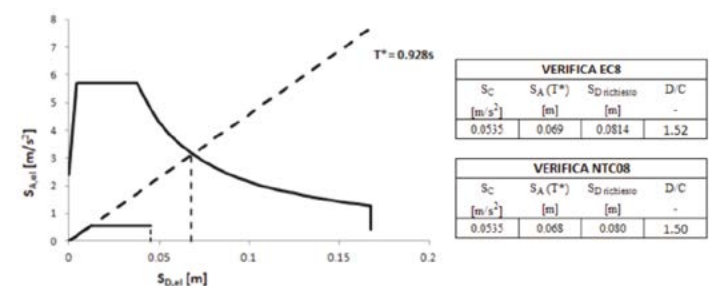
Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)



Modello M2 (struttura con travi di fondazione)



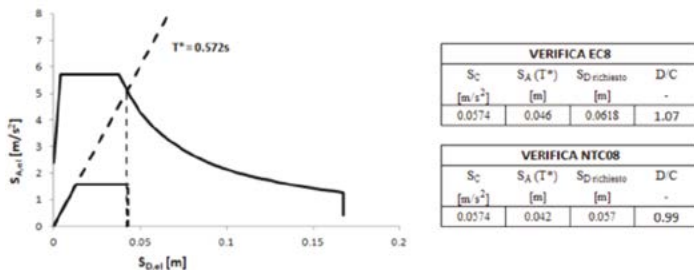
Modello M2 (struttura con travi di fondazione)



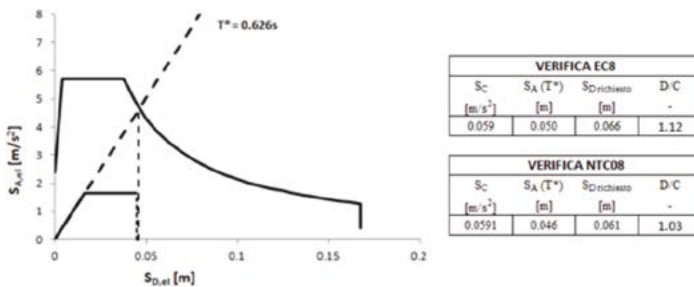
5.3 Edificio consolidato con FRP

5.3.1 Direzione X

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)

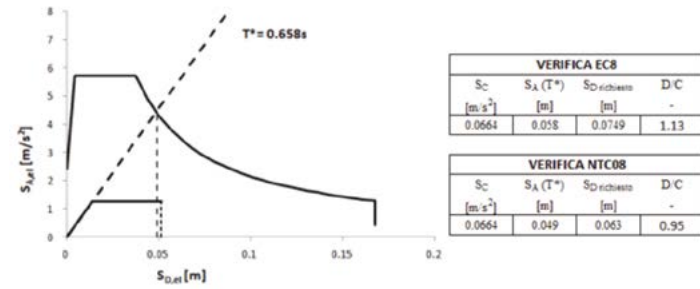


Modello M2 (struttura con travi di fondazione)

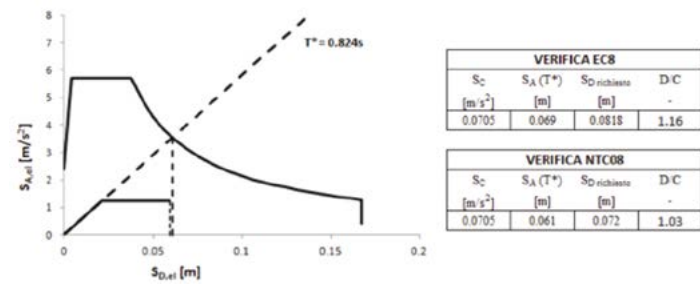


5.3.2 Direzione Y

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)



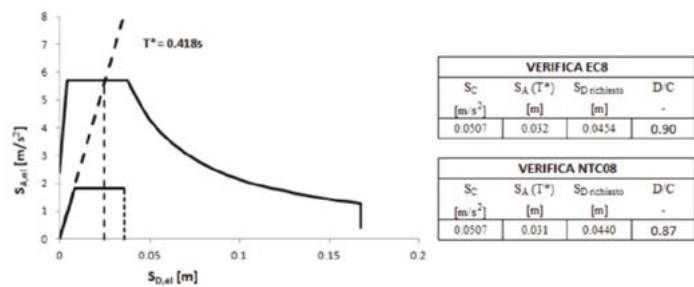
Modello M2 (struttura con travi di fondazione)



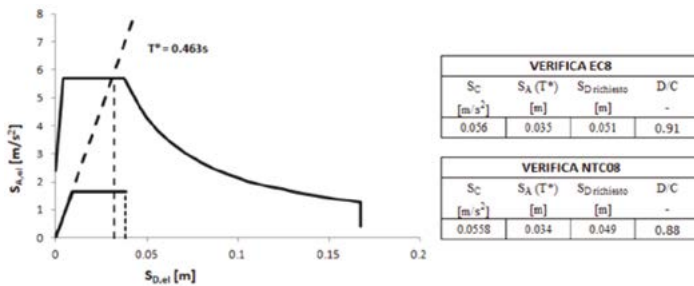
5.4 Edificio consolidato con BRB

5.4.1 Direzione X

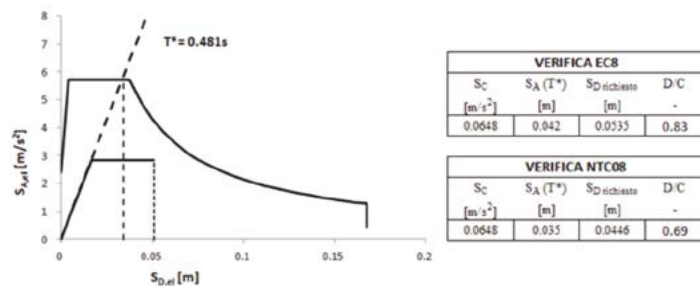
Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)



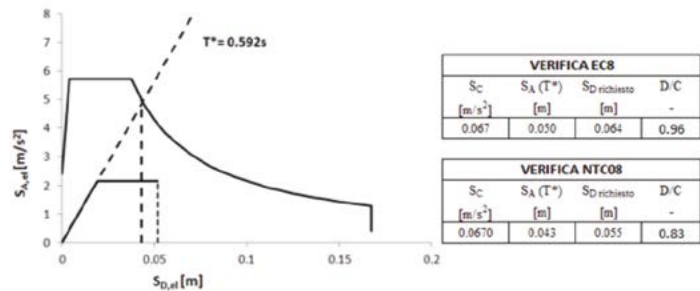
Modello M2 (struttura con travi di fondazione)



Modello M3 (struttura con telai di acciaio nelle campate controventate e pilastri incastrati alla base)



Modello M4 (struttura con telai di rinforzo nelle campate controventate e travi di fondazione)



sistema deve essere in grado di sopportare e, da questo, risalire allo spostamento massimo del sistema MDOF.

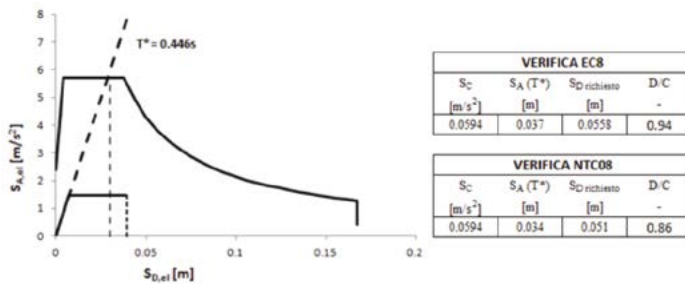
Il fine ultimo è quello di calcolare l'indice di vulnerabilità sismica $I_v = D/C$ valutato come il rapporto tra lo spostamento di domanda (D) e lo spostamento di capacità (C), che esprime il livello di vulnerabilità della struttura. Il valore 1 di tale indice rappresenta lo spartiacque tra le situazioni di adeguamento

sismico ($I_v \leq 1$) e quella di miglioramento ($I_v \geq 1$), quest'ultima caratterizzata da un valore ottimale $I_{v,m}$ comunque inferiore a quello iniziale $I_{v,0}$ della struttura prima di ogni intervento di consolidamento ($I_{v,m} \leq I_{v,0}$).

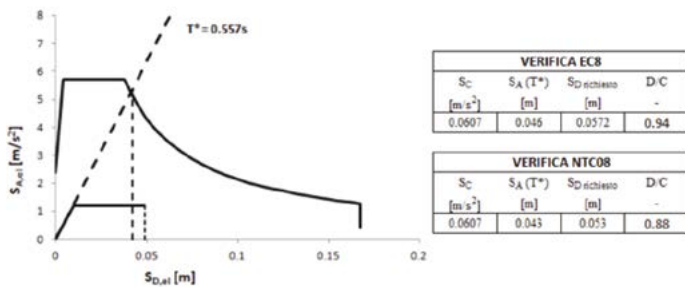
Nella figura 19a è riportato lo spettro di risposta elastico in termini di accelerazione per il sito di riferimento, mentre in figura 19b è riportato lo spettro in termini di spostamento;

5.4.2 Direzione Y

Modello M1 (struttura con pilastri incastrati alla base)



Modello M2 (struttura con travi di fondazione)



entrambi vengono utilizzati per le verifiche di vulnerabilità. I paragrafi che seguono illustrano, per ogni modello analizzato, i rapporti domanda/capacità calcolati attraverso le disposizioni dell'Eurocodice 8 (EC8) [138] e delle norme italiane NTC08 [139]. I risultati delle analisi per i vari casi esaminati sono riportati nel seguito in forma grafica e tabulare. I valori del rapporto domanda/capacità riportati in tabella si riferiscono all'applicazione di entrambe le normative (EC8 e NTC08); mentre i grafici sono relativi solo a quest'ultima.

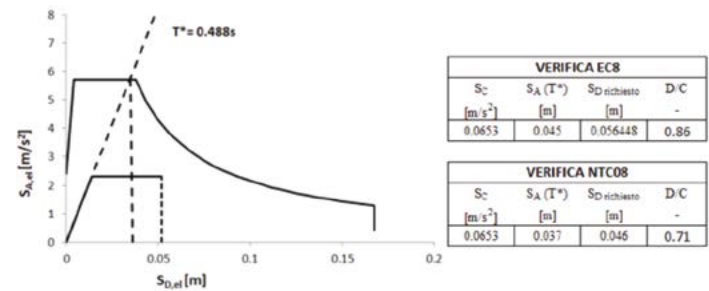
5.5 Riepilogo dei risultati

La tabella 1 e gli istogrammi delle figure 20a e 20b riportano il riepilogo di tutti gli indici sismici $I_v = D/C$ definiti al paragrafo precedente e calcolati per la struttura consolidata sia con BRB che con C-FRP in entrambe le direzioni di analisi. I rapporti D/C calcolati con l'EC8 forniscono in tutti i casi valori maggiori di quelli calcolati con le NTC08. La direzione trasversale risulta sempre la più vulnerabile, in quanto fornisce indici sempre più alti rispetto a quelli ricavati in direzione longitudinale.

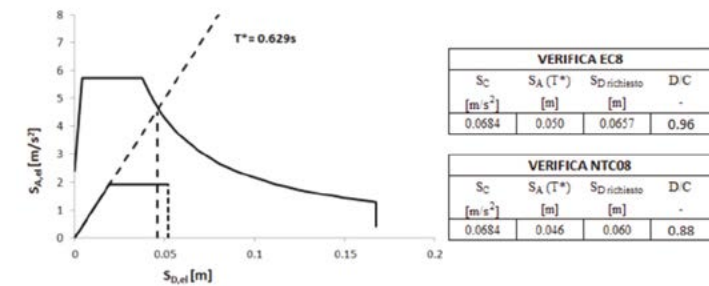
In generale si osserva che, come era da attendersi, l'inserimento delle fondazioni nel modello produce un incremento dell'indice di vulnerabilità per la struttura in elevazione.

Dai risultati riportati in tabella appare evidente che tutti gli interventi di consolidamento hanno raggiunto lo scopo di migliorare il comportamento sismico dell'edificio. Con l'uso degli FRP si ottiene un miglioramento che riduce l'indice di vulnerabilità da un valore massimo di 1,50 fino a valori lievemente inferiori all'unità (0,95). Di contro, l'impiego del sistema BRB

Modello M3 (struttura con telai di rinforzo nelle campate controventate e pilastri incastrati alla base)



Modello M4 (struttura con telai di rinforzo nelle campate controventate e travi di fondazione)



ha sempre dato luogo ad un adeguamento sismico, che risulta molto più spinto quando si introducono i telai di acciaio di rinforzo che esercitano anche la funzione di cerchiatura delle maglie controventate.

6. ANALISI DEI TEMPI E DEI COSTI

6.1 Generalità

Nei successivi paragrafi viene riportata la descrizione dettagliata dei tempi di realizzazione e dei costi di lavorazione, necessari per realizzare l'intervento di consolidamento sismico mediante le due tecniche esaminate. Il prezzo unitario di ciascuna lavorazione include il costo dei materiali, della manodopera, del trasporto e del noleggio, che devono aggiungersi ai costi della sicurezza ed al profitto dell'impresa di costruzione. In generale, i prezzi si riferiscono al listino ufficiale della Regione Campania (2016) [140], mentre i prezzi assenti in questo elenco si riferiscono ai listini ufficiali di altre regioni o ai prezzi applicati dalle imprese edili che hanno lavorato con queste tecniche.

6.2 intervento con C-FRP

Con riferimento al rinforzo sismico con C-FRP, la prima attività riguarda l'allestimento del cantiere con l'installazione dei ponteggi mobili sulle facciate. I ponteggi sono composti da tubi in acciaio collegati da giunti e devono estendersi lungo tutto il perimetro dell'edificio, in quanto il rinforzo con C-FRP interessa tutti i pilastri. L'altezza massima da raggiungere è 6 m, mentre la lunghezza totale è 61 m. Seguendo le direttive EN12810-1 [141], per garantire la sicurezza dei lavoratori e un facile montaggio

degli elementi, è stata scelta un'impalcatura con moduli avente lunghezza di 1,05 o 1,80 m ed altezza di 2 m. Questo sistema copre un'area di 226,8 m² lungo i lati maggiori e di 151,2 m² lungo i lati minori dell'edificio.

La prima lavorazione necessaria per la realizzazione del rinforzo strutturale è la demolizione di porzioni della tamponatura esterna e della tramezzatura interna (figura 21). Come già descritto, la tamponatura presenta una doppia fodera di mattoni con camera d'aria intermedia. Le foderne interne ed esterne di tali murature hanno una superficie di 156 m², mentre le pareti divisorie interne hanno una superficie di 28,5 m² e 20,25 m², rispettivamente al primo ed al secondo piano. Oltre alle pareti, dovranno essere demolite porzioni di pavimentazione e massetto. La figura 20 mostra l'area da rimuovere, che è pari a 5,24 m². Dopo la fase di demolizione, i materiali di risulta vengono raccolti e trasportati in discarica. Il prezzo unitario per quest'operazione è di 30,9 Euro/m³.

Il passo successivo è l'installazione dei rinforzi in C-FRP, descritti nel paragrafo 3.1. Per quanto riguarda i pilastri perimetrali, sul lato esterno vengono applicate quattro strisce di C-FRP aventi larghezza di 50 mm, spessore di 1,4 mm e lunghezza di 1,5 m. Il prezzo unitario di tali materiali, non presente nel listino prezzi ufficiale della Regione Campania, è stato ricavato dal listino ufficiale della Regione Abruzzo (2014) [142] ed è stato assunto pari a 247,50 Euro/m². Essendo 13 i pilastri perimetrali, vengono pertanto impiegati 5,1 m² di nastri in C-FRP.

Per quanto riguarda i lati interni dei pilastri di facciata, nonché tutti e quattro i lati dei pilastri interni, sono utilizzati fiocchi di carbonio. Anche questo prezzo non è presente nel listino ufficiale

STRUTTURA	DIREZIONE X		DIREZIONE Y		
	EC8	NTC08	EC8	NTC08	
Esistente	M1	1.31	1.22	1.41	1.33
	M2	1.32	1.22	1.52	1.50
Intervento con FRP	M1	1.07	0.99	1.13	0.95
	M2	1.12	1.03	1.16	1.03
Intervento con BRB	M1	0.90	0.87	0.94	0.86
	M2	0.91	0.88	0.94	0.88
Intervento con BRB e telai in acciaio	M3	0.83	0.69	0.86	0.71
	M4	0.96	0.83	0.96	0.88

Tabella 1 - Riepilogo dei rapporti domanda/capacità per ogni modello analizzato e per ogni direzione

della Regione Campania e, pertanto, è fatto riferimento al costo unitario praticato da un'azienda produttrice italiana (Mapei). In particolare, il prezzo unitario assunto di 122,96 Euro fa riferimento ad una barra di un metro avente diametro di 12 mm (Mape Wrap Fiocco). Per garantire il rinforzo strutturale proposto, sono impiegate 102 barre ciascuna aventi una lunghezza di 1,5 metri. Inoltre, al fine di garantire un confinamento della sezione trasversale dei pilastri e per evitare lo srotolamento delle fibre longitudinali, sono disposti fogli di C-FRP in direzione trasversale. Anche in questo caso, essendo il prodotto non presente nel listino ufficiale della Regione Campania, viene utilizzato un prezzo di 247,50 Euro/m² in accordo al listino ufficiale della Regione Abruzzo (2014). Per ogni pilastro sono risultati necessari fogli trasversali di C-FRP aventi un'area di 0,3 m².

Il passo successivo riguarda il ripristino delle parti precedentemente demolite. Per la ricostruzione delle pareti sono utilizzati mattoni aventi le stesse caratteristiche di quelli precedentemente demoliti, sia per la tamponatura che per le tramezzature interne. La fodera interna, così come la tramezzatura interna, è composta da mattoni in cemento con percentuale di vuoti del

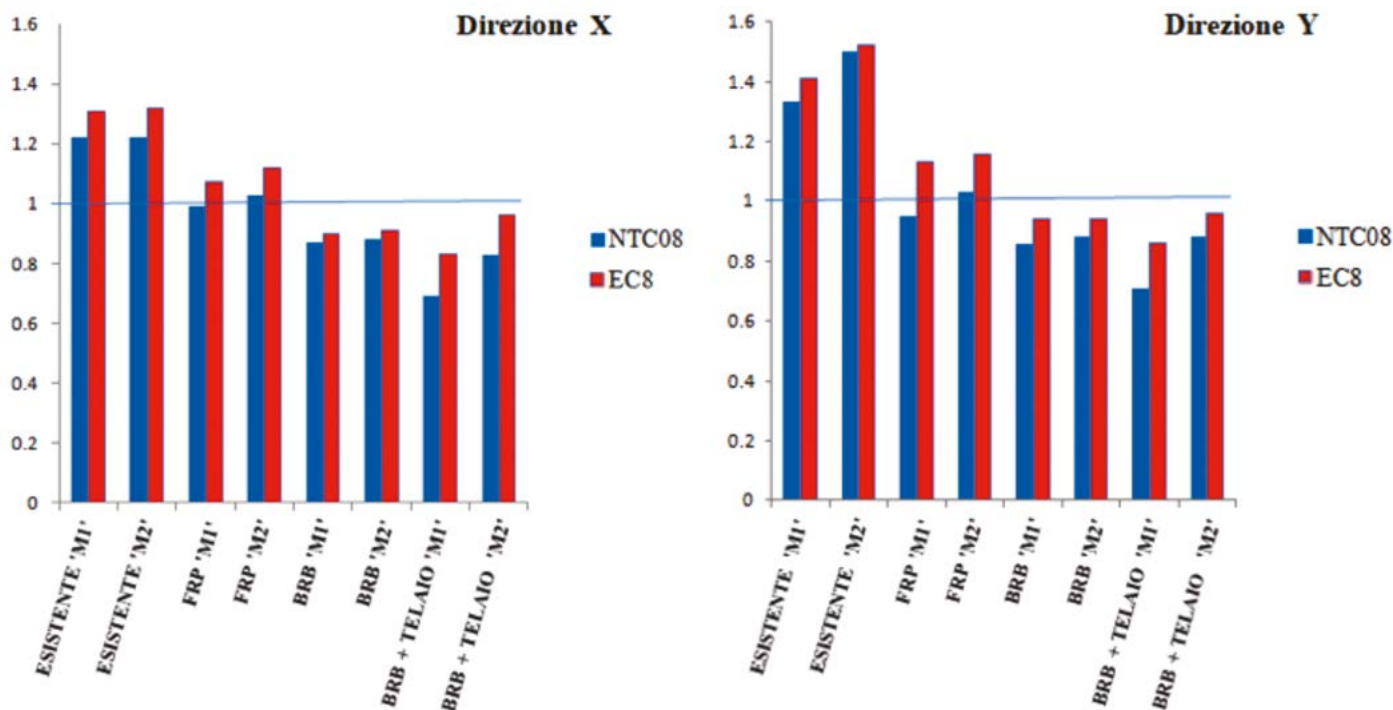


Fig. 20 - Istogrammi dei rapporti domanda/capacità per ogni modello analizzato e per ogni direzione.

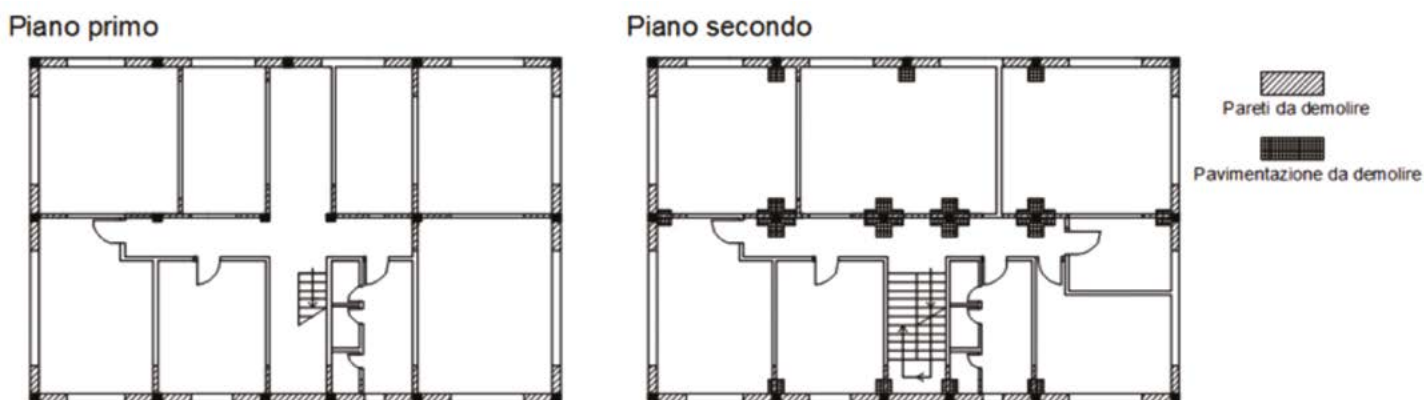


Fig. 21 - Componenti non strutturali da demolire

50%, ed ha un prezzo unitario è di 26,82 Euro/m². La fodera esterna è composta da mattoni di argilla faccia a vista, con percentuale di vuoti del 50%, con prezzo unitario di 37,69 Euro/m². Successivamente si procede al ripristino del massetto e della pavimentazione, i cui prezzi unitari sono rispettivamente di 14,09 Euro/m² e 48,16 Euro/m².

Sulle fodere interna ricostruita dovrà essere applicato l'intonaco civile costituito da tre strati (prezzo unitario di 18,09 Euro/m²) e lo stucco (prezzo unitario di 8,68 Euro/m²). Infine, l'ultima attività è la tinteggiatura interna. Si utilizza una vernice lavabile composta da resine sintetiche avente prezzo unitario di 7,94 Euro/m².

Considerando quattro uomini al lavoro, il tempo stimato per completare tutti i lavori sopra indicati è di 25 giorni. La tabella 2 mostra l'elenco delle attività e la durata di ciascuna di esse. Il costo totale di tutti gli interventi descritti relativi al rinforzo con C-FRP è di 53.321,09 Euro. Inoltre, considerando che durante i lavori l'edificio è inutilizzabile, ai costi prima descritti deve essere aggiunto il costo sostenuto dalle persone per soggiornare in albergo. Supponendo che l'edificio sia utilizzato da quattro famiglie (due per ogni piano) composte da 4 persone ciascuna e considerando che il prezzo medio della zona per un albergo 3 stelle con pensione completa è di 80 Euro/giorno a persona, il costo del soggiorno per 16 persone in 25 giorni è pari a 32.000 Euro. Pertanto, il costo finale relativo agli interventi di rinforzo con C-FRP è di 85.321,09 Euro. La tabella 3 mostra un riepilogo dei costi per tutte le tipologie di lavorazione.

6.3 Intervento con BRB

Per quanto riguarda il rinforzo strutturale ottenuto adottando i controventi ad instabilità impedita, anche in questo caso la prima attività consiste nel posizionamento dei ponteggi mobili sulle facciate dell'edificio, che interessano una lunghezza di 19,10 m. I BRB sono collocati solo al primo livello e, pertanto, l'altezza massima dei ponteggi è di 4,5 m. Considerando che un singolo modulo, così come descritto nel paragrafo precedente,

ha un'altezza di 2 m e una lunghezza di 1,8 m, è necessario un totale di 24 moduli, ovvero sei moduli per ogni lato dell'edificio. I BRB sono posizionati nella camera d'aria tra la fodera interna ed esterna delle tamponature. Di conseguenza, la prima lavorazione consiste nella demolizione della fodera esterna, nonché di piccole porzioni di quella interna, per il posizionamento delle piastre di ancoraggio. È quindi necessario demolire una superficie di fodera esterna pari a 76,07 m², mentre per la fodera interna la superficie da demolire è di 2 m². Dopo tali operazioni, i materiali di risulta, aventi un volume di 7,82 m³, vengono raccolti e trasportati in discarica. Sulla base delle indicazioni fornite dalle aziende produttrici, l'installazione di BRB ha un prezzo unitario di 4,30 Euro/kg. In particolare, secondo una precedente applicazione reale [109,110] questo prezzo è dato dalla somma di tre aliquote: costo del materiale (1,10 Euro/Kg), costo di produzione (1,70 Euro/Kg) e costo di montaggio in sito (1,50 Euro/Kg). Considerando che devono essere installati quattro controventi BRB, uno per ogni lato della struttura (figura 4), e che il peso di ciascuno di essi è di 151,25 Kg, il peso totale dell'acciaio per questi dispositivi è di 605 Kg. Nell'intervento di consolidamento mediante controventi BRB integrati dalla cerchiatura della maglia con telai di acciaio, si deve aggiungere il costo dei profili IPE120 che compongono tale cerchiatura, nonché il costo dei connettori acciaio-clc necessari per l'installazione della stessa. Il prezzo unitario per l'acciaio da utilizzarsi è di 3,03 euro/Kg, mentre il costo per ogni singolo connettore è di 3,00 euro.

La fase successiva è caratterizzata dal ripristino della fodera di mattoni esterna. Seguendo lo stesso criterio esposto nel paragrafo precedente, vengono utilizzati mattoni aventi le stesse caratteristiche di quelli precedentemente demoliti, il cui prezzo unitario è di 37,69 Euro/m².

Per quanto riguarda le operazioni di consolidamento con i BRB, considerando quattro uomini al lavoro per giorno, il tempo stimato per completare tutti i lavori è di 8 giorni. Nel caso in cui ai controventi BRB vengano aggiunti i telai di acciaio, il

tempo stimato è invece di 12 giorni.

Le tabelle 4 e 5 mostrano l'elenco di tutte le lavorazioni e la rispettiva durata. Il costo totale per il rinforzo strutturale mediante l'installazione dei BRB è di 7.418,84 Euro, mentre risulta quantificabile in 10.075,88 Euro nel caso di installazione anche della cerchiatura con telai di acciaio. La tabella 6 mostra un riepilogo dei costi necessari per ogni tipo di lavorazione condotta.

6.4 Confronti dei tempi e dei costi

In figura 22 sono riportati due diagrammi tridimensionali, uno per ciascuna direzione di analisi, che illustrano i tempi di realizzazione, i costi e le massime resistenze raggiunte dalle tre tecniche di consolidamento sismico (C-FRP, BRB e BRB+telai) presentate in questo lavoro. Dall'analisi di questi risultati appare evidente che la scelta economicamente più vantaggiosa è quella che prevede l'intervento con controventi BRB, che tra l'altro hanno anche i più bassi tempi di realizzazione.

Infatti l'utilizzo della tecnica di intervento con C-FRP risulta la soluzione più costosa, caratterizzata da un costo totale pari a 7,19 volte quello dei BRB. Considerando anche l'onere del soggiorno in albergo degli abitanti nel corso delle lavorazioni, il costo complessivo mediante la tecnica di intervento con C-FRP è pari a 11,50 volte quello dei BRB. Anche i tempi di realizzazione di tale intervento sono più lunghi, risultando superiori di 3,12 volte.

Per quanto riguarda l'intervento di consolidamento con BRB e telai di acciaio, il relativo costo supera del 26% quello dell'intervento con semplici diagonali BRB ed il tempo di realizzazione aumenta di 4 giorni. Di contro, questa tecnica di consolidamento più completa incrementa il valore di resistenza dal 34% al 42% in relazione alla direzione, rispetto a quella offerta dai due interventi con soli controventi BRB e con C-FRP, che per l'ipotesi progettuale di partenza era stato imposto essere la stessa.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUL CASO DI STUDIO

Il presente lavoro ha trattato il problema del miglioramento sismico di un edificio a struttura intelaiata in cemento armato. Scelto come caso di studio, l'edificio di riferimento, progettato unicamente per resistere ai carichi gravitazionali, era situato nell'ex complesso industriale ILVA di Bagnoli (Napoli), oggi demolito a seguito dei lavori di bonifica di quell'area.

Il progetto del consolidamento è stato effettuato attraverso due tecniche: la prima basata sulle fibre di carbonio (C-FRP) applicate sotto forma di nastri, fiocchi e fogli; la seconda che prevede l'impiego di controventi ad instabilità impedita (BRB), sia utilizzati da soli sia con l'aggiunta di telai di acciaio collegati sia ai controventi che alla struttura in c.a.

L'intervento mediante C-FRP ha riguardato tutti i pilastri, che sono stati rinforzati lungo i quattro lati della propria sezione tra-

Attività		Durata	
1	Allstimento cantiere	1 g	
2	Demolizione tamponatura e tompagnatura	2 g	
3	Demolizione pavimentazione	1 g	
4	Trasporto a discarica	1 g	
5	Posa in opera dei nastri C-FRP	3 g	
6	Posa in opera dei fiocchi C-FRP	5 g	
7	Posa in opera dei fogli C-FRP	1 g	
8	Ricostruzione tamponatura e tompagnatura	4 g	
9	Ricostruzione pavimentazione	1 g	
10	Intonacatura e stuccatura	4g	
11	Tinteggiatura	4g	
12	Smobilizzo cantiere	1 g	
Rinforzo con FRP (Totale)		25 g	

Tabella 2 - Cronoprogramma per l'intervento con C-FRP

Adeguamento Con FRP					
Lavorazione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario (€)	Costo totale (€)	
1	Ponteggio mobile	m ²	378	17.62	6660.36
2	Demolizione fodera interna tamponatura	m ²	78	4.78	372.84
3	Demolizione fodera esterna tamponatura	m ²	78	4.78	372.84
4	Demolizione tramezzatura interna	m ²	50.25	4.78	240.20
5	Demolizione pavimentazione	m ²	5.24	8.35	43.75
6	Demolizione massetto	m ²	5.24	14.15	74.15
7	Trasporto a discarica	m ³	24.84	30.90	767.56
8	Nastri in C-FRP	m ²	5.1	247.50	1262.25
9	Fiocchi in C-FRP	m	153	122.96	18812.88
10	Fogli in C-FRP	m ²	10.2	247.50	2524.50
11	Ricostruzione fodera interna tamponatura	m ²	78	26.82	2091.96
12	Ricostruzione fodera esterna tamponatura	m ²	78	37.69	2939.82
13	Ricostruzione tramezzatura interna	m ²	50.25	26.82	1347.71
14	Massetto	m ²	5.24	14.09	73.83
15	Pavimento	m ²	5.24	48.16	252.36
16	Intonacatura	m ²	86.5	18.09	1564.79
17	Stuccatura	m ²	86.5	8.68	750.82
18	Tinteggiatura pareti interne	m ²	1658.5	7.94	13168.49
TOTALE					53321.09
19	Soggiorno in Hotel 3 stelle pensione completa	persona per giorno	16	80	32000.00
TOTALE					85321.09

Tabella 3 - Costi per l'intervento con i C-FRP

Attività		Durata	
1	Allstimento cantiere	1 g	
2	Demolizione fodera esterna tamponatura	1 g	
3	Trasporto a discarica	1 g	
4	Posa in opera BRB	4 g	
5	Ricostruzione fodera esterna tamponatura	2 g	
6	Smobilizzo cantiere	1 g	
Rinforzo con BRB (Totale)		8 g	

Tabella 4 - Cronoprogramma per l'intervento con BRB

sversale; mentre, utilizzando la tecnica BRB, sono stati introdotti quattro controventi, due per lato, al primo livello dell'edificio. Per garantire l'obiettività del confronto, lo scopo di questo studio è stato quello di progettare i due interventi di consolidamento sismico in modo da ottenere la stessa capacità di resistenza nei riguardi delle azioni orizzontali. Mediante analisi statiche non lineari condotte con l'uso del software SAP2000, è stato valutato il comportamento dell'edificio prima e dopo l'applicazione delle tecniche considerate. Sono stati poi calcolati mediante il metodo N2 gli indici di vulnerabilità sismica attraverso i rapporti domanda/capacità ed infine sono stati confrontati per tutti gli interventi i costi ed i tempi di realizzazione.

Attività		Durata
1	Allestimento cantiere	1 d
2	Demolizione fodera esterna tamponatura	1 d
3	Trasporto a discarica	1 d
4	Posa in opera IPE120 per cerchiatura	4 d
5	Posa in opera BRB	4 d
6	Ricostruzione fodera esterna tamponatura	2 d
7	Smobilizzo cantiere	1 d
Rinforzo con BRB e telaio di acciaio (Totale)		12 d

Tabella 5 - Cronoprogramma per l'intervento con BRB e telai di acciaio

Lavorazione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
1	Posteggio mobile	m ²	86.4	1522.37
2	Demolizione fodera esterna tamponatura	m ²	78.07	373.17
3	Trasporto in discarica	m ³	7.82	241.64
4	BRB	kg	544	2339.20
5	Ricostruzione fodera esterna tamponatura	m ²	78.07	2942.46
TOTALE INTERVENTO CON BRB				7418.84
6	Cerchiatura metallica	kg	726	2207.04
7	Connettori acciaio-clc	caduno	150	450.00
TOTALE INTERVENTO CON BRB e TELAIO DI ACCIAIO				10075.88

Tabella 6 - Costi per l'intervento con BRB

Confrontando le curve *pushover* della struttura consolidata con entrambi i sistemi con quelle della struttura originaria, si nota un aumento di resistenza del 53% in entrambe le direzioni. Inoltre, si può notare un aumento di rigidezza di circa il 40% e il 50% nelle direzioni "x" e "y" rispettivamente nel caso C-FRP e nel caso BRB. In termini di duttilità invece, il sistema C-FRP conferisce alla struttura il miglior comportamento, con un aumento degli spostamenti al collasso di circa il 20% in entrambe le direzioni. L'inserimento dei telai di acciaio nelle campate controventate porta alla struttura un importante beneficio sia in termini di resistenza, che di duttilità. In particolare si può notare un ulteriore aumento di resistenza che varia dal 34% al 42% a seconda delle direzioni.

Per quanto riguarda i rapporti domanda/capacità, ottenuti mediante verifica sismica agli spostamenti eseguita in accordo con la normativa italiana NTC08 impiegando il metodo N2, risulta che, adottando le tecniche di consolidamento esaminate in questo studio, si raggiunge quasi sempre il livello di adeguamento sismico e che le migliori prestazioni sono fornite con l'intervento che prevede l'uso di controventi BRB integrati da telai di acciaio. Dall'analisi dei costi, è risultato che l'impiego della tecnica BRB è la soluzione più economica e richiede anche tempi di realizzazione inferiori. La tecnica di intervento con C-FRP risulta invece la più costosa, caratterizzata da un costo totale pari a circa 7 volte superiore a quello dell'intervento con BRB. Considerando anche l'onere del soggiorno in albergo per gli abitanti nel periodo di esecuzione dell'intervento, il costo mediante la tecnica C-FRP risulta superiore di circa 11 volte quello con BRB. Anche i tempi di realizzazione dell'intervento con C-FRP risultano più lunghi, con durata 2,25 volte maggiore dei tempi necessari ad applicare la tecnica dei BRB. Per quanto riguarda l'intervento

di consolidamento con diagonali BRB con l'aggiunta di telai di acciaio, il costo si incrementa del 26% ed anche la tempistica di lavorazione è di 4 giorni più lunga, riducendo in parte il divario fra i risultati del confronto. Di contro questa tecnica di intervento più completa consente alla struttura consolidata di esibire il massimo incremento di resistenza alle azioni orizzontali.

8. OSSERVAZIONI GENERALI

Il risultato dell'esame dei risultati ottenuti parla da solo e non avrebbe bisogno di ulteriori commenti. Ma se confrontati con lo scenario delle scelte effettuate dai progettisti de L'Aquila, si rimane quanto meno sconcertati. Il desiderio di trovare una spiegazione logica che giustifichi un divario così imponente è pressante e dà luogo ad uno sfogo immediato.

Innanzitutto bisogna fare i complimenti all'industria dei materiali compositi che ha saputo imporsi così capillarmente nel fertile terreno del post-sisma, pur essendo questa tecnologia alquanto recente e priva di background di lungo periodo.

Mentre al contrario una nota di biasimo va rivolta all'industria dell'acciaio che non ha saputo sfruttare (parola forse non appropriata, ma che rende bene il significato) questa situazione di necessità.

Per ottenere una risposta soddisfacente che spieghi razionalmente quanto si è verificato, occorre approfondire alcuni aspetti partendo dalle origini. Partire dalle origini significa esaminare i programmi di studio dei corsi universitari di Ingegneria Civile. Fin dagli inizi degli anni '50 del secolo scorso, la materia "Strutture di Acciaio" ha sofferto dell'assenza di materiale didattico e di supporto ai progettisti, unitamente alla mancanza di una normativa tecnica adeguata.

Bisogna attendere la fine degli anni '70 per osservare che entrambe le carenze iniziavano a venire in parte colmate sia come testi di base (Ballio, Mazzolani [143-145]) che come normativa (le CNR-UNI 10011 con i successivi aggiornamenti [146]). L'attività editoriale è poi proseguita coprendo vari aspetti specifici della Costruzione Metallica [147-155].

Va inoltre ricordato che a quell'epoca una importante attività di disseminazione didattica e di aiuto professionale veniva svolta nel periodo 1970-1990 dalla società Italsider, con le sue numerose pubblicazioni (sagomari, manuali, dispense con dettagli costruttivi, monografie rivolte alle principali tipologie applicative, collane tecnico-scientifiche per la progettazione delle strutture di acciaio ed altro). Dopo la scomparsa dell'Italsider, questa attività non è stata più ripresa con lo stesso vigore.

Tuttavia, nonostante che l'originaria carenza di materiale didattico e divulgativo sulle Costruzioni Metalliche fosse stata colmata, i principali corsi universitari continuarono ad essere dedicati prevalentemente al cemento armato, considerato da sempre come il principale materiale strutturale da costruzione,

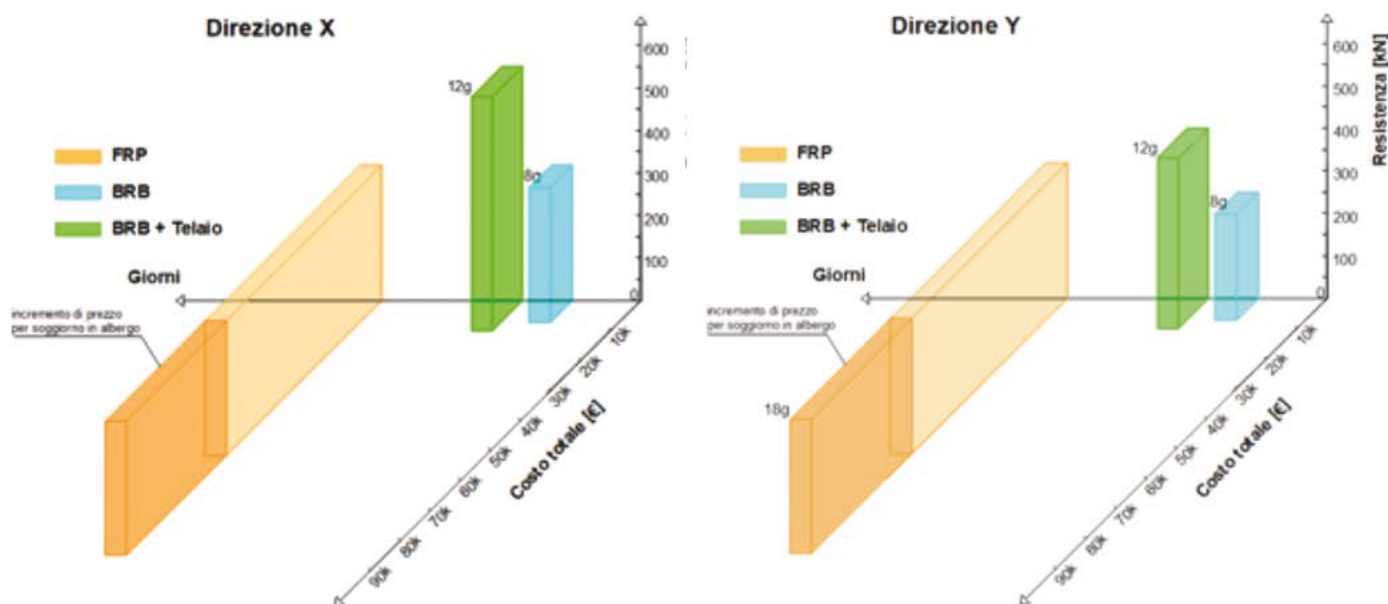


Fig. 22 - Diagramma tempo/costo/resistenza per ogni direzione corrispondenti alle tecniche di intervento analizzate.

mentre l'acciaio veniva relegato in corsi facoltativi. Ancor oggi si assiste attoniti al fatto che esista la possibilità che uno studente si laurei nella specializzazione di Ingegneria Strutturale senza aver mai sentito nominare la parola "acciaio" (eccezione fatta ovviamente per le barre di armatura nel c.a.) nel suo percorso di studio. Forse semplicemente perché questo tipo di scelta corrisponderebbe ad una via di minor resistenza? Domanda pleonastica. È comunque certo che una tale situazione italiana nelle principali Università di tutto il mondo viene considerata non solo impensabile, ma anche inammissibile.

Per quanto riguarda i materiali compositi, il cui straordinario sviluppo è avvenuto a partire dagli anni 2000, bisogna ammirare la politica di espansione perseguita da questa industria, che ha favorito ed incentivato l'applicazione di questi nuovi materiali, sia a livello didattico che normativo e di ausilio alla progettazione. L'industria dei materiali compositi finanzia posti di ricercatore e cattedre universitarie per l'insegnamento di queste tecniche agli studenti ingegneri. Nei corsi di consolidamento strutturale attuali si insegna in pratica solo l'impiego di queste tecniche. Basta cercare su internet, che si trovano immediatamente software con schede di calcolo gratuiti per i progettisti. In particolare, nelle zone che hanno subito danni da sisma, i consulenti delle varie ditte di materiali compositi vanno a visitare i progettisti locali nei loro studi professionali ed offrono loro consulenze gratuite fino alla redazione del progetto da presentare alle amministrazioni comunali per ottenere i vari contributi per gli edifici danneggiati dal sisma.

Nel frattempo l'industria dell'acciaio che tipo di azione sta facendo per promuovere le sue tecnologie? Probabilmente lei stessa, per colpevole distrazione od altro, ignora quali vantaggi tecnici ed economici si possono ottenere utilizzando delle semplici diagonali di controvento, ancor meglio se di tipo dissipativo,

ma non necessariamente. È ragionevole pensare che anche i progettisti, come la maggioranza di quegli studenti precedentemente citati, senza nessuna base culturale né adeguato incoraggiamento ed aiuto dall'esterno, siano più portati a scegliere la via di minor resistenza e quindi a non prendere proprio in considerazione la soluzione "acciaio".

Questo è lo scenario che lascia sconcertati tutti i tecnici, sfortunatamente una minoranza, che a vari livelli hanno creduto nei vantaggi nell'impiego delle strutture di acciaio ed hanno cercato di applicarle ove possibile, nonostante la presenza di un ambiente esterno sfavorevole. Lo sconcerto poi diventa profonda amarezza per quei pochi che hanno dedicato una vita alle Costruzioni Metalliche, ne hanno curato la divulgazione a livello sia accademico che professionale e sono sempre più convinti delle loro potenziali qualità.

Per concludere con una nota meno pessimistica, si rivolge un suggerimento alle nuove leve che si stanno dedicando alla ricerca sulle Costruzioni Metalliche, che è quello di non farsi affascinare da temi teorici troppo astratti che non trovano poi riscontro nella realtà applicativa, ma di puntare sulla sostanziale rivalutazione di tecnologie che possano dimostrare sul campo di essere convenienti ed efficaci, aiutando disinteressatamente la crescita di quest'industria.

Federico M. Mazzolani,

Antonio Formisano,

Generoso Vaiano

Università di Napoli "Federico II"

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura

fmm@unina.it,

antoform@unina.it,

generoso.vaiano@inwind.it

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Dolce, G. Manfredi, *Libro bianco sulla ricostruzione privata fuori dai centri storici nei comuni colpiti dal sisma dell'Abruzzo del 6 aprile 2009*, editore Doppiavoce, Reluis, 2015.
- [2] M. Di Ludovico, A. Prota, C. Moroni, G. Manfredi, M. Dolce, *Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the Aquila earthquake: part I - "light damage" reconstruction*, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Volume 15, Issue 2, pages 667-692, 2017.
- [3] M. Di Ludovico, A. Prota, C. Moroni, G. Manfredi, M. Dolce, *Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the Aquila earthquake: part II - "heavy damage" reconstruction*, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Volume 15, Issue 2, pages 693-729, 2017.
- [4] F.M.Mazzolani, *Die Anwendung von Stahl bei der Restaurierung von Gebäuden in Italien*, *Bauingenieur*, Band 76, May 2001
- [5] F.M.Mazzolani, *Consolidamento antisismico di edifici in c.a. attraverso tecniche innovative: il progetto ILVA-IDEM*, *Costruzioni Metalliche*, marzo-aprile 2005
- [6] G. Della Corte, E. Barrecchia, F.M. Mazzolani, *Seismic Upgrading of RC Buildings by FRP: full-scal tests of a real structure*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, vol. 18, n.5, 2006
- [7] F.M.Mazzolani, A. Formisano, *Rinforzo di una trave lesionata in c.a. mediante FRP secondo CNR-DT 200/2004*, *Notiziario dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli*, 2006
- [8] A. Formisano, G. De Matteis, S. Panico, F.M. Mazzolani, *Seismic upgrading of existing RC buildings by slender steel shear panels: a full-scale experimental investigation*, *International Journal of Advances Steel Constructions*, vol.4, n.1, pages 26-45, march 2008
- [9] F.M. Mazzolani, *Innovative metal system for seismic upgrading of RC structures*, *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (7-8), pages 882-895, 2008
- [10] G. De Matteis, A. Formisano, S. Panico, F.M. Mazzolani, *Numerical and experimental analysis of pure aluminium shear panels with welded stiffeners*, *Computer and Structures*, pages 545-555, 2008
- [11] G. Della Corte, L. Fiorino, F.M. Mazzolani, *Lateral-loading tests on a real RC building including masonry infill panels with and without FRP strengthening*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(6), pages 419-431, 2008
- [12] A.Formisano, G.De Matteis, F.M.Mazzolani, *Numerical and Experimental Behaviour of a Full-scale RC Structure upgraded with Steel and Aluminium panels*, *Computer and Structures*, 2008
- [13] A.Formisano,G.De Matteis, S.Panico, F.M.Mazzolani, *Seismic upgrading of RC buildings by slender steel shear panels: a full-scale experimental investigation*, *International Journal of Advanced Steel Construction*, vol.4, n.1, pp.26-45, May 2008
- [14] G.Della Corte, L.Fiorino, F.M.Mazzolani, *Lateral loading tests on a real FC building including masonry infill panels with and without FRP strengthening*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, vol.20, n.6, 2008
- [15] F.M.Mazzolani, *Steel bracing systems for the seismic upgrading of RC structures*, *Steel Contraction Design and Research*, vol.2, pp. 235-242, December 2009
- [16] G.Della Corte, R.Landolfo, F.M.Mazzolani, *Displacement-based seismic design of braced steel structures*, *Steel Contraction Design and Research*, vol.3, September 2010
- [17] A.Formisano, G.De Matteis, F.M.Mazzolani, *Numerical and experimental behaviour of a full-scale RC structure upgraded with steel and aluminium shear panels*, *Computer and Structures*, vol.88, pp. 1348-1360, 2010
- [18] G. De Matteis, G.Brandò, F.M. Mazzolani, *Hysteretic behaviour of bracing type pure aluminum shear panels by experimental tests*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 2011
- [19] G. De Matteis, G.Brandò, F.M. Mazzolani, *Pure aluminium: An innovative material for structural applications in seismic engineering*, *Journal of Construction Building Materials*, 26(1) pages 677-686, 2012
- [20] F.M.Mazzolani, A.Mandara, *Restoration of monumental Constructions by Innovative Metals*, 3rd Congreso Internacional "Ciencia y Tecnologia Aplicada a la Protection del Patrimonio Cultural en la Cuenca Mediterranea", Alca de Henares, Espana, 9-14 Julio 2001
- [21] A.Mandara, F.M.Mazzolani, *Energy dissipation devises in seismic upgrading of monumental buildings*, III Intern.Seminar on Historical Constructions, Guimares, Portugal, 9-13 September 2001
- [22] F.M.Mazzolani, *Steelworks in Restoration and Consolidation* (keynote), in proceedings of the Encontro de Constucao Metalica e Mista, Aveiro, Portugal, December 2001
- [23] F. M. Mazzolani, *Steelwork for the Structural Restoration of Architectural Buildings* (keynote), 4th National Conference on Steel Structures, Patrass, Greece, 24-25 May 2002
- [24] F. M. Mazzolani, A. Mandara, S. Froncillo, *Dissipative steel structures for seismic upgrading of long-bay masonry buildings*, in *Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2003)*, Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2003.
- [25] F. M. Mazzolani, B.Calderoni, G. Della Corte, G. De Matteis, B. Faggiano, S. Panico, R. Landolfo, *Full-scale testing of different seismic upgrading metal techniques on an existing RC building*, in *Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2003)*, Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2003.
- [26] F. M. Mazzolani, A.Mandara, G. Di Lauro, A.Maddaloni, *Seismic upgrading of masonry structures by steel braces and dissipative devices*, in proceedings of C.T.A. Italian Conference on Steel Structures, Genova, 28 September-2 October 2003
- [27] G. Della Corte, B. Faggiano, F.M. Mazzolani, *Innovative steel bracing systems for seismic upgrading of reinforced concrete structures: planning of a testing programme*, in proceedings of C.T.A. Italian Conference on Steel Structures, Genova, 28 September-2 October 2003
- [28] F. M. Mazzolani, A.Mandara, S.Froncillo, G.Leazza, *Design Criteria for the Use of Special Devices in the Seismic Protection of Masonry Structures*, in Proceedings of the 8th World Seminar on Seismic isolation, Energy dissipation and Active vibration control of structures, Yerevan, Armenia,6-10 October 2003
- [29] F. M. Mazzolani, G.Della Corte, B.Faggiano, *Seismic upgrading of RC buildings by means of advanced techniques: the ILVA-IDEM project*, in procee-

- dings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 1-6 August 2004
- [30] F. M. Mazzolani, M. Dolce, R. Landolfo, M. Nicoletti, *Seismic upgrading of RC buildings by means of innovative techniques*. The ILVA-IDEM project, in proceedings of the XI National Congress "The Seismic Engineering in Italy", Genova, 25-29 gennaio 2004
- [31] G. Della Corte, E. Barrechia, F.M. Mazzolani, *Seismic upgrading of existing structures using FRP: a case study*, in proceedings of Innovative Materials and Technologies for Constructions and Restoration, University of Lecce, 6-9 June 2004
- [32] G. De Matteis, F.M. Mazzolani, S. Panico, *Seismic protection of Steel Buildings by pure aluminium shear panels*, in proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 1-6 August 2004
- [33] F.M. Mazzolani, G. Della Corte, B.Faggiano, *Seismic upgrading of RC buildings by means of advanced techniques: the ILVA-IDEM project*, in proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 1-6 August 2004
- [34] F.M. Mazzolani, G. Della Corte, B.Faggiano, *Full scale testing and analysis of innovative techniques for seismic upgrading of RC buildings*, in proceedings of the Colloquium in Honor of prof. Victor Gioncu, Timisoara, Romania, 7-8 May 2004
- [35] F.M. Mazzolani, A.Mandara, *Seismic upgrading of an old industrial masonry building by dissipative steel roofing*, in proceedings of the 4th Int. Conference SAHC, Padova, 2004
- [36] F.M. Mazzolani, B.Faggiano, A.Marzo, *Methodology for the analysis of complex historical wooden structures: a case study*, in proceedings of the 4th Int. Conference SAHC, Padova, 2004
- [37] A.Mandara, F.M. Mazzolani, *Behaviour of Masonry Members confined with Steel Tying Elements*, in proceedings of the COST C26 Conference, Innsbruck, Austria, 22-25 January 2005
- [38] F. M. Mazzolani, *Mixed advanced technologies for seismic upgrading of RC buildings*, in proceedings of the COST C26 Conference, Innsbruck, Austria, 22-25 January 2005
- [39] B. Faggiano, A. Marzo, F.M. Mazzolani, *Retrofitting of complex wooden structures by means of mixed reversible technologies*, in proceedings of the COST C26 Conference, Innsbruck, Austria, 22-25 January 2005
- [40] F.M. Mazzolani, *Earthquake Protection of Historical Buildings by Reversible Mixed Technologies: the PROHITECH project* (keynote), in proceedings of the Int. Conference on Earthquake Engineering in 21st Century, Skopje, 27-31 August 2005
- [41] F.M. Mazzolani, *Earthquake Protection of Historical Buildings by Reversible Mixed Technologies: the PROHITECH project* (keynote), in proceedings of the Int. Conference on Vulnerability of 20th Century Cultural Heritage to Hazards and Prevention measures, Kos, Greece, 3-5 October 2005
- [42] G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *Full-scale tests of advanced seismic upgrading techniques of RC buildings*, in proceedings of the Int. Conference on Earthquake Engineering in 21st Century, Skopje, 27-31 August 2005
- [43] G. Della Corte, E. Barrechia, F. M. Mazzolani, *Seismic strengthening of RC buildings by means of FRP: physical testing of an existing structure*, in proceedings of the 4th Middle East Symposium on Structural Composites for Infrastructure Applications, Alessandria, Egypt, 20-3 May 2005
- [44] G. Della Corte, M. D'Aniello, F.M. Mazzolani, *Seismic upgrading of RC buildings using Buckling Restrained Braces: Full-scale experimental tests*, in proceedings of the 20th CTA Conference, International Workshop on Advances in Steel Constructions, Ischia, Italy, 26-28 September, 2005
- [45] M. D'Aniello, G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *Seismic upgrading of RC buildings using Eccentric Braces: Full-scale experimental tests*, in proceedings of the 20th CTA Conference, International Workshop on Advances in Steel Constructions, Ischia, Italy, 26-28 September, 2005
- [46] F. M. Mazzolani, *Earthquake Protection of Historical Buildings by Reversible Mixed Technologies: the PROHITECH project* (keynote), in Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2006, Yokohama), Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2006.
- [47] F. M. Mazzolani, *Innovative metal systems for seismic upgrading of RC structures* (keynote), in proceedings of the Int. Conference on Stability and Ductility of Steel Structures (SDSS), Lisbon, 6-8 September 2006
- [48] F. M. Mazzolani, *Innovative metal system for seismic upgrading of RC structures* (keynote), in proceedings of the SDSS (Stability and Ductility of Steel Structures) Conference, Lisbon, Portugal, 2006
- [49] A. Formisano, F.M. Mazzolani, G.Brande, G. De Matteis, *Numerical evaluation of the hysteretic performance of pure aluminium shear panels*, in Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2006), Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2006
- [50] G. Della Corte, F.M. Mazzolani, *Full-scale test of advanced seismic upgrading techniques for RC buildings*, in proceedings of the 2nd FIB Congress, Naples, Italy, 5-8 June, 2006
- [51] A. Formisano, G. De Matteis, S. Panico, F.M. Mazzolani, *Metal shear panels as innovative system for seismic upgrading of existing RC buildings: from numerical analysis to full-scale experimental tests*, in proceedings of the 15th Conference of the Association of Computational Mechanics in Engineering, Glasgow, UK, 2-3 April 2007
- [52] A. Formisano, G. De Matteis, S. Panico, F.M. Mazzolani, *Full-scale tests on a RC building retrofitted by means of metal shear panels: comparison among proposed solutions*, in proceedings of the 3rd Int. Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cape Town, South Africa, 10-12 September 2007
- [53] M. D'Aniello, G. Della Corte, F.M. Mazzolani, *A special type of buckling-restrained brace for seismic retrofitting of RC buildings: Design and testing*, in proceedings of the 21st CTA Conference, International Workshop on Advances in Steel Constructions, Catania, Italy, 3-5 October, 2007
- [54] G. De Matteis, A. Formisano, F.M. Mazzolani, *Steel shear panels as seismic retrofitting device for existing RC buildings*, in proceedings of the 21st CTA Conference, International Workshop on Advances in Steel Constructions, Catania, Italy, 3-5 October, 2007
- [55] F. M. Mazzolani, *Earthquake Protection of Historical Buildings* (keynote), in proceedings of COST Workshop "Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events", Prague, 30-31 March 2007
- [56] F. M. Mazzolani, G. De Matteis, S. Panico, A. Formisano, G. Brande, *Shear panels for seismic upgrading of new and existing structures*, in proceedings of COST Workshop "Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events", Prague, 30-31 March 2007
- [57] M. D'Aniello, G. Della Corte, F.M. Mazzolani, *Experimental tests of a real building seismically retrofitted by special Buckling-Restrained Braces*, AIP Conference Proceedings, 1020 (PART1), pages 1513-1520, 2008
- [58] F. M. Mazzolani, *Structural Integrity of Steel Structures under Catastrophic Events* (keynote), First Int. Workshop on "Wind and Steel Structures", JUST University, Irbid, Jordan, 5 May 2008

- [59] F. M. Mazzolani, *Advanced Techniques for Seismic Protection of Historical Building: experimental and numerical approach* (keynote), in proceedings of the It. Conference MERCEA, pp.100-109, Reggio Calabria, 8-11 July 2008
- [60] F. M. Mazzolani, *Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events* (keynote), in proceedings of the Seminar on Sustainability of Constructions, pp. 1,19-1,28, Dresden, 6-7 October 2008
- [61] F. M. Mazzolani, The PROHITECH research project, in proceedings of the 6th SAHC Conference, vol.2, pp.1157-1165, Bath, UK,2008
- [62] L.Krstevska, L.Tahskov, R.Landolfo, O. Mammana, F.Portioli, F.M.Mazzolani, Shaking table tests on large scale model of the Mustafa Pasha Mosque without and with FRP, in proceedings of the 6th SAHC Conference, vol.2, pp.1157-1165, Bath, UK,2008
- [63] G.De Matteis, A.Formisano, F.M.Mazzolani, RC structures strengthened by metal shear panels: experimental and numerical analysis, in proceedings of the It. Conference MERCEA, pp.100-109, Reggio Calabria, 8-11 July 2008
- [64] M.D'Aniello, G.dalla Corte, F.M.Mazzolani, Experimental tests on a real building seismically retrofitted by special bujling restrained braces, in proceedings of the Int. Conference MERCEA, pp.100-109, Reggio Calabria, 8-11 July 2008
- [65] G.De Matteis, F.Colanzi, A.Eboli, F.M.Mazzolani, Seismic vulnerability evaluation of the Fossanova gothic church, in proceedings of the 6th SAHC Conference, vol.2, pp.1157-1165, Bath, UK,2008
- [66] G.De Matteis, A.Formisano, F.M.Mazzolani, Full-scale tests on a RC frame building with metal shear panels, in proceedings of the 14th world Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12-17 October 2008
- [67] G. Della Corte, L. Fiorino, F. M. Mazzolani, *Push-pull tests on a real masonry-infilled RC building*, in proceedings of the 14th world Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 12-17 October 2008
- [68] G. De Matteis, F. M. Mazzolani, L.Krstevska, L.Tashkov, *Seismic analysis and strengthening intervention of the Fossanova gothic church: numerical and experimental activity*, in proceedings of the symposium on Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, Malta, 2008
- [69] M. D'Aniello, G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *Response of buckling restrained braces to catastrophic seismic events*. in proceedings of the symposium on Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, Malta, 2008
- [70] A. Formisano, G. De Matteis, F. M. Mazzolani, *Seismic retrofitting of existing RC buildings by means of shear panels: the Coletti building in Athens*, atti del Convegno RELUIS, Roma, 29-30 Maggio 2008
- [71] F. M. Mazzolani, *The out-put of the PROHITECH research project* (keynote), in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [72] M. D'Aniello, G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *Seismic protection of reinforced concrete buildings by means of "all steel" buckling-restrained bracings*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [73] G. De Matteis, A. Eboli, F.Campitiello, F. M. Mazzolani, *Seismic analysis of the Fossanova gothic church by numerical models and comparison with experimental tests*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [74] F. M. Mazzolani, V. Sendova, P. Gavrilovic, *Design by testing of seismic restoration of Mustafa Pasha Mosque in Skopje*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [75] F. M. Mazzolani, B. Faggiano, A. Marzo, M. R. Grippa, *The Diplomatic Hall of the Royal Palace of Naples: diagnosis, analysis and retrofitting of timber structures*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [76] G. De Matteis, A. Formisano, F. M. Mazzoolani, *Experimental and numerical investigation on the use of metal shear panels for seismic upgrading of RC frames*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [77] G. Della Corte, L. Fiorino, F. M. Mazzolani, *Seismic response assessment of a real masonry-infilled RC building: analytical modelling*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [78] A. Formisano, F. M. Mazzolani, *Critical analysis of seismic vulnerability assessment methodologies for RC structures*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [79] R.Landolfo, O. Mammana, F. Portioli, F. M. Mazzolani, *Numerical analysis of the large scale model of the Mustafa Pasha Mosque in Skopje strengthened with FRP*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [80] F. M. Mazzolani, A. Mandara, *The use of energy dissipation systems in the seismic upgrading of historical long-bay masonry buildings*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [81] L. Krstevska, L. Tahskov, K. Grammatikov, F. M. Mazzolani, R. Landolfo, *Shaking table test of Mustafa Pasha Mosque model in reduced scale*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [82] L. Tahskov, L. Krstevska, G. De Matteis, K. Gramatikov, F. M. Mazzolani, *Shake table test of a model of Fossanova church in reduced scale*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [83] L. Tahskov, L. Krstevska, K. Gramatikov, F. M. Mazzolani, *Shake table test of the model of St.Nicholas church in reduced scale 1/3.5*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [84] M. D'Aniello, G.Della Corte, F. M. Mazzolani, *Seismic protection of reinforced concrete buildings by means of "all-steel" buckling restrained braces*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [85] M. D'Aniello, G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *Experimental and numerical analysis of a XIX-century tuff masonry bridge*, in proceedings of the Int. Conference on "Protection of Historical Buildings" PROHITECH 09, Rome, 21-24 June 2009
- [86] M. D'Aniello, G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *"All-steel" buckling restrained braces for seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings*, in proceedings of the 13th ANIDIS Conference "Seismic Engineering in Italy", Bologna, 28 June-2 July 2009
- [87] G. De Matteis, F. Campitiello, A. Eboli, F. M. Mazzolani, *Analisi sismica della Chiesa abbaziale di Fossanova mediante modelli numerici e sperimentali*, in proceedings of the 13th ANIDIS Conference "Seismic Engineering in Italy", Bologna, 28 June-2 July 2009
- [88] A. Formisano, P. De Feo, F. M. Mazzolani, G. De Matteis, *Miglioramento sismico di edifici multipiano irregolari in c.a. mediante pannelli a taglia di acciaio*, in proceedings of the 13th ANIDIS Conference "Seismic Engineering in Italy", Bologna, 28 June-2 July 2009
- [89] R. Landolfo, F. Portioli, O.Mammana, F. M. Mazzolani, *Seismic vulnerability and strengthening of Mustafa Pasha Mosque in Skopje: numerical analysis*, in proceedings of the 13th ANIDIS Conference "Seismic Engineering in Italy", Bologna, 28 June-2 July 2009

- [90] F. M. Mazzolani, *Protezione sismica degli edifici storici: il progetto PROHITECH*, in proceedings of the 13th ANIDIS Conference “Seismic Engineering in Italy”, Bologna, 28 June–2 July 2009
- [91] A. Formisano, F. M. Mazzolani, G. De Matteis, *Seismic vulnerability of RC structures integrated with metal shear panels: a study case*, in Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2009, Philadelphia), Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2009.
- [92] G. De Matteis, A. Formisano, F. M. Mazzolani, *On the use of metal shear panels for seismic retrofitting of RC frames: experimental and numerical investigation*, in Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2009, Philadelphia), Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2009.
- [93] M. D’Aniello, G. Della Corte, F. M. Mazzolani, “All-steel” buckling restrained braces for seismic upgrading of existing reinforced concrete buildings, in Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2009, Philadelphia), Taylor and Francis/Balkema Publisher, London, UK, 2009
- [94] G. De Matteis, F. M. Mazzolani, *The use of traditional strengthening systems by composite materials: the Fossanova abbey church*, in proceedings of the Congress MuRiCo “Mechanics of masonry structures strengthened with composite materials”, Venezia, 22–24 April 2009
- [95] R. Landolfo, F. M. Mazzolani, *Design of the retrofitting system with FRP of the Mustafa Pasha Mosque in Skopje by numerical models*, in proceedings of the Congress MuRiCo “Mechanics of masonry structures strengthened with composite materials”, Venezia, 22–24 April 2009
- [96] F.M Mazzolani, *Protection of Historical Buildings* (keynote), in proceedings of the 37th IAHS World Congress, Santander, Spain, 26–29 October 2010
- [97] G.Della Corte, F.M.Mazzolani, *Lateral-loading tests on a real RC building: original vs. strengthened structure*, in proceeding of the 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, 30 August–3 September 2010
- [98] G. Della Corte, F. M. Mazzolani, *Response of BRBs to catastrophic seismic actions: experimental results*, in proceedings of the COST C26 Final Conference “Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events”, Naples, 16–18 September 2010
- [99] F. Portioli, O. Mammana, L. Landolfo, F. M. Mazzolani, *Seismic assessment of Historical mosques under exceptional earthquakes: a case study in Skopje*, in proceedings of the COST C26 Final Conference “Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events”, Naples, 16–18 September 2010
- [100] L. Krstevska, L. Tahskov, K. Gramatikov, F. M. Mazzolani, G. De Matteis, *Experimental methodology for verification of effectiveness of innovative seismic strengthening techniques of historical monuments*, in proceedings of the COST C26 Final Conference “Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events”, Naples, 16–18 September 2010
- [101] B. Faggiano, D. De Gregorio, F. M. Mazzolani, *Assessment of robustness of structures subjected to fire followed by earthquake through a performance-based approach*, in proceedings of the COST C26 Final Conference “Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events”, Naples, 16–18 September 2010] G.Della Corte, F.M.Mazzolani, *Seismic upgrading of existing RC buildings by advanced techniques*, in proceedings of the SMART Conference, Dubai, 8–10 February 2011
- [102] G. De Matteis, F. Campitiello, F. M. Mazzolani, *Seismic response of the Fossanova gothic church: numerical analysis and experimental validation*, in proceedings of the SMART Conference, Dubai, 8–10 February 2011
- [103] F. M. Mazzolani, B. Faggiano, A. Marzo, M. R. Grippa, *Diagnosis, assessment and structural restoration of the Royal Palace of Naples*, in proceedings of the SMART Conference, Dubai, 8–10 February 2011
- [104] B. Faggiano, M. R. Grippa, A. Marzo, F. M. Mazzolani, *The steel collar connector for composite timber-concrete floors: conception, analysis and applications*, in proceedings of the SAHC Conference, Wroclaw, Poland, 15–17 October 2012
- [105] A. Formisano, R. Fonti, F. M. Mazzolani, *The historical centre of Poggio Pienze after the L’Aquila earthquake: behaviour and strengthening of masonry aggregate walls*, in proceedings of the SAHC Conference, Wroclaw, Poland, 15–17 October 2012
- [106] B. Faggiano, A. Formisano, D. De Gregorio, T. De Lucia, F. M. Mazzolani, *The structural behaviour assessment of golden miles vesuvian villas through seismic-volcanic quick procedure*, in proceedings of the SAHC Conference, Wroclaw, Poland, 15–17 October 2012
- [107] A.Formisano, F.M.Mazzolani, Comparison among analysis methodologies for seismic vulnerability assessment of masonry school buildings in Torre del Greco, in proceedings of the SAHC Conference, Wroclaw, Poland, 15–17 October 2012
- [108] B.Faggiano, M.R.Grippa, F.M.Mazzolani, The Royal Palace of Naples: diagnosis, assessment and structural restoration of complex roofing timber structures, 2nd Int. Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures SHATIS’13,Trento, 4–6 September 2013
- [109] F.M. Mazzolani, D’Aniello M., Seismic upgrading of a historical steel building by means of buckling restrained braces (in Italian), Proceedings of the XXIV C.T.A. Congress “The Italian Steel Days”, Turin, Italy, (30/09 – 02/10), 1161–1172, 2013
- [110] F.M.Mazzolani, M.D’Aniello, The seismic upgrading of a historical steel suspended building, in proceedings of the 2nd Int. Conference on Protection of Historical Constructions PROHITECH’14,Antalya, Turkey, 7–9 May 2014
- [111] A. Formisano, A. Iaquinandi, F. M. Mazzolani, *Seismic behaviour of structural units in masonry building aggregates: a case study in San Pio delle Camere*, in proceedings of the 2nd Int. Conference on Protection of Historical Constructions PROHITECH’14,Antalya, Turkey, 7–9 May 2014
- [112] A. Formisano, R. Fonti, F. M.Mazzolani, *Italian guidelines on cultural heritage applied to Abruzzo masonry buildings aggregates: comparison among different seismic analysis approaches*, in proceedings of the 2nd Int. Conference on Protection of Historical Constructions PROHITECH’14,Antalya, Turkey, 7–9 May 2014
- [113] R. Fonti, A. Formisano, F. M.Mazzolani, *Vulnerabilities and local mechanisms of masonry buildings of minor historical centre near L’Aquila*, in proceedings of the 2nd Int. Conference on Protection of Historical Constructions PROHITECH’14,Antalya, Turkey, 7–9 May 2014
- [114] R.Fonti, A.Formisano, F.M.Mazzolani, *Protection of historical buildings from the fire hazard in seismic areas: a case study*, in proceedings of the 3rd Int. Conference on Protection of Historical Constructions PROHITECH’17, Lisbon, Portugal, 12–15 July 2017
- [115] F. M. Mazzolani (ed), *Protection of Historical Buildings, Proceedings of the PROHITECH 09 Conference*, CRC PRESS Taylor and Francis Group, London, 2009
- [116] F. M. Mazzolani, G. Altay (eds), *Protection of Historical Constructions*, Proceedings of the PROHITECH 14 Conference, Bogazici University Press, Istanbul, Turkey, 2014
- [117] F.M. Mazzolani, A. Lamas, L. Calado, J.M. Proenca, B. Faggiano (eds), *Prohitech ’17*, Proceedings of the PROHITECH 17 Conference, IST Press, Lisbon, Portugal, 2017
- [118] F .M. Mazzolani (ed), *Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events*, Proceedings of the COST C26 Action Final Conference, CRC Press,

- Taylor & Francis Group, London, 2010.
- [119] F. Wald, F. M. Mazzolani, M. Byfield, D. Dubina, M. Faber (eds), *Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events, Proceedings of workshop in Prague*, Print Prazska technical, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, 2007.
- [120] F. M. Mazzolani, E. Mistakidis, R. P. Borg, M. Byfield, G. De Matteis, D. Dubina, M. Indirli, A. Mandara, J.P. Muzeau, F. Wald., Y. Wang (eds), *Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events*, COST Action C26, Malta University Publishing, Malta, 2008.
- [121] F. M. Mazzolani, M. Ivanyi (eds), *Refurbishment of buildings and bridges, CISM courses and lectures no. 435*, Springer-Verlag Wien, New York, USA, 2002
- [122] F.M. Mazzolani (ed), *Innovative Steel Structures for Seismic Protection of Buildings* (PRIN 2001), Polimettrica, Monza, Italy, 2006
- [123] F. M. Mazzolani (ed), *Seismic upgrading of RC buildings by advanced techniques: The ILVA-IDEM research project*, Polimettrica, Monza, Italy, 2006
- [124] F. M. Mazzolani (ed), *Innovative Steel structures for seismic protection of new and existing buildings: design criteria and methodologies* (PRIN 2003), Polimettrica, Monza, Italy, 2007
- [125] F. M. Mazzolani, *Refurbishment by Steelwork*, Arcelor Mittal, 2007
- [126] C. Faella, F. M. Mazzolani (eds), *Innovative Steel Strategies for Structural Protection of Built Heritage* (PRIN 2005), Polimettrica, Monza, Italy, 2009
- [127] T. Berlanda, A. Bruno, P. Engel, F. M. Mazzolani (eds), *Steel and Refurbishment, Institut fur InternationaleArchitektur-Dokumentation*, Munich, 2009
- [128] F.M. Mazzolani, G. De Matteis, A. Mandara, G.A. Askar, D. Lungu, M. Esposito (eds), *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies - Intervention strategies for the seismic protection of historical building heritage in the Mediterranean basin*, FP6 PROHITECH project, Volume 1, Polimettrica, Monza, Italy, 2012
- [129] F. M. Mazzolani, G. De Matteis, L. Calado, D. Beg, M. Esposito (eds), *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies - Seismic protection of historical buildings: guide to material and technology selection*, FP6 PROHITECH project, Volume 2, Polimettrica, Monza, Italy, 2012
- [130] F. M. Mazzolani, G. De Matteis, L. Calado, K. Gramatikov, D. De Gregorio (eds), *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies - Seismic protection of historical buildings: experimental activity*, FP6 PROHITECH project, Volume 3, Polimettrica, Monza, Italy, 2012
- [131] F. M. Mazzolani, G. De Matteis, R. Landolfo, F. Portioli (eds), *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies - Seismic protection of historical buildings: numerical analysis*, FP6 PROHITECH project, Volume 4, Polimettrica, Monza, Italy, 2012
- [132] F.M. Mazzolani, G. De Matteis, D. Dubina, G. Terracciano (eds), *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies - Seismic protection of historical buildings: calculation models*, FP6 PROHITECH project, Volume 5, Polimettrica, Monza, Italy, 2012
- [133] F. M. Mazzolani, G. De Matteis, I. Vayas, J. Jaspert, A. V. Rutenberg, R. Fonti (eds), *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies - Seismic protection of historical buildings: application and design*, FP6 PROHITECH project, Volume 6, Polimettrica, Monza, Italy, 2012
- [134] F.M. Mazzolani, A. Formisano, G. Vaiano, *Sull'impiego di BRB e C-FRP per l'adeguamento sismico di un edificio esistente in c.a.*, XXVI Congresso CTA, Venezia, Italy, 28-30 Settembre, 2017
- [135] F. M. Mazzolani, A. Formisano, G. Vaiano, *Comparison between BRB and FRP for seismic retrofitting of existing RC buildings through a case study*, in 3rd International Conference of Protection of Historical Construction, Lisbon, Portugal, 12-15 July, 2017
- [136] CNR-DT 200/2013, *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie*, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), 2013.
- [137] P. Fajfar, *A non linear analysis method for performance-based seismic design*. Earthquake Spectra, 16(3): 573-592, 2000
- [138] Eurocode 8, *Design of structures for Earthquake resistant, Part 1: General Rules, Seismic action and rules for Buildings*.
- [139] D.M.14 Gennaio 2008: *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare esplicativa n. 617 del 02/02/2009*
- [140] Delibera della Giunta Regionale n. 359/2016, Dipartimento delle Politiche Territoriali, Direzione Generale per i lavori pubblici e la protezione civile, *Prezzario regionale dei Lavori Pubblici anno 2016 - Regione Campania, 2016*
- [141] EN 12810-1, *Facade scaffolds made of prefabricated components. Product specifications*, 2003
- [142] Delibera della Giunta Regionale n. 469/2014, Direzione lavori pubblici, Ciclo idrico integrato, Difesa del suolo e della costa, Protezione Civile *Prezzi informativi opere edili nella regione Abruzzo, 2014*
- [143] G. Ballio, F. M. Mazzolani, *Strutture in acciaio*, ISEDI Mondadori, 1979
- [144] G. Ballio, F. M. Mazzolani, *Theory and Design of Steel Structures*, Chapman & Hall, London-New York, 1983
- [145] G. Ballio, F. M. Mazzolani, *Strutture in acciaio*, Hoepli, Milano, 1987
- [146] -UNI 10011, *Costruzioni di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione*, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano, 1988
- [147] F. M. Mazzolani, V. Piluso, *Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames*, Chapman & Hall, London, UK, 1996
- [148] F. M. Mazzolani, V. Gioncu (eds), *Seismic Resistant steel Structures, CISM courses and lectures no. 420*, Springer-Verlag Wien, New York, USA, 2000
- [149] V. Gioncu, F. M. Mazzolani, *Ductility of seismic resistant steel structures*, CRC Press, Taylor & Francis Ltd, London, UK, 2002
- [150] A. Ghersi, R. Landolfo, F. M. Mazzolani, *Design of cold-formed thin-walled members*, SPOON Press, London-New York, 2002
- [151] F. M. Mazzolani, R. Landolfo, G. Della Corte, B. Faggiano, *Edifici con struttura di acciaio in zona sismica*, IUSS Press, Istituto Universitario Superiore, Pavia, 2006
- [152] C. Bernuzzi, F. M. Mazzolani, *Edifici in Acciaio: materiale, calcolo e progetto secondo l'Eurocodice EN-1993-1-1*, Hoepli, 2007
- [153] V. Gioncu, F. M. Mazzolani, *Earthquake engineering for structural design*, CRC Press, Taylor & Francis Ltd, London, UK, 2010
- [154] V. Gioncu, F. M. Mazzolani, *Seismic design of steel structures*, CRC Press, Taylor & Francis Ltd, London, UK, 2012
- [155] R. Landolfo, F. M. Mazzolani, D. Dubina, L. S. da Silva, M. D'Aniello, *Design of Steel Structures for Buildings in Seismic Areas, ECCS Eurocode Design Manual*, Erns & Sohn WILEY, 2017