



Sviluppo di tecniche integrate di miglioramento delle prestazioni sismiche ed energetiche: descrizione e risultati preliminari del programma sperimentale su portali in c.a.

Giuseppe Ventura, Angelo Masi, Giuseppe Santarsiero, Vincenzo Manfredi, Andrea Digrisolo, Domenico Nigro
Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Via dell'Ateneo Lucano, 85100 Potenza, Italy.

Keywords: edifici esistenti, miglioramento sismico, tamponature, efficienza energetica, progettazione integrata

ABSTRACT

Nell'ambito del progetto di ricerca ReLUIS-DPC 2014-2018 (WP3-Task 3.3 Interventi Integrati e Sostenibili per la Riquilificazione di Edifici Esistenti) è stata messa a punto una campagna sperimentale su portali in scala al vero, con e senza tamponatura, al fine di definire metodi e tecniche per il miglioramento combinato delle prestazioni sismiche ed energetiche di edifici in c.a. progettati a soli carichi verticali.

In particolare, il programma sperimentale ha previsto la realizzazione di alcuni portali in c.a., di cui uno nudo (privo di tamponatura, BF) da usare come riferimento, uno provvisto di tamponatura tradizionale a doppia fodera in mattoni forati con intercapedine, ed uno con tamponatura più resistente e coibente al fine di valutarne l'effetto in termini di incremento delle prestazioni sismiche ed energetiche rispetto al portale con tamponatura tradizionale.

La struttura in c.a. è identica per tutti i portali ed è stata progettata come rappresentativa di strutture residenziali realizzate in Italia in assenza di regole sismiche negli anni '70 e che, quindi, hanno un notevole deficit di protezione sismica. In questo articolo si descrive la campagna sperimentale ed i principali risultati dei test eseguiti presso il Laboratorio di Strutture dell'Università della Basilicata, con particolare riferimento al portale BF.

1 INTRODUZIONE

Gran parte del patrimonio edilizio italiano è caratterizzato sia da una ridotta protezione nei confronti delle azioni sismiche sia da un elevato deficit di efficienza termica. Entrambe le problematiche dunque impongono la necessità di definire tecniche di *intervento integrate* che riescano al contempo a migliorare le prestazioni sismiche e termiche.

Ai fini della progettazione integrata degli interventi e in particolare per le strutture a telaio in c.a. le pareti di tamponamento svolgono un ruolo chiave nelle prestazioni sia sismiche che termiche (Manfredi e Masi, 2018, Masi et al., 2015). Difatti, a causa della loro bassa capacità di deformazione rispetto agli elementi in c.a. del telaio, i pannelli subiscono danni già per bassi valori del drift (De Risi et al. 2018) di interpiano compromettendo la funzionalità dell'edificio. Inoltre, il danno nel piano può ridurre la capacità

fuori dal piano dei pannelli fino al collasso, comportando un alto rischio per la vita delle persone oltre che ingenti perdite economiche (Manfredi e Masi, 2014).

A complicare il problema si aggiunge il fatto che le tamponature sono uno dei componenti più disperdenti in termini energetici, sia per le caratteristiche dei materiali che per le superfici in gioco (Marino et al. 2006).

Un numero limitato di ricerche sperimentali è disponibile in letteratura riguardo la valutazione della risposta di telai in c.a. provvisti di tamponatura ma che non fanno riferimento alle prestazioni energetiche (Verderame et al. 2016, De Risi et al. 2018, De Risi et al. 2019).

Per tale motivo è stata messa a punto una campagna sperimentale su portali in c.a. in scala al vero, progettati per soli carichi verticali secondo le regole tecniche degli anni '70 e dotati di diversi sistemi di tamponamento. Un primo portale è privo di tamponatura e funge da benchmark in termini di prestazioni sismiche, il

secondo portale è dotato di tamponatura tradizionale costituita da doppia fodera di mattoni forati (12+8 cm) e serve a valutare prestazioni sismiche e termiche nello stato di fatto. Un terzo portale rappresenta la seconda tipologia anzidetta, assoggettata ad un intervento integrato di miglioramento sismico ed energetico (Marini et al. 2015). Questo è avvenuto tramite la sostituzione dello strato esterno di tamponatura (spessore 12cm) con un blocco alveolato tipo Poroton di spessore 20 cm. Dal confronto della seconda e della terza tipologia sarà possibile valutare gli effetti dell'intervento in termini di incremento della capacità sismica e termica nonché le eventuali differenze in termini di meccanismo di danno, a causa della presenza di una tamponatura più robusta.

Nel presente lavoro sono illustrati i risultati preliminari di alcuni test sperimentali svolti sul portale in c.a. privo di tamponatura che saranno confrontati con i risultati dei test su portali tamponati.

2 IL PROGRAMMA SPERIMENTALE

La fase preliminare del programma sperimentale ha visto la realizzazione dei quattro portali in c.a. in scala al vero (figura 1), progettati nell'ipotesi che appartengano ad un edificio in cemento armato non antisismico, di quattro impalcati e risalente alla fine degli anni '70.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Fasi realizzative dei portali in c.a.: predisposizione gabbia pilastri (a), getto (b), scasseratura (c).

In fase di progetto si è adottato un calcestruzzo con resistenza cilindrica $f_c=20\text{MPa}$ pari al valore mediano riscontrato per un campione di edifici degli anni '70 con riferimento alla regione Basilicata (Masi et al., 2019).

Per quanto riguarda l'acciaio, considerando la già discreta diffusione di barre ad aderenza migliorata, è stato adottato uno di classe B450c riducendo opportunamente i quantitativi al fine di ottenere un'equivalenza con l'acciaio FeB38 normalmente adottato in quell'epoca.

Per ogni portale e in concomitanza di ogni elemento gettato (fondazioni, pilastri e travi), sono stati prelevati dei campioni di calcestruzzo (n.18 cubetti) per le prove di caratterizzazione meccanica (figura 2).

2.1 Modello BF-1 (portale nudo).

Il portale oggetto dei test (BF-1) è definito da due pilastri a sezione quadrata (30x30cm) posti ad interasse $i=450\text{cm}$ e una trave di testa con dimensione trasversale 30x40cm, a realizzare un interpiano $h=300\text{cm}$. I due pilastri sono fondati in una trave di fondazione di sezione 50x60cm e lunghezza totale $L=650\text{cm}$.



Figura 2. Campioni di cls per le prove di caratterizzazione meccanica.

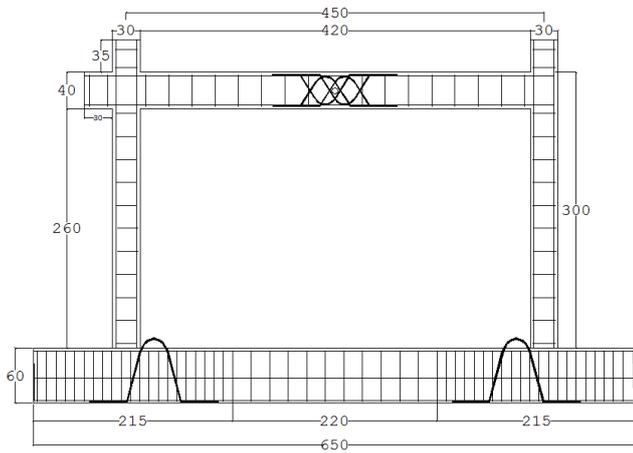


Figura 3. Carpenteria portale BF-1.

I due pilastri sono armati con quattro barre verticali del diametro di 14mm, poste negli spigoli della sezione. L'armatura a taglio prevede staffe del diametro di 6 mm con passo di 25 cm. La trave di testa è armata con quattro barre longitudinali (all'estradosso) del diametro di 14mm e due barre longitudinali (diametro 14mm) all'intradosso. Anche in questo caso l'armatura a taglio prevede staffe del diametro di 6mm con passo di 25cm. Per la trave di fondazione sono previste 4+4 barre longitudinali del diametro di 18mm e staffe a passo 20cm.

Come si può notare in figura 3, sono state previste armature aggiuntive nella zona centrale della trave superiore per evitare rotture localizzate per effetto dell'applicazione dello sforzo concretato durante i test ciclici. Anche in corrispondenza del piede dei due pilastri sono stati inseriti ferri sagomati al fine di costituire le zone di sollevamento per lo spostamento dei portali.

Tutti i portali in c.a. sono caratterizzati nella parte superiore da porzioni di pilastro ($h=35\text{cm}$) e di trave ($l=30\text{cm}$) che definiscono un nodo trave colonna confinato (C) e uno non confinato (NC), rispettivamente sulla sinistra e sulla destra del portale (figura 3). La struttura in c.a. è uguale per tutti portali, sia tamponati che non tamponati.

2.2 Modelli IF-1 e IF-2 (portali tamponati).

I due portali tamponati si distinguono per la diversa soluzione che caratterizza la doppia fodera della tamponatura (figura 5), ovvero:

- fodera interna di mattoni forati da 8 cm e fodera esterna con forati da 12 cm;
- fodera esterna di mattoni tipo Poroton semipieni da 20 cm in aggiunta ad una fodera interna con forati da 8 cm;

La soluzione (a) è rappresentativa delle tecniche costruttive utilizzate all'epoca della costruzione

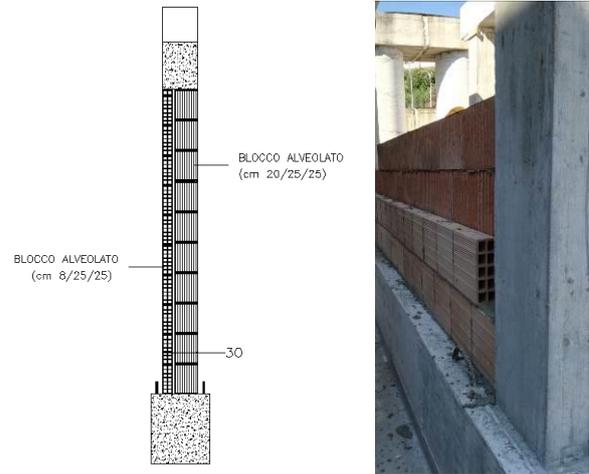


Figura 4. Tamponatura a doppia fodera 8+20.

(fine anni '70) mentre la soluzione (b) rappresenta il rinforzo sismico e il miglioramento dal punto di vista energetico ottenuta mediante sostituzione della fodera esterna in mattoni forati con uno strato di blocchi semipieni, tipo Poroton, con spessore maggiorato (20cm) che va a occupare anche lo spazio dell'intercapedine (figura 4). Tale scelta dovrebbe garantire una maggiore resistenza sismica sebbene ci si attendano maggiori sollecitazioni sugli elementi del portale che possono indurre meccanismi di collasso profondamente diversi.

Per il quarto portale ci si è posti il problema di definire una tamponatura innovativa che prevede l'utilizzo di pannelli prefabbricati ad elevate prestazioni sismiche e termiche. Tamponature sono state sviluppate in altre ricerche con l'obiettivo di mitigare il danno alle stesse in occorrenza di azioni sismiche (Morandi et al., 2016) con maggiore riferimento alle strutture nuove in cui non vi è la necessità di incrementare le prestazioni sismiche della struttura nel suo complesso.

Le caratteristiche geometriche e termiche degli elementi utilizzati per la realizzazione delle tamponature sono riportati in tabella 1. Per la caratterizzazione della malta cementizia usata per la messa in opera sono stati prelevati nove campioni durante l'esecuzione delle lavorazioni (figura 6).

Tabella 1. Caratteristiche mattoni per tamponature.

Tipo	Produttore Codice	Dimensioni (mm)	Trasmitt. a secco (W/mqK)
Mattoni forati spessore 8 cm	Scianatico F080	250x80x250	1.855
Mattoni forati spessore 12 cm	Scianatico F12018	250x120x250	1.388
Poroton tamponamento	Scianatico P200	350x200x250	0.773



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Campioni di tamponatura (a) realizzati con fodera $s=12\text{cm}$ (b) e fodera $s=20\text{cm}$ (c).



Figura 6. Provini di malta estratti durante la realizzazione delle tamponature.

2.3 Caratterizzazione dei materiali

I materiali del portale BF-1 sono stati caratterizzati tramite prove a rottura, eseguite su campioni di calcestruzzo e acciaio. Dalle prove di trazione sulle due barre in acciaio, appartenente alla classe B450c, è risultata una tensione media di snervamento pari a 490MPa (tabella 2).

Tabella 2. Prove di trazione su campioni di acciaio.

Campione	Tipo	G [kg]	De [mm]	Fy [Mpa]	Ft [Mpa]	All. [%]
N.1-f.12	B450c	0.525	11.91	508.9	619.4	26.67
N.1-f.14	B450c	0.710	13.85	471.6	577.8	22.86

In tabella 3 si riportano i risultati delle prove di compressione realizzate poco prima dei test ciclici sul portale. Per i quattro cubetti di lato 15cm, estratti in occasione del getto della trave (codici 23-T e 24-T) e dei pilastri (codici 10-P e 12-P), la resistenza cubica media a compressione

è pari a 17.6MPa (tabella 3). La resistenza cilindrica f_c è, quindi, significativamente più bassa di quella ipotizzata in fase di progetto, ma comunque compatibile con quanto è possibile riscontrare in edifici esistenti dell'epoca in esame (fine anni '70).

Tabella 3. Prove di compressione su cubetti di calcestruzzo per trave (T) e pilastri (P) prima del test.

Cubetto	[kg]	[kg/mc]	Carico rottura [KN]	Resist. rottura [Mpa]	Stagionatura [gg]
23-T	7.675	2274	382.5	17.00	>28
24-T	7.785	2306	376.5	16.73	>28
10-P	7.610	2254	399.0	17.73	>28
12-P	7.740	2293	423.0	18.80	>28

3 ESECUZIONE DEI TEST

L'intero apparato di prova, è stato progettato ad hoc in funzione della geometria del portale e dei punti di ancoraggio presenti sulla piastra di base e sulla parete di contrasto presenti nel Laboratorio di Strutture dell'Università della Basilicata. Nel dettaglio, l'apparato consiste in quattro elementi di contrasto, in carpenteria metallica, posti sulla trave di fondazione per ancorare il portale alla piastra di fondazione. Due travi assemblate con profili IPE, poste in testa ai pilastri, e quattro travi assemblate con profilo a C, poste alla base in corrispondenza dei pilastri, garantiscono il trasferimento del carico verticale, dato dai martinetti, tramite le quattro barre verticali in acciaio ad alta resistenza. Il carico laterale dato dall'attuatore è trasferito al portale tramite i due profili metallici UPN incernierati al centro della trave superiore con un perno in acciaio ad alta resistenza (figura 7).



Figura 7. Portale BF-1 con apparato di prova (laboratorio SI-UniBAS).

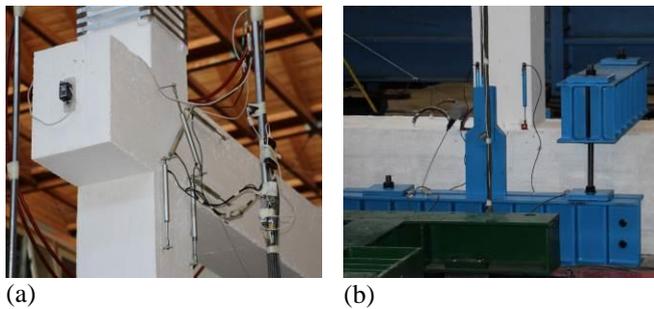


Figura 8. Trasduttori ad asta e cella accelerometrica (a), trasduttori ad asta e a filo (b).

3.1 Strumentazione

Il carico laterale è applicato per mezzo di un attuatore idraulico, a controllo di spostamento, collegato alla parete di contrasto avente con capacità di carico pari a $+490/-290$ kN (corsa $=\pm 250$ mm). L'applicazione degli spostamenti (s) tramite l'attuatore è avvenuta secondo una funzione lineare rispetto al tempo con una velocità costante di 4 mm/s. I risultati dei test ciclici sono restituiti in termini di drift, valutato come rapporto percentuale tra lo spostamento orizzontale e l'altezza di interpiano che è pari a 3m.

Il drift è stato incrementato progressivamente fino al 2.5% e per ogni livello di drift impresso sono stati eseguiti tre cicli completi di carico (tabella 4). Parte della strumentazione per l'acquisizione della risposta del portale (in termini di deformazioni) è mostrata in figura 8. In particolare, i sedici canali di acquisizione hanno consentito il monitoraggio delle deformazioni e dunque delle fessure tramite trasduttori di spostamento lineare (di lunghezza variabile) disposti alla base e in testa ai due pilastri (2+2), agli estremi della trave di testa (2+2) e in diagonale in corrispondenza dei due nodi (2+2). Lo spostamento del portale è misurato grazie ai due trasduttori di spostamento a filo, posizionati rispettivamente lungo la diagonale del portale e orizzontalmente all'estradosso della trave 30x40 (tra la parete di contrasto e il nodo NC). Completano la strumentazione di acquisizione sette accelerometri distribuiti sulla trave di fondazione e la trave di testa. Questi ultimi sono finalizzati all'identificazione dinamica del portale.

3.2 Protocollo di prova

Il protocollo di prova, distinto in 12 test con tre cicli completi, è riportato in tabella 4. Al fine di monitorare la rigidità della struttura, in

funzione del danneggiamento crescente con il susseguirsi dei test in programma, sono state effettuate prove di identificazione dinamica. Pertanto in occasione dei test n.1, n.5, n.11 e n.13 il portale è stato svincolato dall'attuatore orizzontale per consentire le registrazioni di rumore ambientale.

Tabella 4. Protocollo di prova su portale BF-1.

Test	n° cicli	s mm	drift %	Identificazione Dinamica
1	0	0	0.00	x
2	3	1	0.03	
3	3	3	0.10	
4	3	6	0.20	
5	3	10	0.33	x
6	3	12	0.40	
7	3	15	0.50	
8	3	18	0.60	
9	3	23	0.77	
10	3	30	1.00	
11	3	45	1.50	x
12	3	60	2.00	
13	3	75	2.50	x

4 ANALISI PRELIMINARE DEI RISULTATI

Il primo test di identificazione dinamica (Test 1) con registrazioni di rumore ambientale è stato effettuato prima di tutti i test ciclici previsti. I test ciclici successivi (Test 2-13) come già detto sono avvenuti in controllo di spostamento, applicato nella mezzeria della trave, e considerando la presenza del carico verticale (N) applicato su entrambi i pilastri tramite martinetti idraulici (figura 9).

Lo sforzo normale applicato ai pilastri è pari a 180 kN e rimane costante per ogni test. Tale valore corrisponde al 10% circa della resistenza ultima a compressione del singolo pilastro.

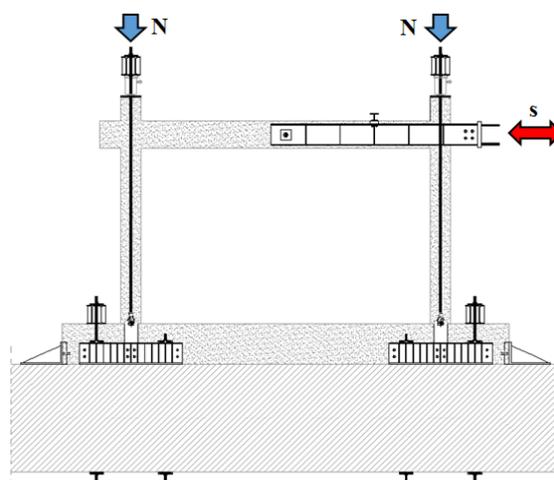


Figura 9. Posizione dei martinetti (N) e dell'attuatore (s).

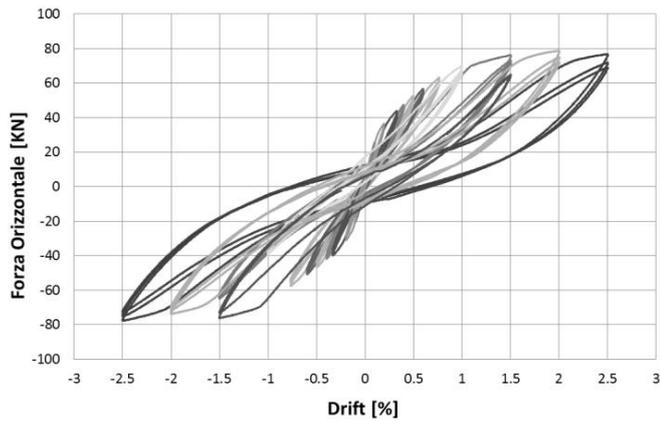


Figura 10. Cicli di isteresi in termini di forza-drift.

Il comportamento meccanico esibito dal portale è mostrato in figura 10 in cui sono evidenti i cicli di isteresi ottenuti mettendo in relazione la forza impressa dall'attuatore con il drift di piano. Il massimo drift impresso è $\pm 2.5\%$ a cui corrisponde una forza massima di circa 80 kN.

In figura 11 si osserva la prima riduzione apprezzabile della rigidità al raggiungimento del drift di 0.1%. Difatti per un carico laterale di 25kN la rigidità si riduce sensibilmente da 12 kN/mm a 8.5 kN/mm. Per i test successivi, condotti fino al drift di 0.60% e con riduzione della rigidità a 3,5 kN/mm, sia il pannello nodale che gli elementi trave-colonna non sono stati interessati da fessurazioni visibili ad occhio nudo, tenuto conto che al termine di ogni prova, a spostamento nullo, le fessure si sono richiuse. Una tale riduzione di rigidità, ad ogni modo, è necessariamente accompagnata da una fessurazione più o meno diffusa.

I primi segni visibili di danneggiamento (fig.12 a,b) si sono osservati durante il Test n.9 (drift= $\pm 0,77\%$) con la prima fessura all'interfaccia tra la trave e il pilastro, in corrispondenza del nodo non confinato (NC). Il carico laterale registrato è di 60kN e la rigidità secante vale 3 kN/mm.

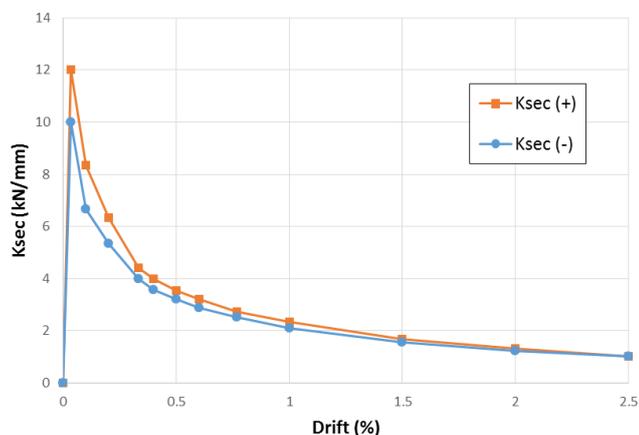


Figura 11. Variazione della rigidità col drift di piano.

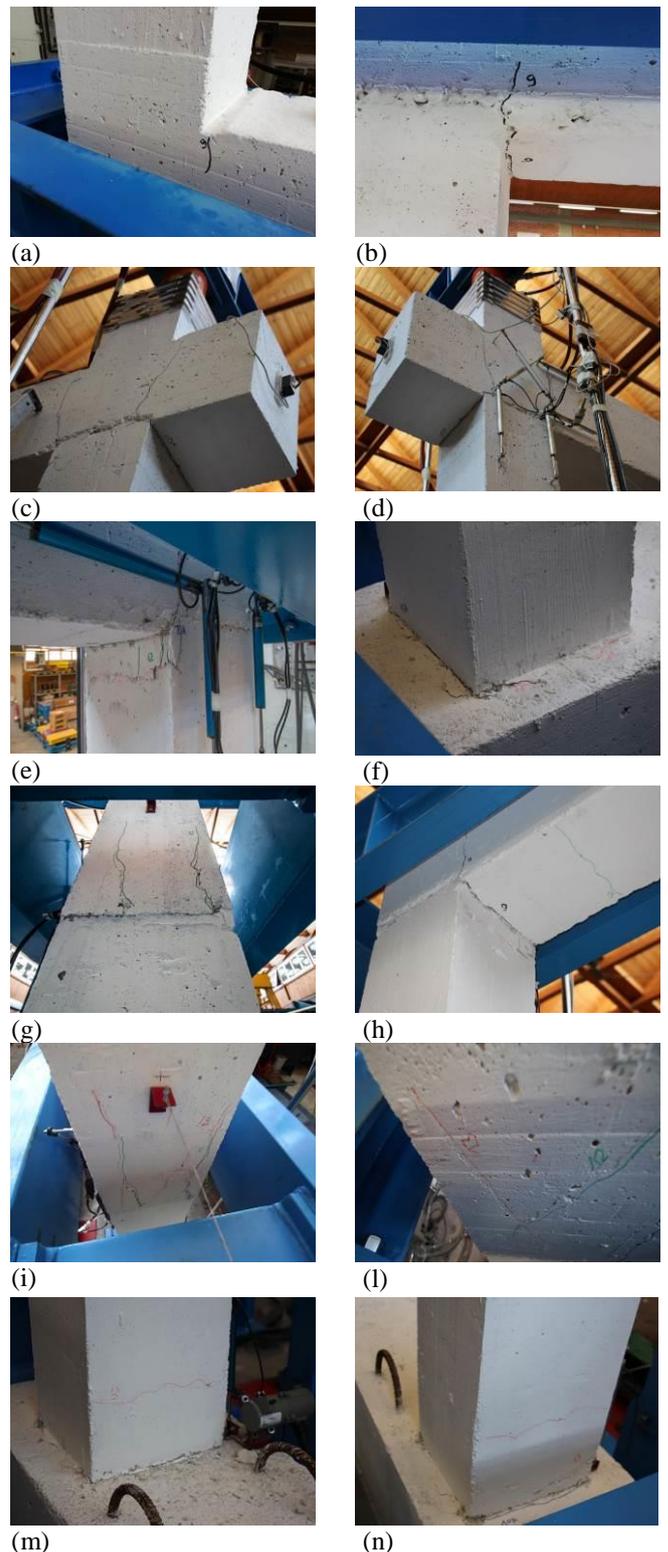


Figura 12. Danneggiamento ai nodi e/o pilastri per drift di 0.77% (a,b), 1.0% (c,d), 1.5% (e,f), 2.0% (g,h), 2.5% (i,l,m,n).

Durante il Test n.10 (drift = $\pm 1,00\%$) il danneggiamento comincia ad interessare il nodo confinato (C) con fessure diagonali ben visibili (fig.12 c,d) e riduzione della rigidità laterale fino a 2 kN/mm per un carico laterale di 70kN.

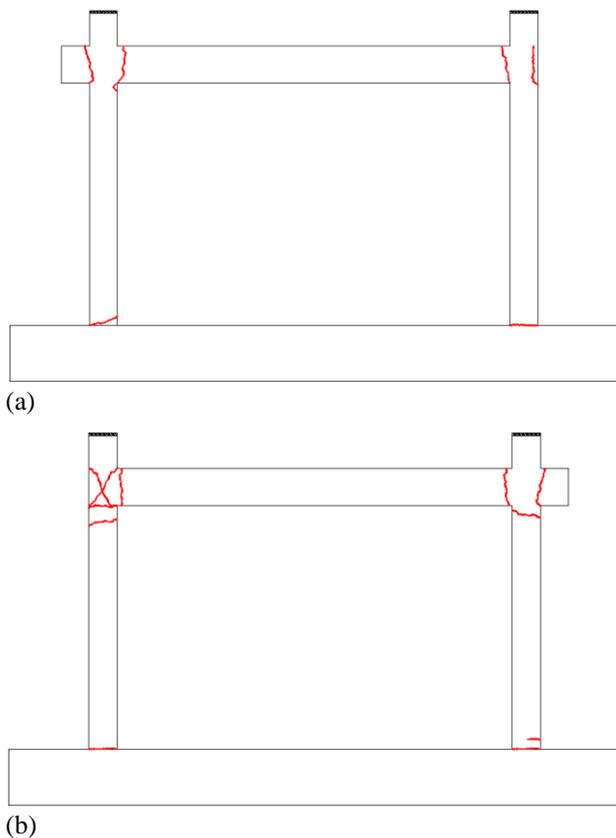


Figura 13. Quadro fessurativo finale su prospetto strumentato (a) e prospetto posteriore (b).

Durante il Test n.11 (drift = $\pm 1,50\%$), le fessure sono sempre più marcate alla base delle colonne e allo stesso tempo se ne osservano nuove ad una certa distanza del pannello nodale (fig.12 e,f). Il carico laterale registrato è di 77kN e la rigidità secante vale 1.8 kN/mm.

Le fessure subverticali si innescano in corrispondenza del nodo NC (fig.12 g) e sulla trave di testa (fig.12 h) al raggiungimento del drift pari al 2% e carico laterale di 80kN.

La figura 13 mostra il quadro fessurativo sugli elementi del portale al termine della campagna sperimentale. Durante l'ultimo test (drift=2.5% e carico pari a 78kN) le fessure interessano la parte bassa della colonna (fig.12 m,n) e sono molto marcate sulle tre facce del nodo NC (fig.12 i,l). In tali condizioni la rigidità finale vale 1 kN/mm.

Non si è proceduto oltre, ossia fino al collasso, al fine di avere la possibilità di riparare e/o rinforzare il portale e sottoporlo nuovamente a prove cicliche.

5 INDAGINI NON DISTRUTTIVE

A conclusione della sperimentazione sono state eseguite delle indagini non distruttive (Linee

Guida CSLP 2008) con misure ultrasoniche e sclerometriche i cui punti di misura sono mostrati in figura 14. Le misure ultrasoniche sono state effettuate per trasparenza (una misura per ogni punto indicato) mentre il valore dell'indice sclerometrico è dato dalla media delle 9 misurazioni effettuate per ogni punto indagato. Per i pilastri si evidenzia una riduzione sia dell'indice di rimbalzo (IR) sia della velocità ultrasonica (VU) lungo l'altezza dell'elemento, effetto presumibilmente legato ad una diversa compattazione del calcestruzzo in fase di getto. Tale effetto è più marcato in testa ai pilastri in prossimità delle zone in cui si sono osservate fessure orizzontali (tabella 5).

Tabella 5. Risultati delle indagini non distruttive (dopo il test).

Punto di indagine	Elemento indagato	Indice di Rimbalzo medio (IR _m)	Velocità Ultrasonica (UV)
F1	Fondazione	25.7	4529
F2	Fondazione	26.4	4333
F3	Fondazione	28.9	4075
P1	Pilastro	29.1	4225
P2	Pilastro	28.1	4190
P3	Pilastro	25.6	3886
P11	Pilastro	28.4	4255
P12	Pilastro	27.8	4225
P13	Pilastro	25.4	3836
T1	Trave	25.9	4184
T2	Trave	25.5	4167
T3	Trave	26.2	4071

In corrispondenza della fondazione è più marcata la disomogeneità tra le misure effettuate nei due punti estremi e al centro della trave (figura 15). Si rileva inoltre che ai valori più alti dell'indice IR non corrispondono le velocità (UV) più elevate. Tale fenomeno potrebbe essere legato alle variazioni delle caratteristiche superficiali dell'elemento che presenta una porosità diffusa ma non regolare su entrambe le facce.

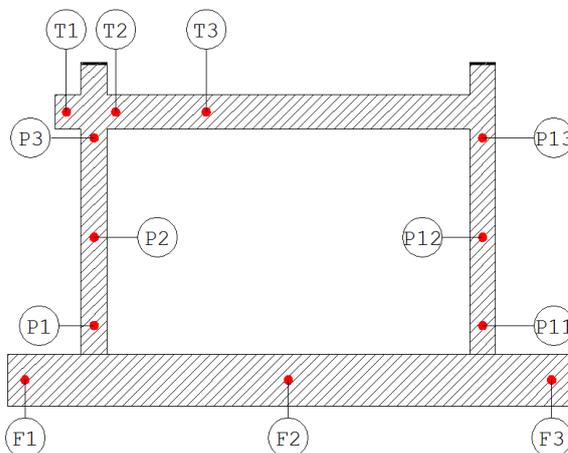


Figura 14. Punti di indagine ultrasonica e sclerometrica.

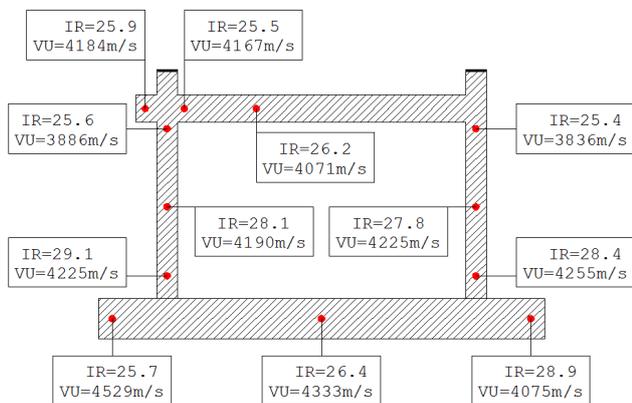


Figura 15. Risultati delle misure ultrasoniche e sclerometriche (dopo il test).

6 CONCLUSIONI

In questo lavoro sono illustrati i risultati preliminari di una campagna sperimentale, condotta presso il Laboratorio di Strutture dell'Università della Basilicata (SISLAB), su un portale in c.a. non tamponato progettato per soli carichi verticali.

Attività che si svolge nell'ambito di una più ampia campagna sperimentale che sarà condotta su altri portali in c.a. tamponati (IF) con l'obiettivo di sviluppare tecniche di intervento che affrontino simultaneamente il problema del miglioramento delle prestazioni sismiche e di quelle energetiche degli edifici esistenti in c.a.

I test sperimentali, di tipo ciclico pseudo-statico, sono stati effettuati su un modello in scala 1:1, rappresentativo di edifici esistenti in c.a. realizzati secondo le regole di progettazione previste negli anni '70 in Italia.

Il comportamento post-elastico del portale nudo (BF-1) è caratterizzato da meccanismi di rottura fragili che hanno interessato i nodi trave-colonna. Per valori di drift pari all'1% si osserva un progressivo danneggiamento dei nodi, con una conseguente riduzione della rigidità globale del portale pari al 92% per un valore del drift del 2.5%, in corrispondenza del quale si evidenzia un severo quadro fessurativo del pannello nodale. L'evoluzione del danneggiamento del portale, e la conseguente variazione di rigidità, saranno oggetto di specifico approfondimento nei prossimi mesi, in particolare attraverso l'interpretazione delle prove di identificazione dinamica eseguite a diversi livelli di drift impresso.

Le prove non distruttive, eseguite solo sul portale danneggiato (per problemi logistici non è stato possibile eseguirle prima del test sul portale

integro), hanno evidenziato una marcata riduzione dei valori delle misure eseguite alla testa dei pilastri rispetto alla base. Tale effetto va presumibilmente ascritto ad un diverso grado di compattazione del calcestruzzo lungo l'altezza dell'elemento, nonché alla presenza di fessure orizzontali in corrispondenza del nodo trave-colonna.

Le successive fasi di sperimentazione ed analisi consentiranno di approfondire e confrontare le modalità di collasso dei portali in c.a. inseriti nell'intero programma sperimentale, tenendo conto dell'assenza di dettagli antisismici e delle diverse soluzioni previste per le chiusure verticali finalizzate a determinare differenti livelli di coibenza termica.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro riportato nel presente articolo è stato eseguito nell'ambito del progetto DPC-ReLUIs 2014-2018, WP3-Task 3.3, Interventi Integrati e Sostenibili per la Riquilificazione di Edifici Esistenti.

REFERENCES

- CSLP, Servizio Tecnico Centrale, 2008. *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive*.
- De Risi, M.T., Del Gaudio, C., Ricci, P., Verderame, G.M., 2018. In-plane behaviour and damage assessment of masonry infills with hollow clay bricks in RC frames. *Engineering Structures*, **168**, 257-275.
- De Risi, M.T., Di Domenico, M., Ricci, P., Verderame, G.M., Manfredi, G., 2019. Experimental investigation on the influence of the aspect ratio on the in-plane/out-of-plane interaction for masonry infills in RC frames. *Engineering Structures*, **189**, 523-540.
- Manfredi, V., Masi, A., 2018. Seismic Strengthening and Energy Efficiency: Towards an Integrated Approach for the Rehabilitation of Existing RC Buildings. *Buildings*, **8**, 36.
- Marini, A., Feroldi, F., Belleri, A., Passoni, C., Preti, M., Giuriani, E., Riva, P., Plizzari, G., 2015. Coupling energy refurbishment with structural strengthening in retrofit interventions. *SAFESUST Workshop*. November 26-27, Ispra, Italy.
- Marino F. P. R., Grieco M., 2006. La certificazione energetica degli edifici e il D.Lgs 192 del 19/8/2005, *EPC Libri*.
- Masi, A., Digrisolo, A., Santarsiero, G., 2019. Analysis of a large database of concrete core tests with emphasis on within-structure variability. *Materials*, **12**(12),1985.
- Masi, A., Manfredi, V., Ventura, G., 2015. Progettazione integrata di interventi per il miglioramento delle prestazioni sismiche e termiche di edifici esistenti in c.a. *In Proceedings of the ANIDIS Conference*

“*L’ingegneria Sismica in Italia*”. September 13–17, L’Aquila, Italy.

Manfredi, V., Masi, A., 2014. Combining in-plane and out-of-plane behavior of masonry infills in the seismic analysis of RC buildings. *Earthquakes and Structures*, **6**, 457–472.

Morandi, P., Milanesi, R.R., Magenes, G., 2016. Innovative seismic solution for clay masonry infills with sliding joints: Principles and details. *Brick and Block Masonry—Trends, Innovations and Challenges*, Taylor & Francis Group, London, UK.

Verderame, G.M., Ricci, P., Del Gaudio, C., De Risi, M.T., 2016. Experimental tests on masonry infilled gravity- and seismic-load designed RC frames. *16th International Brick and Block Masonry Conference*. June 26 - June 30, Padova, Italy.