

Up-one: criticità nella sopraelevazione degli edifici residenziali della seconda metà del '900

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Angelo Bertolazzi, Marco Campagnola, Giorgio Croatto, Agata Maniero, Umberto Turrini, Alberto Vignato,
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova, Italia

angelo.bertolazzi@unipd.it
macam.1903@gmail.com
giorgio.croatto@unipd.it
agata.maniero@phd.unipd.it
umberto.turrini@unipd.it
alberto.vignato@unipd.it

Abstract. Lo stock edilizio residenziale italiano, pur con caratteristiche tipologiche e costruttive differenti da altri paesi europei, non raggiunge i livelli prestazionali posti dall'Unione Europea per il 2050. Tra le ipotesi per riqualificare l'edilizia residenziale, la sopraelevazione è vista come un intervento in grado di soddisfare la domanda di nuovi alloggi senza ulteriore consumo di suolo e di diventare il volano per la riqualificazione globale dell'edificio. L'obiettivo della ricerca è stato quello di individuare, attraverso l'indagine in ambiente digitale, le criticità della sopraelevazione nel contesto sismico italiano, individuando delle linee guida di intervento applicabili alla sopraelevazione degli edifici della seconda metà del Novecento.

Parole chiave: Riqualificazione; Sopraelevazione; Edifici residenziali; Consumo di suolo; Anni '60 e '70.

Introduzione

Gli obiettivi principali dello studio sono stati la verifica in ambiente digitale della fattibilità della sopraelevazione nel contesto italiano, evidenziando le criticità relative all'aumento dei carichi verticali ed orizzontali, e la definizione di criteri di intervento negli edifici residenziali del secondo Novecento. Il paper illustra i risultati di una ricerca condotta dal Dipartimento ICEA dell'Università di Padova in collaborazione con l'ATER di Rovigo¹.

Gli indirizzi strategici contenuti nella *Roadmap to a Resource Efficient Europe* del 2011 hanno indicato quale priorità del settore delle costruzioni la riduzione del consumo del suolo e dell'energia dando una nuova centralità alla riqualificazione del patrimonio edilizio del Novecento (European Commission 2016; Roadmap 2011). La vastità del problema e l'eterogeneità dell'edificio hanno imposto una riflessione sulla demolizione, a lungo vista come l'unica soluzione praticabile perché ritenuta la più

economica (Highfield e Gorse, 2009; Kohler e Hassler, 2002). La riqualificazione costituisce l'ambito con le maggiori potenzialità per l'intero settore delle costruzioni con importanti ricadute: la riduzione del 42% dei consumi energetici, del 35% dell'emissione dei gas serra e di più del 50% del consumo di materie prime (Roadmap, 2011; Rohrer, 2011; Bromley, 2005, Latham 2000).

Tra i diversi interventi quello che ha assunto un particolare interesse è la sopraelevazione, dove l'aggiunta di un piano all'edificio esistente è vista come la risposta all'aumento della domanda di alloggi senza consumo di suolo. L'ampliamento di volume ad alto contenuto tecnologico diventa allo stesso tempo il volano economico per la riqualificazione globale dell'edificio, architettonica, energetica e sociale (Gaspari, 2012; Ferrante, 2012; Grecchi e Malighetti, 2008). Tale strategia ha trovato impiego in contesti urbani densi, dove è difficile realizzare addizioni laterali, e ha confermato la tendenza alla verticalità nello sviluppo di molte città europee (Mooser *et al.*, 2011).

In Italia, tuttavia, i terremoti degli ultimi 20 anni ha aumentato l'attenzione dei tecnici verso il rischio sismico, ponendo degli interrogativi sulla reale possibilità di sopraelevare gli edifici residenziali, in particolare quelli della seconda metà del Novecento. Le principali problematiche – che hanno notevoli ricadute sulla sostenibilità economica della riqualificazione – sono da un lato la corretta valutazione delle capacità residue dell'edificio all'azione sismica e dall'altro la necessaria attenzione verso l'aumento dei carichi verticali ed orizzontali a seguito della sopraelevazione.

Up-one: problems
issuing from upward
extensions of 1950-1900
residential buildings

Abstract. Though presenting typological and construction-related features different from other European countries, Italian residential buildings as a whole fail to meet the performances required by the European Union before the 2050 deadline. Among the hypotheses meant to upgrade residential buildings, adding floors is regarded as capable of meeting the demand for new lodgings without any further soil consumption as well as of being the driving force leading to the overall upgrading of the building. The research has been aimed at focusing on the problems arising from upward extensions within the Italian seismic context, by means of digital environment surveys, defining intervention guidelines that can be applied to adding floors to 1950-2000 buildings.

Keywords: Regeneration; Building raising; Residential buildings; Soil consumption; 60s and 70s.

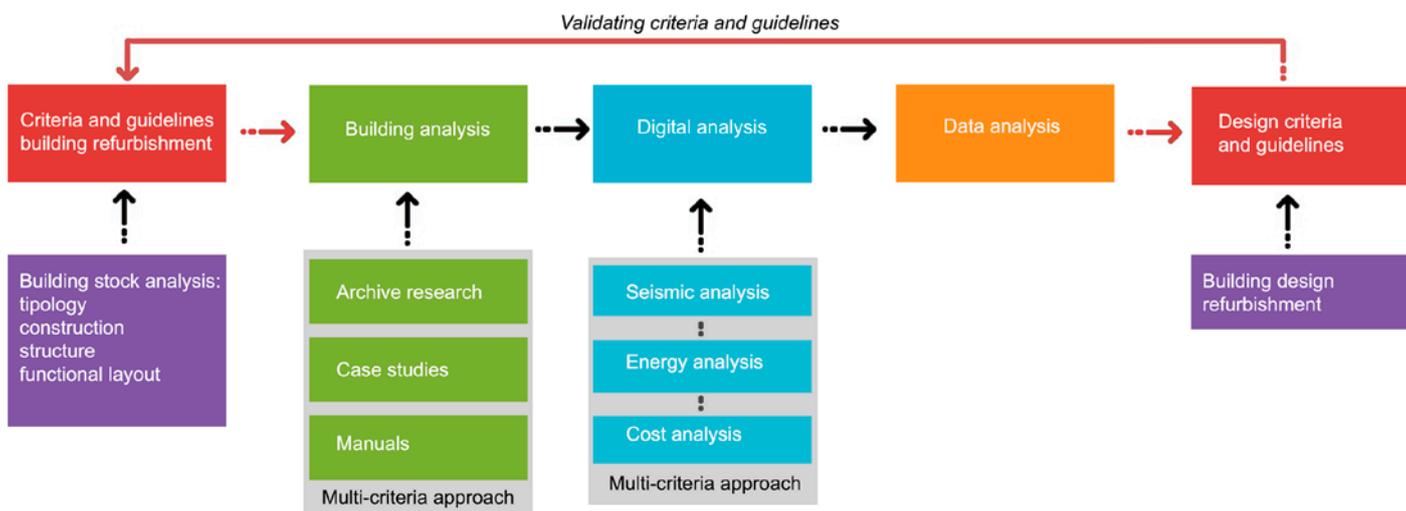
Foreword

The main objects of the study have been assessing the feasibility of upward extensions in Italy in a digital environment, focusing on the problems posed by the increased horizontal and vertical loads, and defining intervention criteria in 1950-2000 residential buildings. The paper describes the results of a research carried out jointly by the Padua University ICEA Department and by the Rovigo ATER¹.

The strategies laid out in the 2011 Roadmap to a Resource Efficient Europe have defined reducing soil and energy consumption as the priority when it comes to building, so underlining the importance of upgrading XX century existing buildings (Eu-

ropean Commission 2016; Roadmap 2011). The complex issues and the widely-different features of the existing buildings have suggested to reconsider resorting to demolition, which had been regarded as the only viable (since deemed cheaper) solution (Highfield and Gorse, 2009; Kohler and Hassler, 2002). Upgrading offers the greatest potential as far as buildings as a whole are concerned, with relevant collateral benefits: reductions of 42% in energy consumption, 35% in greenhouse gases emissions and of more than 50% in raw materials consumption (Roadmap, 2011; Rohrer, 2011; Bromley, 2005, Latham, 2000).

Among the various interventions, great interest has been aroused by upward extension, since adding a floor to the existing building means meeting the demand for lodgings avoiding soil consumption.



Metodologia

La ricerca ha sviluppato un metodo finalizzato all'individuazione di criteri di intervento seguendo uno schema iterativo (Fig. 1) fondato sulla verifica delle ipotesi di riqualificazione attraverso analisi multicriterio.

La prima fase ha visto lo studio delle tipologie residenziali e costruttive ricorrenti nell'edilizia degli anni '60 e '70 (materiali, tecniche costruttive e disposizione degli elementi strutturali), per individuare sia le criticità dal punto di vista delle nuove sollecitazioni indotte dalla sopraelevazione, sia i caratteri distributivi e costruttivi della stessa. Questo ha consentito di individuare un primo set di criteri di intervento per la sopraelevazione (Bertolazzi *et al.*, 2018).

La seconda ha affrontato il progetto della sopraelevazione con l'utilizzo di pannelli strutturali di legno (CLT), conosciuti come "pannelli X-Lam", una tecnologia che presenta dei vantaggi a li-

Volume increase based on top technological solutions becomes in turn the economic driving force leading to the overall upgrading of the building from an architectural, energy-friendly and social point of view (Gasoari, 2012; Ferrante, 2012; Grecchi and Malighetti, 2008). This approach has been successful in high-density urban contexts, where side extensions prove unviable, leading to many European cities being developed vertically (Mooser *et al.*, 2011).

In Italy, however, the earthquakes occurring in the past 20 years have compelled the technicians to focus on seismic risks, so doubts have been raised regarding the feasibility of adding floors to residential buildings, particularly so to the ones belonging to the 1950-2000 period. The main obstacles – impacting heavily on the economic sustainability of upgrading – are on

the one hand correctly assessing the remaining ability of the building to withstand seismic events and on the other exactly calculating the increase of vertical and horizontal loads resulting from upward extension.

Methodology

The research has developed a method aimed to define criteria of intervention resulting from an iterative pattern (Fig. 1) based on testing the hypotheses of upgrading through multi-criteria analyses.

We have first approached the typical residential and construction-related features of buildings of the sixties and seventies (materials, building techniques and layout of structural elements) in order to focus both on the problems that might arise from the new stresses produced by the addition of floors and from its functional and

vello strutturale e in termini di prestazioni termoacustiche, e, attraverso una corretta modularità, anche la riduzione dei tempi di esecuzione (Feireiss e Klanten, 2009; Imperadori, 2001). Il progetto è stato redatto sulla base dei criteri precedentemente individuati, ed è stato applicato ad un caso studio, rappresentativo dell'edilizia residenziale in esame e costituito da un edificio dell'ATER di Rovigo terminato nel 1971. La terza ha esaminato il comportamento dell'edificio e della sopraelevazione, oltre alle criticità derivanti dai nuovi assetti strutturali in rapporto alle azioni sismiche ipotizzate.

La quarta, oggetto del presente contributo, ha visto invece l'applicazione di un cappotto armato al caso studio, soluzione che è stata verificata nuovamente dal punto di vista strutturale. Questa doppia analisi in ambiente digitale attraverso software specifici ha consentito la verifica e l'integrazione del precedente set di criteri, consentendo così di identificare degli scenari realistici

construction-related diagram. This has allowed the laying out of a preliminary set of criteria of intervention regarding upward extension (Bertolazzi *et al.*, 2018).

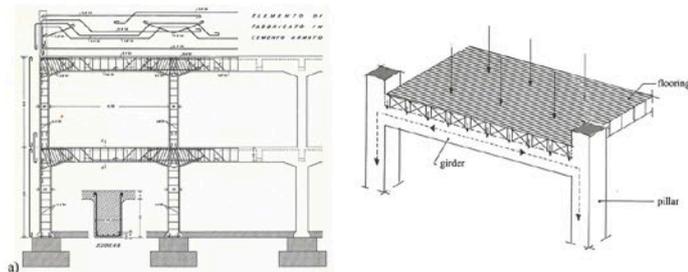
Then we have tackled the project of upward extension resorting to structural wooden panels (CLT), known as "X-Lam panels", a technology that affords advantages as far as structures and thermo-acoustic performances are concerned, as well as (thanks to resorting to correct modules) a reduction of building times (Feireiss and Klanten, 2009; Imperadori, 2001). The project has been laid down according to the formerly-chosen criteria and has been applied to a case study that presented the features of residential construction being surveyed: a 1971 ATER building in Rovigo.

Thirdly, we have examined how the building and the added floor behaved,

besides the problems issuing from the new structural layout in relation with hypothesized seismic actions.

Fourthly, (this is what the present paper deals with) we have been concerned with the reinforced insulating finishing system applied to the case study, an intervention that has been tested anew from a structural point of view. Such twofold analysis in a digital environment by means of specific software has allowed testing and completing the former set of criteria, in this way allowing the laying out of fact-based projects dealing with the upgrade of Italian 1950-2000 buildings. The most innovative feature of the research has been a project-based approach to upgrading, which has meant analysing the building as a whole, both as regards laying down guidelines of intervention, and finding the correct upgrading interventions – adding one

02 |



per la riqualificazione dello stock edilizio italiano del secondo Novecento.

L'aspetto più innovativo della ricerca è stato l'approccio progettuale al tema della riqualificazione, che ha imposto una visione globale dell'edificio sia nella formulazione delle linee guida di intervento, sia nell'individuazione degli interventi di riqualificazione – la sopraelevazione di un piano e l'applicazione del cappotto sismico – per i quali è stata condotta un'analisi strutturale dello stato di fatto, del transitorio e dello stato di progetto.

Il caso studio e l'orizzonte tecnico costruttivo italiano

Il principale tipo costruttivo che si affermò a partire dagli anni '50 nell'edilizia residenziale è il telaio

in calcestruzzo armato (Fig. 2a) definito come «struttura elastica, formata cioè da elementi in grado di resistere a sollecitazioni di tipo flessionale e che utilizza il mattone pieno o forato come per il tamponamento delle pareti perimetrali» (Rossini e Segrè, 1968). Tale modello strutturale e costruttivo è alla base di quello insediativo e distributivo, rappresentato principalmente da tipi edilizi a torre e in linea. In quest'ultimo caso gli edifici presentano lunghezze variabili, mentre la profondità è costante lungo tutto l'asse di sviluppo trasversale, e varia intorno ai 9-12 metri, compatibilmente con la conformazione interna degli alloggi (Fig. 2b).

floor and applying an anti-seismic insulating finishing system – to achieve which we have resorted to structural analyses of the current state of the building, of the work in progress and of the construction project.

The case study and the technical construction-related horizon in Italy

The main construction type widely resorted to since the fifties in residential housing is the reinforced concrete framework (fig. 2a), defined as «elastic structure, i.e. made up of elements capable of withstanding plastic flow stresses and using both block or hollow bricks in external curtain walls» (Rossini and Segre, 1968). Such structural and construction related model is common in settlement patterns and functional diagrams, mainly in high rise and multi-storey buildings. As regards the latter, lengths vary, whereas

depths remain unvaried along lateral aligned axes (averaging between 9-12 metres) according to the inside partitions of the lodgings (photo 2b).

As a result, the commonest typological model consists of a public central plant (staircase and lift) leading to the various floors and to the private lodgings. Each floor contains 2-4, in some cases up to 6 lodgings. Such typological modules have been repeatedly used in multi-storey buildings, increasing their volumes by means of laterally adding (along the short side) either fully or partially built extensions without any opening to secure static safety (Aiello *et al.*, 1979).

These typological and construction related features belong to both private residential and public buildings. As regards the latter, apart from a few innovative technical experiments related to layout and space, most of the small-

Il modulo tipologico più diffuso che ne deriva è composto da un impianto di risalita centrale (scale e ascensore) pubblico, per mezzo del quale si accede ai vari piani e alle diverse unità immobiliari. La conformazione base ad ogni piano prevede generalmente due-quattro alloggi, mentre in determinate condizioni si arriva fino a sei alloggi. Questi moduli tipologici sono stati utilizzati quale base per il tipo edilizio in linea, ottenuto per semplice addizione laterale, tramite accostamento totale o parziale lungo il lato corto, privo di aperture per garantire l'aggregazione (Aiello *et al.* 1979).

Questi aspetti tipologici e costruttivi sono propri sia dell'edilizia residenziale privata che di quella pubblica. In quest'ultimo caso, nonostante alcune sperimentazioni tecniche, planimetriche e spaziali innovative, la maggior parte degli interventi realizzati nelle realtà più piccole – come a Rovigo – hanno seguito i modelli insediativi e le soluzioni tecnologiche precedentemente riassunte. L'edificio individuato come caso studio fa parte di complesso residenziale realizzato dallo IACP (Istituto Autonomo Case popolari) di Rovigo in attuazione del programma costruttivo della legge n. 1179/01.11.1965, per l'incentivazione dell'attività edilizia (Fig. 2), il cui progetto venne redatto nel 1967 e la consegna avvenne nel 1972. Il quartiere è costituito da 13 blocchi abitativi, quattro dei quali sono addossati tra loro. Tutti i blocchi si sviluppano su

scale interventions (e.g. in Rovigo) have followed the above-summarized settlement patterns and technological solutions.

The building chosen as case study belongs to the residential complex built by IACP (Istituto Autonomo Case Popolari) in Rovigo to implement the building program laid down by n. 1179/01.11.1965 law, meant to promote building (photo 2); the project was completed in 1967 and works ended in 1972. The neighbourhood consists of 13 blocks of flats, four of which joined together. All the blocks are four-storey high; in the ground floor are situated the garages, the three floors above contain two 90 and 80 sm. Flats (photo 3).

The load bearing structure consists in a reinforced concrete framework defined by three longitudinally developed portals, transversely connected

by four connecting beams (table 1). The survey deals with a building of the sixties and seventies; almost 50% of Italian residential buildings belong to this period (ISTAT, 2011).

The graphic rendering and the analysis of the building have been carried out by means of a series of computer-based instruments that have allowed the speedy progress of our work, sizably reducing the need of accurately defining the various models resorted to. The workflow implemented in this research work has at the beginning used a 2D drawing instrument (Autodesk AutoCAD) for a first level graphic definition, a BIM modeller (Autodesk Revit 2016) to achieve the computer-based model in which both architectural/structural elements and the analytical model related to them could be implemented, and FEM Midas Gen 2017 software in order to

Elementi costruttivi	Funzione	Descrizione
Pilastrì	Portante verticale	I pilastrì presentano uno sviluppo verticale con degli scarti ai livelli di piano, con sezioni che variano senza uno schema preciso (0,25-0,50 m) mentre solo alcuni elementi verticali hanno il lato maggiore compreso tra i 0,6-0,7 m
Solai	Portante orizzontale	I solai sono in latero-cemento gettato in opera, dello spessore 0,24 m (primi tre orizzontamenti) e 0,20 m (ultimo orizzontamento) sono orditi lungo la direzione nord-sud. La fondazione a platea con vespaio aerato è posta ad una quota -1,26 m rispetto la quota di campagna.
Copertura	Portante orizzontale/chiusura	La copertura è strutturale ed è realizzata con un solaio in latero-cemento dello spessore di 0,2 m ed è sostenuta in corrispondenza del colmo da una trave in calcestruzzo armato poggiante sull'ultimo livello dei pilastrì del telaio interno della struttura.
Travi principali	Portante orizzontale	Sono del tipo "a spessore" hanno dimensioni comprese tra i 0,4- 0,7 m, sono ordite nella direzione est-ovest e presentano uno spessore pari a quello del solaio completo: 0,24 m ai primi tre orizzontamenti e 0,20 m all'ultimo orizzontamento.
Tamponamenti perimetrali	Chiusura	Il tamponamento del telaio è stato realizzato con diversi tipi di murature: in pietra al piano terra, in laterizio pieno faccia a vista sui lati corti dell'edificio e in mattoni intonacati sugli altri lati.
Partizioni interne	Chiusura/partizione	I muri interni sono realizzati con tavole di cotto dello spessore di 0,08 m, con uno strato di intonaco di 0,01 m da entrambe i lati.

Tab. 01

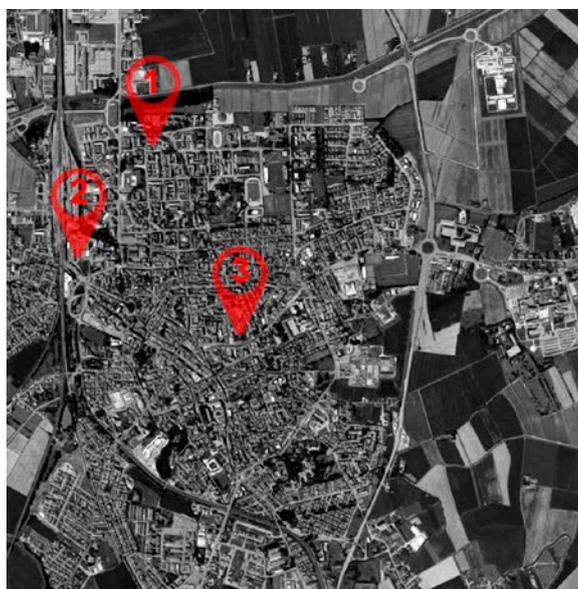
quattro livelli e il piano terra è destinato a garage mentre gli altri tre livelli sono destinati a due appartamenti di 90 e 80 mq (Fig. 3). La struttura portante è costituita da un telaio in calcestruzzo armato definito dalla successione di tre portali sviluppati longitudinalmente e collegati trasversalmente da quattro travi di collegamento (Tab. 1). L'indagine è stata rivolta ad un edificio degli anni '60 e '70 a questo periodo risale quasi il 20% dell'edilizia residenziale italiana (ISTAT, 2011).

La restituzione grafica e l'analisi dell'edificio è stata condotta con una serie di strumenti informatici tali da velocizzare il flusso di lavoro, riducendo al minimo la necessità di definire compiutamente i diversi modelli utilizzati per l'analisi. Il workflow implementato in questo lavoro di ricerca ha visto l'utilizzo in prima di uno strumento di disegno 2D (Autodesk AutoCAD) per la definizione grafica di primo livello, un modellatore BIM (Auto-

desk Revit 2016) per la realizzazione del modello informativo in cui poter implementare sia gli elementi architettonici che quelli strutturali che il loro relativo modello analitico, e il software FEM Midas Gen 2017 per studiare il comportamento strutturale sfruttando il modello principale realizzato in Revit.

Il progetto di riqualificazione

Sulla base dell'analisi del costruito è stato individuato un primo set di criteri di applicato poi al caso studio (Bertolazzi *et al.*, 2018), per il quale è stata progettata una sopraelevazione che riprende il progetto FAM (Flexible Additional Modules)². Questo è un sistema costruttivo reversibile e leggero per la riqualificazione degli edifici residenziali, il cui aspetto maggiormente innovativo è la capacità di adattarsi alle differenti situazioni planimetriche degli edifici esistenti. Il siste-



03

04 | Disegni originali dell'edificio LI Ater Rovigo: prospetti nord, sud ed est e pianta tipo (1966) Archivio IACP, Rovigo
Original drawings building LI Ater Rovigo: north, south, east elevations, and first floor plan (1966) Archivio IACP, Rovigo

05 | Il sistema FAM: concept del sistema l'applicazione all'edificio LI ATER Rovigo, Marco Campagnola; Pianta della sopraelevazione dell'edificio LI ATER, Angelo Bertolazzi, Agata Maniero
FAM system: concept and application on LI ATER Rovigo building, Marco Campagnola; new floor plan of LI ATER building, Angelo Bertolazzi, Agata Maniero

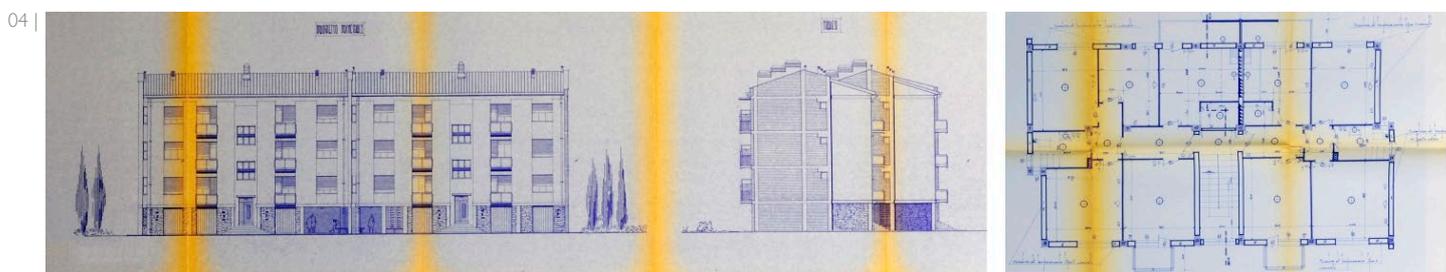
ma FAM (Fig. 4a) è nato da uno studio tipologico dell'edilizia residenziale italiana del secondo dopoguerra, riguardante sia i materiali che gli schemi planimetrici e strutturali più ricorrenti. Il materiale per il FAM è costituito dal CLT (Cross Laminated Timber), o X-Lam, impiegato in pannelli, che presenta notevoli vantaggi, a livello strutturale, energetico e costruttivo, che sono particolarmente utili nei contesti densi delle periferie novecentesche (Bertolazzi *et al.*, 2018).

L'applicazione del sistema FAM ha consentito un ampliamento in sommità dell'edificio caso studio, realizzando due unità residenziali modulari (definite tipo A e B) e connesse mediante il vano scala centrale dell'edificio esistente. Il modulo A è formato da due appartamenti, rispettivamente di 72 mq e 78 mq, mentre il modulo B presenta due alloggi di 68 mq e di 66 mq. L'accesso agli spazi interni avviene mediante un pianerottolo comune, raggiungibile grazie all'aggiunta di una rampa di scale (Fig. 4b). La posizione del vano scale, tipica peraltro degli edifici residenziali di questo periodo, ha facilitato il progetto della sopraelevazione per quanto riguarda l'accesso alle nuove unità abitative, che in caso di differenti impostazione planimetriche sarebbe risultata molto più onerosa. L'analisi statica e dinamica della sopraelevazione svolta precedentemente (Bertolazzi *et al.*, 2018) ha permesso di caratterizzare l'effetto complessivo sull'edificio dato dalla sopraelevazione evidenziando problematiche legate all'innalzamento del baricentro

delle masse globali dell'edificio a fronte di rigidità praticamente inalterate con conseguente aumento dei periodi propri di vibrazione della struttura. Globalmente si può quindi affermare che, per questo tipo di edifici, l'aumento della massa in sommità oltre a non comportare miglioramenti alla struttura esistente può anche portare ad un effetto di amplificazione degli spostamenti, nonostante la struttura sia interessata da accelerazioni minori. Ciò è ipotizzabile per un avvenuto innalzamento della quota del baricentro delle masse. Sulla base di questo si può affermare che la problematica principale non risulta essere il valore assoluto di massa, ma piuttosto la sua posizione geometrica, in quanto si è osservato che ad un aumento relativamente ridotto di peso in sommità i periodi di vibrazione collegati ai primi modi di vibrare presentano aumenti complessivi apprezzabili. Da questo l'importanza di analizzare correttamente lo stato di progetto in rapporto allo stato di fatto e di utilizzare strutture leggere quali quelle in pannelli o strutture intelaiate di legno.

A seguito delle verifiche svolte sul modello si è constatato che le linee guida preliminarmente individuate sono sostenibili. Inoltre, si è ritenuto corretto integrare le stesse mediante nuovi punti di significativa importanza dedotti dai risultati ottenuti, quali:

- verifica degli assetti strutturali dell'edificio anche nel "transitorio" per determinare eventuali situazioni potenzialmente pericolose in caso di eventi incidentali (sisma, vento o neve);





– verifica dello spostamento dei baricentri delle masse globali poiché, l’innalzamento degli stessi, può causare spostamenti di piano anche maggiori rispetto alla configurazione iniziale. Le linee guida finali sono così state modificate con le necessarie integrazioni derivanti dall’analisi del caso studio (Bertolazzi *et al.*, 2018).

Alla luce delle considerazioni scaturite da questa prima parte della ricerca si è valutato la possibilità di utilizzare tecniche costruttive miste in grado mitigare le azioni strutturali innescate dalla sopraelevazione e al contempo di coniugare la duplice esigenza di un consolidamento strutturale e di un efficientamento energetico, applicando il sistema *Geniale cappotto sismico®* (Fig. 5)³.

Tale sistema era già stato caratterizzato da precedenti studi che ne hanno individuato i pregi ed i limiti per quanto concerne un pannello di dimensione indefinita modulato geometricamente variando parametri dimensionali quali la lunghezza, la larghezza e lo spessore. L’analisi con prove cicliche quasi statiche svolte su campioni di pannelli ha consentito di caratterizzare il funzionamento del sistema a cappotto rilevando sia una naturale diminuzione di rigidezza all’aumentare del numero di cicli e dello spostamento imposto che un comportamento generalmente elastico del sistema con al contempo un’elevata rigidezza (Pertile *et al.*, 2017). A partire da queste conclusioni si è applicato quindi il sistema al caso studio per verificare se l’apporto di incremento di rigidezze dato in linea teorica dal cappotto sismico potesse ripercuotersi sul comportamento globale dell’edificio post intervento.

È stata quindi applicata una mesh al perimetro dell’edificio per simulare il cappotto sismico, opportunamente connessa mediante vincoli lineari in corrispondenza dei cordoli di bordo, verificando i modi di vibrare e gli spostamenti (Fig. 6).

L’analisi ha evidenziato un modo principale della struttura sempre di tipo traslazionale nella direzione X, con $T1 = 0,250$ sec, e con il 91,09 % di massa partecipante oltre che un netto abbassamento del periodo con ricaduta nel plateau (grafico 1). Conseguentemente per il calcolo degli spostamenti finali si è ricorsi al calcolo del coefficiente:

$$\mu_d = 1 + (q - 1) (TC / T1)$$

$$\mu_d = 1 + (1,5 - 1) (0,619 / 0,250) = 2,238$$

Lo spostamento lungo l’asse X è pari a 1,09 cm; mentre lungo Y è pari a 1,04 cm. Gli spostamenti massimi avvengono non nella sopraelevazione dell’edificio, ma in corrispondenza dell’ultimo livello della struttura esistente. Da questo si vince che gli spostamenti lungo x si sono ridotti del 46%, la stessa percentuale tra lo stato di fatto e l’intervento senza sopraelevazione, valore utile per la verifica a martellamento di edifici contigui della medesima tipologia. L’analisi delle azioni taglianti (tabella 4) ha permesso di individuare un taglio di piano alla base della struttura nella direzione X di 2060 KN, e nella direzione Y di 1580 KN. Gli elementi che dovranno assorbire il taglio saranno nella direzione X per il 4% gli elementi beam della struttura, mentre nella direzione Y lo sforzo nelle travi e pilastri sarà pari ad un 8%.

Le considerazioni preliminari che si possono trarre dai dati ricavati, considerando anche la configurazione iniziale ante intervento di sopraelevazione già analizzata (Bertolazzi *et al.*, 2018) posso essere così di seguito riassunte (grafico 2).

L’azione del cappotto risulta altamente migliorativa nei confronti delle strutture esistenti, trattandosi di una struttura molto rigida e, come tale, atta a “richiamare” sollecitazioni in modo più effi-

study structural behaviour working on the main Revit made model.

The upgrading project

The analysis of the building has allowed the laying down of a first set of intervention criteria (Bertolazzi *et al.*, 2018) later applied to the case study, for which a project of upward extension based on a FAM (Flexible Additional Modules) project has been planned². This is a reversible and light construction system, capable of upgrading residential buildings, whose most innovative feature is its being able to adjust to the different layout of existing buildings. The FAM system (photo 4a) has arisen out of the typological study of post-World War II Italian residential housing, and regards both the materials and the most widely resorted to patterns with reference to layout and structure. The material used in FAM is

CLT (Cross Laminated Timber), or X-Lam, employed in panels, which affords sizable advantages, as regards structure, energy saving and construction; this proves particularly useful in the densely-populated contexts of XX century suburban areas (Bertolazzi *et al.*, 2018).

Resorting to the FAM system has allowed the upward extension of the case study building, resulting in two modular residential units (defined as type A and B), connected by means of the central stairwell of the existing building. The A module consists of two 72 and 78 sqm. flats, the B module of two 68 and 66 sqm. flats. The flats are reached thanks to a shared landing, to which an added flight of steps leads (photo 4b). The stairwell was positioned (as it was typical in the residential buildings of those times) so as to make the upward extension project

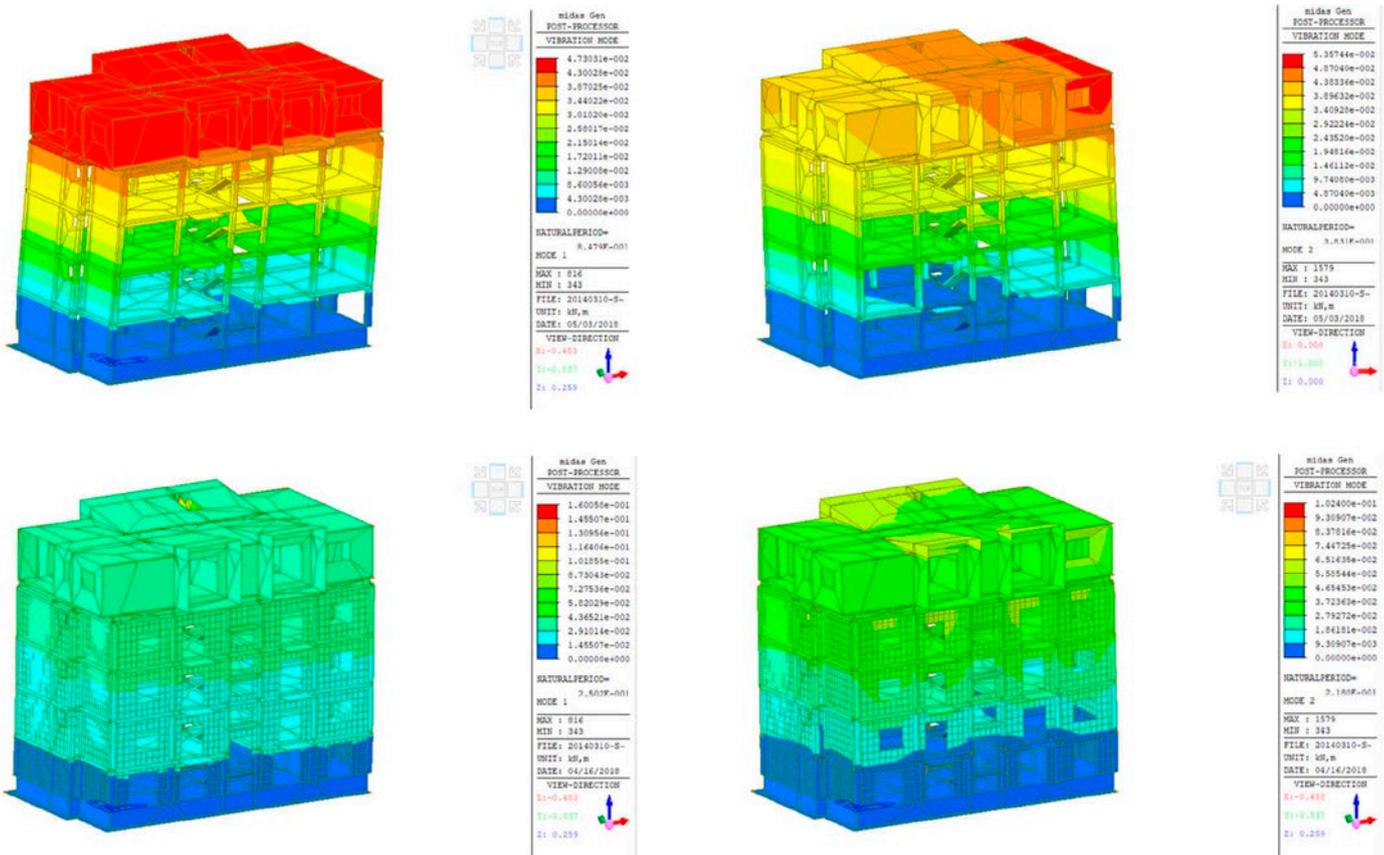
easier, as regards having access to the new housing units, which would otherwise have proved much more complex and costly.

The static and dynamic analysis of the added floor carried out earlier (Bertolazzi *et al.*, 2018) has allowed to assess the global impact on the building caused by upward extension, underlining the problems caused by the rising of the barycentre of the global masses of the building, whereas its rigidity remained more or less the same, which resulted in an increase in the periods of vibration of the structure. Globally it can therefore be stated that, as regards this type of buildings, increasing the mass at the top, besides failing to improve the existing structure, may even lead to amplify the shifting, in spite of the fact that the structure may be involved in less serious accelerations. Such behaviour may be ascribed to the

rising upwards of the barycentre of the masses. As a result, it can be stated that the main problem does not appear to be the absolute mass value, but rather its geometric position, since it has been observed that - given a relatively insignificant increase in weight at the top - the vibration periods then, when compared with the former (before such increase) prove rather noteworthy. Hence the need of correctly analysing the project layout in relation with the current state and of resorting to light structures, such as panels or rigid timber frames.

The tests carried out on the model have proved that the guidelines chosen at the beginning are sustainable. Furthermore, the evidence has suggested said guidelines ought to be improved thanks to the meaningful results obtained, as follows:

- tests on the structural stance of the building even at the stage of „work



ciente delle strutture esistenti maggiormente deformabili.

Si nota chiaramente come da una situazione ante intervento nella quale il tagliante di base nelle due direzioni è pari rispettivamente a 480 kN e 949 kN, si passi, nella situazione con cappotto, ad uno “scarico” notevole delle strutture verticali esistenti a fronte di un trasferimento delle sollecitazioni sul nuovo “shell”

in calcestruzzo applicato a tutto il perimetro dell'edificio, che costituisce un “confinamento” strutturale dell'edificio stesso.

L'incremento totale di azione tagliante è superiore nello stato post intervento a causa dell'ovvio aumento dei carichi dato dalla sopraelevazione e dal peso stesso del cappotto in c.a. Per quanto concerne i periodi propri della struttura si nota come l'azione del

in progress“, in order to focus on potentially dangerous behaviour, should unforeseeable events occur (earthquake, wind or snow);

- tests on the shifting of barycentre: their upward motion can result in shifts of plane even greater than what was reckoned in the initial set up.

The final guidelines have therefore been modified thanks to the additions suggested by the analysis of the case study (Bertolazzi *et al.*, 2018).

In the light of the findings arising from the first stage of the research, the viability of resorting to various construction techniques has been taken into account: they should be capable of lessening the structural stresses triggered off by the addition of one floor and at the same time of bringing about two highly required results, i.e. strengthening the structure of the building and

making it energy efficient, applying the “Geniale cappotto sismico” system (seismic-thermal-acoustic retrofitting of existing buildings) (photo 5).

Such system had already been subjected to previous studies that had pointed out its positive and negative features as regards a geometrically modulated panel of undefined size, varying its dimensions (length, width, thickness). The analysis, resorting to almost static cyclic tests carried out on panel samples, has allowed to define the behaviour of seismic-thermal-acoustic insulation coating, assessing both a natural decrease in rigidity as the number of cycles and the resulting shift increased, and a generally elastic behaviour of the system that at the same time evinced a high rigidity (Pertile *et al.*, 2017).

Starting from the above conclusions, the system has been applied to the case study in order to test whether the

increase in rigidity theoretically resulting from the seismic-thermal-acoustic insulation coating might impact on the global behaviour of the building after the upward extension.

Therefore, a mesh has been applied all along the perimeter of the building, so as to simulate the coating; the mesh was connected by means of linear pegs fitting into the edge beams, so as to test the kinds of vibrations and stresses (photo 6).

The analysis has shown a main translation motion of the structure in the X direction, with $T1=0,250$ sec, and with 91, 09% of the mass being involved beside a clear lowering of the period related to the plateau (1 diagram). As a consequence, in order to evaluate the final shifts, the calculation of the coefficient has been resorted to:

$$\mu d = 1 + (q - 1) (TC / T1)$$

$$\mu d = 1 + (1,5 - 1) (0,619 / 0,250) = 2,238$$

The shift along the X axis amounts to 1,09 cm; along the Y axis to 1,04 cm. The amplest shifts occur along the top of the existing structure, rather than in the added floor. It can therefore be assessed that the shifts along X have shown a 46% reduction, the same percentage as between the current state and the intervention prior to the extension, a useful element for achieving a mechanical hammering test on adjoining buildings presenting the same typology.

The analysis of the shearing forces (table 4) has allowed to identify a 2060 KN in-plane shear at the base of the structure in the X direction and a 1580 KN one in the Y direction 4% of the beam elements of the structure that will absorb the shear will be in the X direction, whereas in the Y direction the stress on the beams and on the columns will amount to 8%.

cappotto comporti un generale calo del periodo con conseguente abbassamento all'interno del plateau. Tale fatto comporta accelerazioni maggiori sulla struttura che dovranno essere tenute in considerazione nell'ottica delle verifiche finali.

Le analisi svolte in questa fase della ricerca e i dati raccolti, se da un lato evidenziano l'efficacia del sistema di rinforzo proposto, dall'altro necessitano di ulteriori approfondimenti poiché rimane da indagare approfonditamente la zona critica di interconnessione tra cordolo di bordo esistente e la lastra in calcestruzzo del cappotto sismico. È infatti importante notare che il meccanismo di collaborazione tra le due strutture si attui nel mentre della connessione metallica tra i due elementi e l'efficienza della connessione appunto, intesa in termini di rigidezza e capacità di trasferire le azioni, può influenzare in modo drastico il meccanismo strutturale finale.

Conclusioni/futuri sviluppi

La ricerca fin qui svolta ha permesso di verificare la possibilità di eseguire sopraelevazioni compatibili con l'esistente analizzando le metodologie di intervento più efficaci in rapporto alle nuove funzioni, all'impostazione planimetrica dell'edificio esistente e al comportamento globale dell'edificio finale nel suo complesso. Il risultato principale è stato raggiunto a livello metodologico nella definizione del quadro logico entro il quale sviluppare il progetto. L'applicazione ad un caso studio ha consentito, anche se solo in ambiente digitale, una prima verifica delle linee guida individuate per la sopraelevazione, consentendo così una prima rimodulazione delle specifiche precedentemente ipotizzate alla luce dei nuovi risultati numerici ottenuti. Per quanto concerne gli sviluppi futuri si prevede

Taking also into account the initial set up before the already analyzed upward extension (Bertolazzi *et al.*, 2018), the preliminary conclusions that arise from the data gathered can be summarized as follows (diagram 2):

Resorting to the seismic-insulating coating highly improves the existing structures, since – being a very rigid structure – it “attracts” stresses much more efficiently than the more easily warped existing structures.

It can therefore be clearly assessed that – if before applying the seismic-insulating coating, the base shear in the two directions amounted to 480 kN and 949 kN each way – after the intervention there was a noteworthy “download” in the existing vertical structures thanks to the stresses being shifted to the new concrete “shell” applied along the whole perimeter of the building; such shell becoming the

structural “boundary” of the building itself.

The total amount of shearing forces is higher after the intervention, owing to the obvious increase in the loads caused both by the upward extension and by the weight of the reinforced concrete seismic-insulating coating itself. As regards the periods belonging to the structure, the seismic-insulating coating generally causes a decrease in the period, and consequently a decrease within the plateau. This, in turn, leads to higher accelerations on the structure that ought to be taken into account when it comes to the final assessments.

The analyses carried out in this stage of the research and the data gathered on the one hand have proved that such system of reinforcement is worthy of consideration, on the other suggest that further investigation is needed;

- la verifica di diversi sistemi di connessione (differentemente efficienti) al variare delle caratteristiche del cordolo di bordo che, nella configurazione reale dell'edificio potrebbe possedere caratteristiche materiche scadenti, a causa dei fenomeni di degrado esistenti;
- l'analisi del contributo energetico della sopraelevazione (per quanto riguarda la componente attiva, cioè degli impianti) e del cappotto sismico (componente passiva o dell'involucro edilizio) e della sua capacità di produrre azioni di compensazione delle variazioni termiche in regime estivo dell'edificio recuperato

Questo approfondimento degli aspetti energetici consentirà di avere un quadro più completo per valutare la fattibilità tecnica ed economica della sopraelevazione e, in caso affermativo, di individuare i criteri di intervento più adatti alla riqualificazione ‘verticale’ dello stock edilizio residenziale italiano della seconda metà del Novecento.

NOTE

¹ Il progetto di ricerca *Up-One* – prof. U. Turrini (resp. Scientifico), ing. A. Bertolazzi, M. Campagnola, per la formulazione di un progetto pilota di una sopraelevazione leggera e modulare, è stato sviluppato dal Dipartimento ICEA dell'Università di Padova, in collaborazione con l'ATER di Rovigo, e finanziato con bando competitivo del Fondo Sociale Europeo-Regione Veneto (Cod. 2105-23-2121-2015).

² Il progetto FAM (Flexible Additional Modules) è il risultato di una ricerca condotta presso il Dipartimento di ICEA, dell'Università degli Studi di Padova prof. U. Turrini (coord.), ing. M. Campagnola, L. Forlin e M. Cecchetto, riguardante lo sviluppo di sistemi costruttivi reversibili ed innovativi per le sopraelevazioni di edifici residenziali, finalizzate alla loro riqualificazione. Il progetto FAM ha vinto il primo premio nell'ambito del concorso “Urban densification: the city on the city, building upwards”, del 3° Campus Archizinc 2014-2015.

an in-depth analysis is needed about the critical area of mutual connection between the existing edge beams and the concrete pane of the seismic-insulating coating. It is to be underlined in fact that the two structures interact by means of the metal connections binding them together, so that the features of such connections – i.e. mainly rigidity and ability to convey forces – dramatically impact on the final efficiency of the structure.

Conclusions/ future developments

The research carried out so far has aimed to test the viability of resorting to compatible-with-existing-buildings upward extensions, analysing the best typologies of intervention in relation with the new functions, layout set up of the existing building and global behaviour of the resulting building as a whole. The main result has been

reached at a methodological level: a logical framework has been defined, within which to develop the project. The reference to a case study has allowed (though in a merely digital environment) a first test of the guidelines laid down for upward extension, so as to reassess former conclusions in the light of the new numerical results obtained. As far as future developments are concerned, our plan means

- to test the various systems of connection (each has a different degree of efficiency) depending on the varying of the features of the edge beams, which in the real set up of the building might present poorly-efficient materials, owing to deterioration;
- to analyze the energy efficiency of upgrading extension (as regards its active components, i.e. plants) and of the seismic-insulating coating

³ Il sistema analizzato, denominato “Geniale cappotto sismico” e sviluppato dalla ditta Ecosism Srl, è composto da un cassero a perdere formato da due strati di materiale isolante in polistirene, distanziati per formare un’intercapedine in cui realizzare in opera lo strato strutturale in calcestruzzo armato. Il collegamento strutturale con la struttura portante esistente avviene mediante connettori installati nel cordolo o nella trave di piano, i quali possono essere delle comuni viti da calcestruzzo autofilettanti. In corrispondenza del collegamento, lo strato di materiale isolante interno a contatto con la parete viene interrotto, realizzando una nervatura orizzontale di spessore maggiorato. Si creano quindi dei setti sottili in c.a. che lavorano in parallelo agli elementi resistenti della struttura esistente. Lo spessore della lastra e la quantità di armatura vengono determinate in funzione delle azioni orizzontali previste e della capacità della struttura esistente di resistere ad esse. Per la conformazione del sistema, in fase di dimensionamento e verifica, si assume che le azioni verticali statiche rimangano affidate alla struttura esistente, mentre le azioni orizzontali vengano ripartite in funzione della rigidità tra la nuova struttura e l’esistente.

REFERENCES

15° Censimento della popolazione e delle abitazioni, fasc. C18, ISTAT, 2011.

Aiello, L., Novi, F. and Raiteri, R. (1979), *Regole tipologiche. Metodo analitico per la scelta delle tipologie edilizie per la residenza*, Ed. Luigi parma, Bologna.

Bromley, R.D.F., Tallon, A.R. and Thomas, C.J. (2005), “City centre regeneration through residential development: contributing to sustainability”, *Urban Studies*, Vol. 42, n. 13, pp. 2407-29.

Bertolazzi, A., Caini, M., Campagnola, M., Croatto, G., Paparella, R. and Turrini, U. (2018), *From superelevation to refurbishment the case of the ATER quarter in via Gramsci, Rovigo (1967-1971)*, Proceedings of 42nd IAHS World Congress 2018, ED, Napoli.

Carotti, A. (2011), *Riqualificazione energetica degli edifici. Linee guida per progettazione integrata*, Utet Scienze Tecniche, Torino.

European Commission (2011), *Roadmap to a Resource Efficient Europe*, available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri>

(passive component or building shell), assessing how far the extension is capable of compensating the summer thermal variations of the upgraded building.

The new analysis of the energy requirements will allow to obtain a more complete assessment of the technical and economic feasibility of upward extension; should the results be encouraging, the most suitable “upward” upgrading intervention criteria for Italian 1950-2000 residential buildings will be laid down.

NOTES

¹ The Up-One research project – prof. U. Turrini (responsible for the scientific section), ing. A. Bertolazzi, M. Campagnola, meant to lay down a pilot project of a light and modular upward extension, has been developed by Padua University ICEA Department,

jointly with ATER of Rovigo, financed thanks to a competitive bid by Fondo Sociale Europeo-Regione Veneto (Cod. 2105-23-2121-2015).

² The FAM (Flexible Additional Modules) project results from a research by Padua University ICEA Department (prof. U. Turrini – coord. – ing. M. Campagnola, L. Forlin, and M. Cecchetto) regarding the development of residential buildings upward extension reversible and innovative construction systems, with the aim of their upgrading. The FAM project has won the first prize in the competition “Urban densification: the city on the city, building upwards” of 3rd Campus Archizine 2014-2015.

³ The system under survey, named “Geniale cappotto sismico” – developed by the Ecosism Srl firm – consists of a transitory formwork made up of two layers of insulating polystyrene

=CELEX:52011DC0571.

European Commission (2016), *Future Brief: No net land take by 2050?*, Brussel.

Feiress, L. and Klanten, R. (2009), *Built-on: converted architecture and transformed buildings*, Die Gestalten, Berlin.

Ferrante, A. (2012), *A.A.A. Adeguamento, Adattabilità, Architettura. Teorie e metodi per la riqualificazione architettonica, energetica ed ambientale del patrimonio edilizio esistente*, Bruno Mondadori, Milano.

Gaspari, J. (2012), *Trasformare l’involucro: la strategia dell’addizione nel progetto di recupero. Tecnologie per la riqualificazione sostenibile del costruito*, Edicom Edizioni, Udine.

Grecchi, M and Malighetti, L.E., *Ripensare il costruito. Il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini, 2008.

Highfield, D. and Gorse, C. (2009), *Refurbishment and Upgrading of Buildings*, Taylor & Francis, New York.

Imperadori, M. (2001), *Costruire sul costruito: tecnologie leggere nel recupero edilizio*, Carocci, Roma.

Kohler, N. and Hassler, U. (2002), “The building stock as a research object”, *Building Research & Information*, Vol. 30, n. 4, pp. 226-36.

Latham, D. (2000), *Creative Re-Use of Buildings*, Donhead Publishing Ltd, Shaftesbury.

Mooser, M., Forestier, M. and Pittet-Baschung, M. (2011), *Surélévations en bois: densifier, assainir, isoler*, Presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne.

Pertile, V., De Stefani, L. and Scotta, R. (2017), *Sviluppo e caratterizzazione di un sistema per il miglioramento delle prestazioni sismiche ed energetiche degli edifici esistenti*, Atti del XVII convegno ANIDIS, Pistoia.

Rohracher, H. (2001), “Managing the technological transition to sustainable construction of buildings: a socio-technical perspective”, *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol. 13, n. 1, pp. 137-150.

Rossini, G. and Segrè, D. (1968), *Tecnologia edilizia*, Vol.1, Hoepli, Milano.

material, kept at a certain distance so as to obtain a gap inside which the structural layer of reinforced concrete can be built. The structural connection with the existing weight bearing structure is achieved by means of connectors placed along the edge beams of the floors; they can be simple self-threading concrete screws. Wherever connections are placed, the inside layer of insulating material close to the wall is cut and replaced by a thicker horizontal rib. In this way, thin reinforced concrete partitions are created that act in support of the resistant elements of the existing structure. The thickness of the slab and the amount of reinforcement are calculated depending on the hypothesized horizontal stresses, and of the extent of stresses the existing structure is supposed to bear. As regards the system set up, when planning dimensioning and tests, static vertical

forces are presumed to be absorbed by the existing structure, whereas horizontal forces to be shared proportionally to the rigidity between the new and the original structure.