

An integrated system for façade additions combining safe, energy efficient and user-orientated solutions

Anastasia Fotopoulou*, Annarita Ferrante, Lorenzo Badini,
Giorgia Predari, Giovanni Mochi, Giovanni Semprini,
Riccardo Gulli, Margarita Assimakopoulos, Dimitra Papadaki

Highlights

The Pro-GET-onE research project (Pro-GET-onE Horizon 2020 IA, GA No. 723747) aims to achieve high standards in terms of socio-economic, energy and seismic performances through the GET, an integrated system made of by an external exoskeleton combined with pre-fab envelope modules that attract and involve users in the choice of customizable solutions. The building energy simulation software, EnergyPlus v8.4, along with a modelled analysis regarding the structure using finite element calculation software SAP2000 v19.2.0 were performed for dynamic and static analysis, to define the energy and structural improvements.

Abstract

This research work, as part of the Horizon H2020 project, Pro-GET-onE (Horizon 2020 GA No. 723747), aims to demonstrate the attractiveness of a renovation strategy based on new façade additions that combine integrated technologies (GET) to achieve high standards in terms of socio-economic, energy and seismic performance. This document investigates, in particular, the possible transformation of the existing building envelope with external reinforcement structures, which generate energy-efficient buffer zones and at the same time increase the volume of the building.

Keywords

Energy efficiency, Seismic retrofit, User-orientated solutions, Façade additions, Integrated technologies

1. INTRODUCTION

In Europe, the 75% of the building stock has very low energy efficiency performance, while a 35% of buildings are over 50 years old [1]. Given this context, the renovation of existing buildings has a high potential in terms of energy savings. Only architectural interventions and technological choices on the envelope can passively reduce the energy consumptions of a building in a significant way, up to percentage close to 50% [2], reaching nZEB performances (almost zero-energy building) [3, 4]. In this context, the aim of the Pro-GET-onE research project (Pro-GET-onE Horizon 2020 IA, GA No. 723747) [5] is to achieve high standards in terms of socio-economic sustainability, energy requirements and seismic safety; the project tries to



Anastasia Fotopoulou

DA – Department of Architecture,
University of Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italy

Annarita Ferrante

DA – Department of Architecture,
University of Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italy

Lorenzo Badini

DA – Department of Architecture,
University of Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italy

Giorgia Predari

DA – Department of Architecture,
University of Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italy

Giovanni Mochi

DA – Department of Architecture,
University of Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italy

Giovanni Semprini

DIN – Department of Industrial
Engineering, University of
Bologna, viale Risorgimento 2,
Bologna, 40100, Italy

Riccardo Gulli

DA – Department of Architecture,
University of Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italy

M. Assimakopoulos

Physics department, National
& Kapodistrian University of
Athens, Athens, Greece

Dimitra Papadaki

Physics department, National
& Kapodistrian University of
Athens, Athens, Greece

* Corresponding author
Tel.: +39-051-2093182;
e-mail: anastasia.fotopoulou2@unibo.it

achieve this goal through a system – GET – that can be implemented on the building envelope through an external exoskeleton and can significantly increase its real estate value, the life cycle of the building, the attractiveness of the users involved in the choice of new functional and personalized solutions. The criteria to follow are those of the search for sustainable solutions and fast realization, which do not involve the disturbance of the inhabitants and which also offer functional improvements to residential units, with the extension of living space, as introduced by A. Ferrante et al. [8].

Regarding the structural strengthening, after a careful assessment of the vulnerability of a building, it is necessary to proceed with the choice and adoption of the right strategy able to allow the structure to withstand the seismic action provided by the national standards. This choice depends on numerous factors, including invasiveness, cost, overall behaviour and critical issues of the structure, objectives that in particular situations can be achieved thanks to the positioning of new reinforcement structures outside the existing building (steel exoskeletons), as occurred in some recently experimented cases.

Among these, it is worth mentioning the case of the redevelopment of the offices and warehouse buildings of the Magneti Marelli factory in Crevalcore –Italy – made by Teleios Srl [6, 7], and the seismic reinforcement of the building of the Department of Rural and Topographical Engineering of AUTH in Thessaloniki, Greece [9].

2. THE GET-SYSTEM: THE ABACUS CONFIGURATION

The research study is based on the unprecedented integration of different technologies to achieve a multi-benefit approach by a closer integration between different aspects:

- energy requirements – by adding (or substituting the existing with) new prefab and plug and play high energy performing envelopes and HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) systems;
- safety – using appropriate external structures to increase the overall structural capacity of the building, while supporting the new envelope consisting in timber-based components for opaque parts/surfaces, and aluminum, glass, PV Photovoltaic, solar panels;
- social and economic sustainability – increasing the real estate value of the buildings and the desirability of retrofit options by providing tailored and customized solutions for users, owners and house managers, increasing safety and minimize disturbance of inhabitants.

1. INTRODUZIONE

In Europa, il 75% del patrimonio edilizio presenta prestazioni di efficienza energetica molto basse e il 35% degli edifici ha più di 50 anni [1]. In questo contesto, è evidente come il rinnovamento degli edifici esistenti ha un alto potenziale in termini di risparmio energetico. Gli interventi architettonici e le scelte tecnologiche sull'involucro possono ridurre passivamente i consumi energetici di un edificio in modo significativo, fino a una percentuale che può superare il 50% [2], aiutando il progressivo cammino verso prestazioni nZEB (edifici a energia quasi zero) [3, 4]. In tale ambito, l'obiettivo del progetto di ricerca Pro-GET-onE (Pro-GET-onE Horizon 2020 IA, GA n. 723747) [5] è quello di raggiungere standard elevati in termini di sostenibilità socio-economica, fabbisogno energetico e sicurezza sismica; il progetto cerca di raggiungere questo obiettivo attraverso un sistema integrato di componenti diverse – GET – implementabile sull'involucro dell'edificio attraverso un esoscheletro esterno. Tale sistema può aumentare significativamente il valore immobiliare e il ciclo di vita dell'edificio, oltre a coinvolgere gli utenti nella scelta delle possibili soluzioni. I criteri da seguire sono quelli della ricerca di soluzioni sostenibili e di rapida realizzazione, che non comportino il disturbo degli abitanti e che offrano anche miglioramenti funzionali alle unità abitative, mediante l'estensione dello spazio abitativo, come riportato da A. Ferrante et al. [8].

Per quanto riguarda il rafforzamento strutturale, dopo un'attenta valutazione della vulnerabilità di un edificio, è necessario procedere con la scelta e l'adozione della strategia giusta per consentire alla struttura di resistere all'azione sismica prevista dagli standard nazionali. Questa scelta dipende da numerosi fattori, tra cui l'invasività, i costi, il comportamento complessivo e le criticità della struttura, obiettivi che in particolari situazioni possono essere raggiunti grazie al posizionamento di nuove strutture di rinforzo all'esterno dell'edificio esistente (esoscheletri in acciaio), come accaduto in alcuni casi recentemente sperimentati. Tra questi, vale la pena citare il caso della riqualificazione degli uffici e dei magazzini dello stabilimento Magneti Marelli di Crevalcore – Italia – realizzato da Teleios Srl [6, 7] e quello del rinforzo sismico dell'edificio del Dipartimento di Rurale e Ingegneria topografica di AUTH a Salonicco, Grecia [9].

2. IL SISTEMA GET: LA CONFIGURAZIONE DELL'ABACO

Lo studio di ricerca si basa sull'integrazione di diverse tecnologie per ottenere un approccio con benefici multipli attraverso la stretta integrazione tra diversi aspetti:

- *fabbisogno energetico - aggiungendo (o sostituendo all'esistente) involucri performanti e sistemi HVAC pre-assemblati e "plug and play" per soddisfare le esigenze di riscaldamento, ventilazione, aria*

The GET system offers the dual objective of the extension of the service area in relation to existing housing units and, simultaneously, an improvement of its energy performance.

The energy simulations have shown that the new envelope inclusive of solar sun-space, with adjustable openings during summertime, can reduce energy consumption until 75% of its amount during the winter season; the variable configuration for this kind of glazed system allows an additional reduction of the solar contribution together with an increase of the natural ventilation, reducing to 35% the energy consumption for the cooling system.

Simulations have been performed in different climatic areas from Northern Europe to the Mediterranean area, performances close to the nZEB (nearly zero energy buildings) [10] have been achieved, through the application of a traditional thermal envelope combined with a controlled mechanical ventilation (VMC). Many references in the literature have confirmed this potential reduction of the required energy [3]. In Fotopoulou et al. [4], e.g., the behaviour of a single residential unit has been evaluated considering various options, both singularly and combined, in order to achieve an energetical improvement.

The proposed analysis has been performed for three different climatic areas (Athens, Riga and Bologna) and has shown results that confirm a consistent energy saving for both summertime and the winter season. One of the main constraints about energetic and architectural redevelopment interventions is the difficult integration between different technologies and functionality.

In order to overcome this barrier searching for a new paradigm finalized to an increased economic and social desirability, as stated above, the research project uses a modular system made of prefabricated components, chosen and optimized for different applications inside a user-orientated perspective (adding balconies, extra-room, sun-spaces according to the different user needs). The integration of the proposed system will focus on the interface between its different components with the aim of providing the correct performance based on project requirements. The addition solutions will be implemented in order to ensure a good flexibility of the system, to be interchangeable and adaptable depending to the different climatic conditions, urban context and the choices of the considered population.

Fig. 1 shows the development of the architectural abacus in relation to possible incremental transformation solutions (from top to bottom: balcony, sunspaces, extra-room). An ABACUS of different options (the façade modules) is being studied according to the main structural frame and the residential units' utilities.

condizionata;

- *sicurezza - utilizzando strutture esterne al fine di aumentare la capacità strutturale complessiva dell'edificio e sostenendo, al contempo, il nuovo involucro costituito da componenti lignei per le porzioni e superfici opache, alternate ad elementi in alluminio e vetro per le componenti finestrate, oltre ai sistemi per la generazione dell'energia elettrica da fotovoltaico;*
- *sostenibilità sociale ed economica - aumento del valore immobiliare degli edifici e desiderabilità delle opzioni di retrofit, fornendo soluzioni su misura e personalizzate per utenti, proprietari e dirigenti, aumentando la sicurezza e minimizzando il disturbo degli abitanti.*

Il sistema GET ha dunque il duplice obiettivo di ampliare le superfici di servizio degli alloggi esistenti e di migliorarne il comportamento energetico. Le simulazioni energetiche implementate nel progetto hanno dimostrato che il nuovo involucro con serre solari, apribili in estate, può ridurre il consumo di energia fino al 75% nella stagione invernale; l'assetto variabile di un tale sistema vetrato consente anche la riduzione degli apporti solari e l'aumento della ventilazione naturale anche in regime estivo, riducendo al 35% circa il consumo di energia per il raffrescamento. Sono state svolte simulazioni in diverse zone climatiche dal nord Europa a nell'area del Mediterraneo, raggiungendo prestazioni prossime allo nZEB (nearly zero energy buildings) [10] mediante l'applicazione di un rivestimento termico tradizionale combinato con la ventilazione meccanica controllata (VMC). Molti riferimenti in letteratura hanno confermato questa potenziale riduzione di energia [3]. In Fotopoulou et al. [4], ad esempio, è stato valutato il comportamento di una singola unità residenziale considerando svariate opzioni, sia singolarmente che in combinazione, per il miglioramento energetico. Lo studio è stato eseguito per tre diverse zone climatiche (Atene, Riga, Bologna) e ha dimostrato un consistente risparmio energetico sia durante il periodo invernale che nel periodo estivo. Uno dei principali limiti degli interventi di riqualificazione energetica ed architettonica consiste nella difficile integrazione tra tecnologie e funzionalità differenti. Per superare questa barriera e cercare un nuovo paradigma finalizzato alla maggiore attrattività economica e sociale, come già sopra accennato, il progetto di ricerca prevede l'utilizzo di un sistema modulare composto da componenti prefabbricati, scelti ed ottimizzati per i diversi casi in una prospettiva user-orientated (con aggiunta di balconi, logge, serre in base alle potenziali diverse esigenze degli utenti). L'integrazione del sistema si concentrerà sull'interfaccia tra le diverse componenti allo scopo di garantire prestazioni in base ai requisiti di progetto. Le soluzioni di addizione saranno implementate in modo da garantire una discreta flessibilità del sistema, da poter essere inter-cambiabili e adattate in funzione

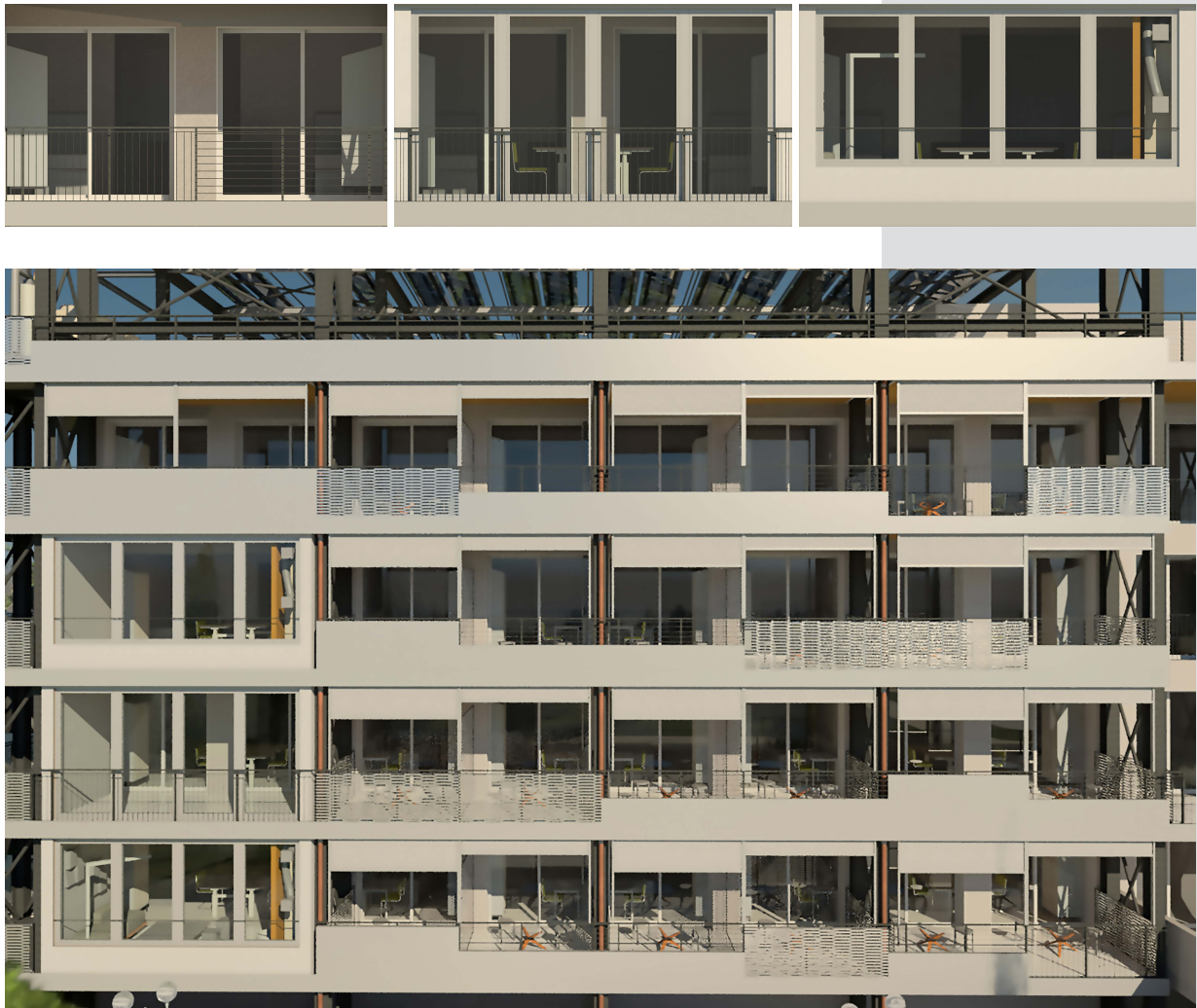


Figure 1, 2. Possible facade transformation with the use of the 3 Abacus typologies (balcony, extra-room, sunspace) on the case of Athens (drawings elaborated by F. Mengarelli).

Regarding the case studies analyzed during this research, different architectural solutions has been studied in relation to additional units, and subsequently divided into three functional typologies: balcony, sunspaces and extra-room. In order to properly sort the different project proposals, the developed solutions will be calibrated on user's perspective and needs.

These parameters change in relation to different aspects, like the inhabitant profile (number of the members of the family unit, age, kind of job, instruction level, economic situation, etc.) and the level of satisfaction about the housing unit (size, number of rooms, balcony, internal comfort, etc.).

The potential architectural solutions, categorized using a catalogue (abacus), will be considered as functional to the different user needs and to the solution's cost, with the aim to combine the use of renewable energies and closing technologies that will ensure a specific architectural result, user satisfaction, exterior quality and functionality of the building.

delle diverse condizioni climatiche, del contesto urbano e delle scelte degli abitanti. La figura 1 mostra lo sviluppo dell'abaco architettonico rispetto possibili soluzioni di trasformazione incrementale (dall'alto in basso, balcone, serra, extra-room). E' in fase di studio un ABACUS di diverse opzioni (i moduli della facciata), in base alla struttura principale e alle utenze delle unità residenziali. Tutte le prime soluzioni per i 3 casi sono state raggruppate insieme.

Per quanto riguarda l'edificio oggetto di studio, sono state studiate diverse soluzioni architettoniche corrispondenti a diverse unità addizionali, suddivise in tre tipologie funzionali: loggia, serra ed extra-room. Le figure 3 e 4 mostrano una possibile variazione funzionale e architettonica di un'aggiunta volumetrica esterna alla facciata nel caso di Atene.

Al fine di orientare al meglio le proposte di progetto, sia in termini generali, sia per edifici specifici, le soluzioni da sviluppare saranno calibrate sulla prospettiva degli utenti in funzione delle loro esigenze. Queste cambiano in base a diversi aspetti, come il profilo degli inquilini (numero



Figure 3, 4. Internal view of the different abacus verifications (before on top and after, bottom) on the Athens case (drawings elaborated by A. Cinti).

3. ENERGY PERFORMANCE IMPROVEMENT USING DIFFERENT ABACUS CONFIGURATIONS

To verify the energy performance of the different solutions, three different scenarios have been considered: the first scenario adopts the extension of all the existing rooms considering the extra-room solution (GET 1); in the second scenario all the rooms are expanded with the use of a sunspace (GET 2); the third scenario includes the insulation of the building together with the presence of a balcony (GET 3). The following graph (Fig. 5) represents the overall energy savings per GET system, per case study. Focusing to the main target which is the achievement of nZEB, it is resulted that in all case studies GET2 and GET3 scenarios are highly advisable.

Focusing in the case of Athens, it was run simulations with theEnergy Plus simulation software [11]. in relation to the different façade configurations, as reported in the Table 1 (thermal environment, lighting and acoustics according to EN 15251 [12]).

di persone del nucleo familiare, età, lavoro, livello di istruzione, livello economico, ecc.) ed il livello di soddisfazione dell'unità abitativa (dimensione, numero di camere da letto, balcone, comfort interno, ecc.). Le potenziali soluzioni architettoniche, categorizzate attraverso un catalogo (abaco), saranno considerate come funzionali alle diverse esigenze dell'utente e al costo delle soluzioni, nell'obiettivo di combinare l'utilizzo di energie rinnovabili e tecnologie di chiusura dell'involucro che assicurino uno specifico risultato architettonico, la soddisfazione dell'utente, la qualità estetica e la funzionalità dell'edificio.

3. MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE UTILIZZANDO DIVERSE CONFIGURAZIONI DELL'ABACO

Per verificare il comportamento energetico delle diverse soluzioni sono stati considerati gli effetti dei tre diversi scenari sull'intero edificio: un primo scenario considera l'estensione di tutte le stanze esistenti con la soluzione extra-room (GET 1); il secondo prevede un ampliamento delle stanze con una serra (GET 2); il terzo scenario prevede il solo isolamento dell'edificio e la presenza del balcone (GET 3). Il grafico seguente (Fig. 5) rappresenta il risparmio energetico

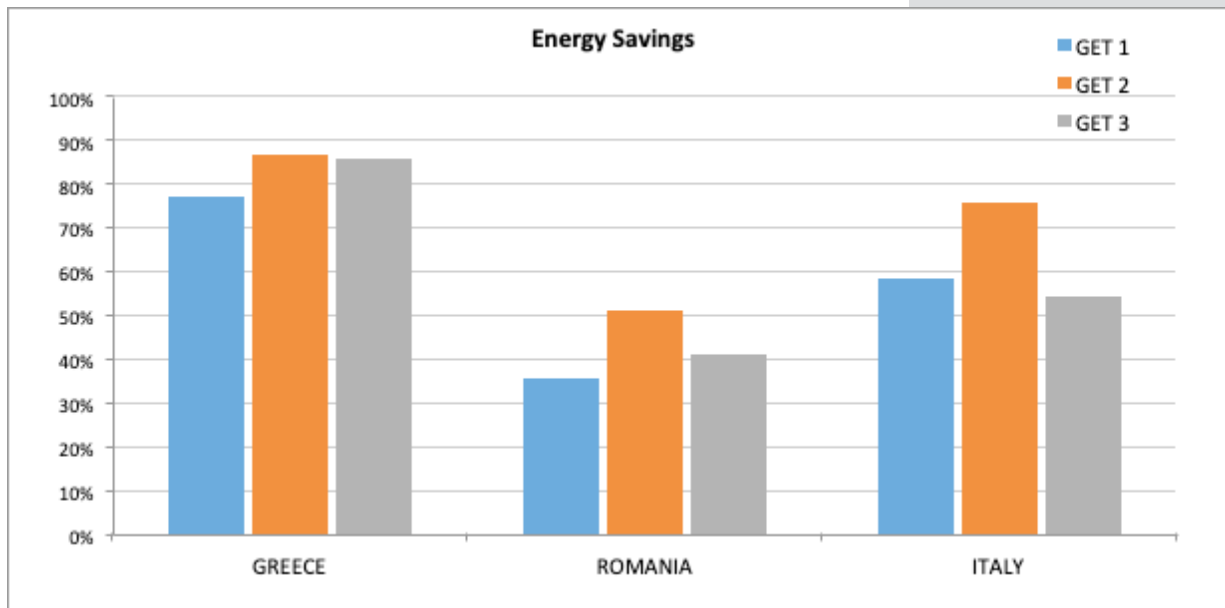


Figure 5. All different GET scenarios in the three case studies, regarding the energy savings.

Regarding the summer thermal load (cooling), the extension of the existing room (GET 1) has determined a reduction of 15%, while the use of the sunspace solution has increased the summer load by 35% of the initial condition. Finally, the third scenario has produced a reduction of 40%. Similar results have been reached also considering the winter thermal load (heating), where the addition of the balcony has allowed for a reduction of 41% on the starting consumption, while the scenarios comprehensive of “extra-room” or greenhouse have reduced the heating load by 30% and 25% respectively. Treating the natural lightning, as expected during preliminary phases, all the different scenarios proposed by the GET have decreased the daylight factor of the building, exception made for the sun spaces solution, as it leads to an increase of the internal window portion.

Regarding the energy savings gained by the reduction of the thermal load, the third scenario (balcony) seems to be the most effective; besides, the extension of the balcony, if not linked to an increase of the existing window area, as in the second case (sunspace), will reduce the daylight incidence by

complessivo generato dal GET system. In particolare, considerando l’obiettivo primario di raggiungimento delle prestazioni previste per gli edifici nZEB, risulta che tutti e tre gli scenari sono altamente efficienti.

Nello specifico, sul caso di studio di Atene sono state svolte simulazioni energetiche con il software Energy Plus [11] con diverse configurazioni di facciata, come riportato nella tabella 1 (comfort termico, illuminazione e acustica in accordo con la normativa europea EN 15251 [12]).

Per quanto riguarda il carico termico estivo (raffreddamento), l’estensione del locale esistente (GET 1) ha determinato una riduzione del 15%, mentre l’uso della serra ha aumentato il carico estivo del 35% rispetto allo stato iniziale. Infine, lo scenario che prevede il balcone ha prodotto un risparmio del 40%. Risultati simili sono stati raggiunti anche per quanto riguarda il carico termico invernale (riscaldamento), dove l’addizione del balcone ha consentito una riduzione del 41% del consumo iniziale, mentre gli scenari “extra-room” e serra hanno ridotto il carico di riscaldamento del 30% e del 25% rispettivamente. Per quanto riguarda l’illuminazione naturale - come era logico aspettarsi - tutti gli scenari previsti dal GET hanno ridotto il

	Extra-room	Sunspace	Balcony
Summer thermal loads	-15%	35%	-40%
Winter thermal loads	-30%	-25%	-41%
Daylight (%)	-33%	37%	-42%
Additional surface	21%	17%	0%

Table 1. Results obtained from Pro-GET-one, considering various façade configurations. The reported values refer to the entire building area, equal to 3.350 m² gross and 2.585 m² net.

42%. Further studies in order to verify the effect of natural lightning will be explored considering the different configurations and determine the optimal solution for lightning and energetic performances.

4. SEISMIC STRENGTHENING WITH THE USE OF THE STEEL EXOSKELETON

The analyses have been implemented for all the three cases (Greece, Italy, Romania) and the results will be presented in relation to the peak ground acceleration (PGA) value and to the decrease in terms of displacements. In these cases, the modelling and the linear and non-linear analyses defined as established in Eurocode 8 [13] were conducted with a finite element calculation software, SAP2000 [14].

From the analyses carried out on the three case studies, it can be deduced that the GET system approach involves an increase in the global stiffness of the existing system to the detriment of a reduction in the movements in the plastic phase. The post-intervention structural response is strongly conditioned by the structural typology and the status of existing buildings. On a general level, the application of the exoskeleton allows first of all an increase in the shear capacity action of the structure, which results in an increase in the value of the collapse acceleration. Whether the existing structure allows it, the excursion in the plastic phase of the exoskeleton consents the dissipation of additional energy. This fact implies the possibility to increase the behaviour factor q (obtained from the capacity curves), used for the dynamic linear analysis. It has been found that the GET structure implies the decrease in terms of displacement and an overall benefit against earthquakes with a lower return period (of minor entity). Regarding the limit states of significant damage (LS SD) and near collapse (LS NC) it is possible to notice a considerable increase in resistance while the dissipative capacity (as shown by the target displacement verifications) depends on how much the exoskeleton works in the plastic phase. For this reason, it is necessary to control resistance and displacement at the same time in order to find the balance that guarantees the right intervention. Alternatively, it is necessary to decide whether to increase stiffness or dissipation.

For example, in the Italian case study it has been noticed that the fast collapse in the weak direction of the masonry bearing structure does not allow the exploitation of the exoskeleton's damping properties. For this reason, further analyses are under development for solution of the steel exoskeleton, so that it can act beyond the elastic limit, thus obtaining a greater result in terms

fattore di luce diurna nell'edificio, ad eccezione della serra, poiché prevede un aumento della porzione finestrata interna.

Per quanto riguarda i risparmi energetici ottenuti dalla riduzione del carico termico, lo scenario del balcone sembra essere il più efficace; tuttavia, l'estensione del balcone, se non associato all'aumento delle superfici finestrate esistenti, come nel caso della serra, ridurrebbe la luce in entrata del 42%. Sono in corso ulteriori studi per verificare l'effetto dell'illuminazione naturale nelle diverse configurazioni e determinare la soluzione ottimale per le prestazioni illuminotecniche ed energetiche.

4. MIGLIORAMENTO SISMICO MEDIANTE L'IMPIEGO DELL'ESOSCHELETRO IN ACCIAIO

Le analisi sono state effettuate per tutti i tre casi (Grecia, Italia e Romania) coinvolti nel progetto e sono presentati i risultati in relazione al valore dell'accelerazione di collasso al suolo (PGA) e nella riduzione degli spostamenti. In questi casi, le modellazioni e le analisi lineari e non lineari impiegate sono definite come stabilito dall'Eurocodice 8 [13] con il software agli elementi finiti SAP2000 [14].

Dalle analisi effettuate sui tre casi studio si può dedurre che l'approccio del GET system comporta un aumento della rigidità globale del sistema esistente, a scapito di una riduzione dei movimenti nella fase plastica. La risposta strutturale post-intervento è fortemente condizionata dalla tipologia strutturale e dalle condizioni degli edifici esistenti. A livello generale, l'applicazione dell'exoscheletro consente innanzitutto un aumento dell'azione della capacità di taglio della struttura, che si traduce in un aumento del valore di accelerazione necessario a portare la struttura al collasso. Se la struttura esistente lo consente, inoltre, l'escursione nella fase plastica dell'exoscheletro consente la dissipazione di energia aggiuntiva. Questo implica la possibilità di aumentare il fattore di comportamento q (ottenuto dalle curve di capacità) utilizzato nell'analisi lineare dinamica. È stato riscontrato che questo tipo di intervento implica la riduzione di spostamenti e un conseguente beneficio contro i terremoti con un periodo di ritorno inferiore (di minore entità). Per quanto riguarda gli stati limite di danno significativo (LS SD) e di collasso (LS NC) è possibile notare un notevole aumento di resistenza, mentre la capacità dissipativa (come mostrato dalle verifiche di target displacement) dipende da quanto l'exoscheletro dissipa in fase plastica. Per questo motivo è necessario controllare contemporaneamente resistenza e spostamento, al fine di trovare l'equilibrio che garantisca un migliore esito all'intervento. In alternativa, è possibile decidere se aumentare solo la rigidità o la dissipazione.

Ad esempio, nel caso studio italiano è stato notato che la precoce rottura fragile della muratura portante dei vani scala non consente lo sfruttamento delle proprietà dissipative dell'acciaio. Per questo

of energy dissipation. A further solution could be the use of dampers in the bracing of the exoskeleton, possibly with lever arms that allow its use on small displacements. The steel structure can be re-sized also as a function of the modal analysis such as to “shift” the torsional vibrating modes away from the main ones.

This technique has been implemented in the case of Athens, managing to correct the first two ways of vibrating through the partially stiffening the exoskeleton. This allowed a significant increase in resistance against the horizontal actions of the existing structure, quantifiable as 44% of the reference value at the significant damage limit state and reaching the design value with respect to the displacement checks in the damage limit state.

Further research will be implemented for the verification of the most effective solution.

motivo, ulteriori analisi sono in corso per ottimizzare l'esoscheletro in acciaio, affinché possa entrare in campo plastico ed inoltre correggere eventuali modi di vibrare torsionali. Un'ulteriore soluzione da esplorare riguarda l'impiego di dissipatori nella controventatura dell'esoscheletro, possibilmente con bracci a leva che ne consentano l'uso con piccoli spostamenti. Nel caso di Atene, come anticipato, è stata eliminata la componente torsionale dai primi modi di vibrare attraverso la distribuzione controllata di rigidità in porzioni specifiche dell'esoscheletro. Questo ha consentito un sensibile aumento della resistenza contro le azioni orizzontali della struttura esistente quantificabile in un 44% del valore di riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita e raggiungendo l'adeguamento nei confronti delle verifiche a spostamento caratteristiche dello stato limite di danno. Infine, per l'implementazione del sistema più appropriato per il caso

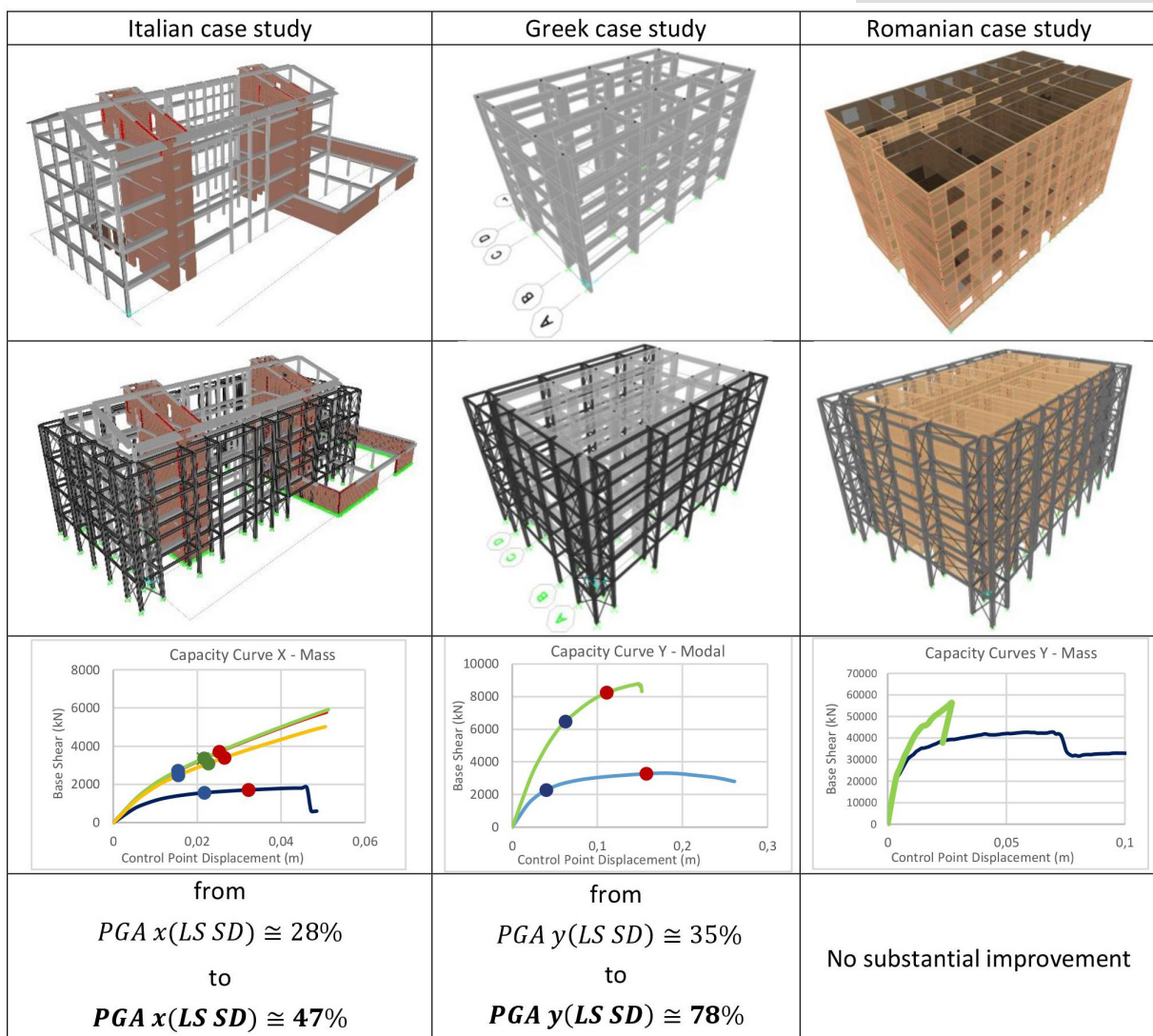


Figure 6. Finite element models before and after the application of the exoskeleton (above), capacity curves in the weakest directions and synthetic reference value for the seismic improvement (PGA) obtained. The three case studies are presented from left to right: Bagnolo in Piano (Italy), Athens (Greece) and Brasov (Romania).

The simulation regarding the last feasibility study (Brasov) was mainly based on assumptions, due to the lack of a detailed survey of the existing structure, and given the stiffness of the structure consisting in reinforced concrete walls, the GET intervention strategy does not imply a significant improvement. The great difference in stiffness between the reinforced concrete wall structure and the exoskeleton only entails worsening and/or risks added to the existing building. Here, a “two pillar” approach of the GET system can be achieved exploring the architectural renovation and the energy performance of the building. The social and energetic aspects will add value in terms of the real estate market and the attractiveness for the owners.

5. CONCLUSIONS

The work presents initial results obtained within the ongoing research activity aimed at studying an intervention technique able to solve in an integrated way the well-known structural and energetic shortage of the existing buildings constructed in the II post-war period. As a whole, the façade additions can be used to intervene on different aspects of the building retrofit. They mainly contribute to the increase of livable surface, while at the same time allow to achieve energy efficiency with different configurations reducing the thermal load required in summer and winter. The attempt to combine - in a prefabricated and customized solution - components for energetic and structural improvement on the same product, Pro-GET-onE means to provide a new possible paradigm in the practice of the recovery of existing buildings. This highly innovative and effective technology could help to re-launch the requalification sector and promote its application on a European scale. The solutions studied are aimed at allowing the creation of conditions that generate attractive self-financing schemes to support profound restructuring interventions. In fact, the GET system represents a possible standardized solution with a replicable strategy, especially for the Mediterranean countries of the EU (high seismicity) and of all areas with induced seismicity (e.g. The Netherlands), as illustrated in the seismic hazard maps of the SHARE project [15]. It is the authors' opinion that this is an appealing strategy in energy regeneration and architectural renovation of existing buildings for users, policy makers and investors.

The research project aims to ensure the correct exploitation of a basic knowledge to achieve the European strategic goal of mobilizing investments on the energy renovation of existing buildings, by virtue of a global reduction in consumption.

pilota, saranno valutate alternative di progetto come l'aggiunta solo sul lato longitudinale dell'edificio insieme alla connessione degli esoscheletri con una struttura di collegamento superiore (con una trave reticolare o una Vierendeel). Sarà inoltre analizzato l'intervento in condizioni dinamiche non lineari.

La simulazione dell'ultimo caso studio (Brasov) si è basata principalmente su ipotesi, a causa della mancanza di un'indagine dettagliata sulla struttura esistente. Data la rigidità della struttura costituita da pareti in calcestruzzo armato, la strategia di intervento GET non conferisce un miglioramento significativo. La grande differenza di rigidità tra la struttura a setti e l'esoscheletro comporta un annullamento dei possibili benefici dell'esoscheletro e un aumento dei rischi legati alla collaborazione delle due strutture. In questo caso, può essere realizzata una struttura autoportante indipendente da quella esistente, al fine di eseguire una riqualificazione architettonica ed energetica. Gli aspetti sociali e di risparmio energetico aggiungeranno valore ai temi del mercato immobiliare e dell'attrattiva per il proprietario dell'immobile.

5. CONCLUSIONI

L'articolo presenta risultati estrapolati dal progetto di ricerca, ancora in corso, volto a definire un sistema tecnico capace di risolvere in maniera integrata le ormai note carenze in termini di prestazioni strutturali ed energetiche degli edifici esistenti costruiti nel secondo dopoguerra.

Nel complesso, le addizioni di facciata possono essere utilizzate per intervenire su diversi aspetti nel miglioramento degli edifici. Consentono naturalmente ad aumentare la superficie utile complessiva, ma possono al tempo stesso contribuire a raggiungere obiettivi di rendimento energetico, in quanto diverse configurazioni possono ridurre il carico termico necessario in estate e in inverno. Nel tentativo di combinare - in una soluzione prefabbricata e personalizzata - componenti per il miglioramento energetico e strutturale nello stesso prodotto, Pro-GET-onE intende fornire un nuovo possibile paradigma nella pratica del recupero degli edifici moderni. Questa tecnologia altamente innovativa ed efficace potrebbe contribuire a rilanciare il settore della riqualificazione e promuoverne l'applicazione a scala Europea. Le soluzioni studiate mirano a consentire la creazione di condizioni tali da generare schemi attraenti di autofinanziamento a sostegno di profondi interventi di ristrutturazione; infatti, il sistema GET rappresenta una possibile soluzione standardizzata con una strategia replicabile, specialmente per i paesi mediterranei dell'UE (ad alta sismicità) e di tutte le aree a sismicità indotta (es. Olanda), come illustrato nelle mappe di pericolosità sismica del progetto SHARE [15]. È opinione degli autori che questa strategia possa convincere utenti, abitanti delle città ed investitori nella rigenerazione energetica e nel rinnovamento architettonico degli edifici esistenti. Il progetto di

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This contribution is part of the Pro-GET-onE project that received funding from the European Union program, Horizon 2020 Innovation action, GA No. 723747.

7. REFERENCES

- [1] Data available online: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings> (last access 10 July 2018).
- [2] E. Eliopoulou, E. Mantziou, Architectural Energy Retrofit (AER): An alternative building's deep energy retrofit strategy, *Energy and Buildings* 150 (2017) 239–252.
- [3] Hilliaho, K.; Mäkitalo, E.; Lahdensivu, J. Energy saving potential of glazed space: Sensitivity analysis. *Energy Build.* 2015, 99, 87–97. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.016> (last access 10 May 2019)
- [4] Fotopoulou, A.; Semprini, G.; Cattani, E.; Schihin, Y.; Weyer, J.; Gulli, R.; Ferrante, A. Deep Renovation in Existing Residential Buildings through Façade Additions. A Case Study in a Typical Residential Building of the 70's, 2008. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.056> (last access 10 July 2018).
- [5] <https://www.progetone.eu/project/> (last access 10 May 2019)
- [6] Inarcos, I segni della ricostruzione post terremoto maggio 2012: l'adeguamento sismico della palazzina uffici nello stabilimento Magneti Marelli di Crevalcore, Inarcos, Ingegneri Architetti Costruttori. marzo 2014, pp. 53–62. Available online: http://www.teleios-ing.it/UserFiles/File/FRANCESCHINI/Articolo-Inarcos738_Ricostruzione%20terremoto%202012_Franceschini-Semproli-Secci.pdf (last access 10 July 2018).
- [7] Material supply by Teleios S.r.l., via Salvatore Quasimodo, 44 40013 Castel Maggiore [BO]. Available online: www.teleios-ing.it (last access 10 July 2018).
- [8] Ferrante, Annarita; Mochi, Giovanni; Predari, Giorgia; Badini, Lorenzo; Fotopoulou, Anastasia; Gulli, Riccardo; Semprini, Giovanni, A European Project for Safer and Energy Efficient Buildings: Pro-GET-onE (Proactive Synergy of inteGrated Efficient Technologies on Buildings' Envelopes), «SUSTAINABILITY», 2018, 10, pp. 1 - 26 [article].
- [9] e Rural and Surveying Engineering Department of A.U.TH. Through External Steel Structure. Available online: <http://eeme.ntua.gr/proceedings/7th/130.pdf> (last access 10 July 2018).
- [10] Public workshop on innovative financing for energy efficiency and renewable 28/04/2015, Brussels, Executive Agency for SMEs.
- [11] U.S. Department of Energy. 2013. Energy Plus simulation software, Version 8.4.0.
- [12] EN 15251:2008: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [13] The European Union Per Regulation 305/2011, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC, EN 1998-1: 2004.
- [14] <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>
- [15] SHARE Project. Available online: <http://www.share-eu.org/> (last access 10 July 2018)

ricerca mira a garantire il corretto sfruttamento di una conoscenza di base per raggiungere l'obiettivo strategico europeo di mobilitazione degli investimenti sul rinnovamento energetico degli edifici esistenti, in virtù di una riduzione globale dei consumi.