

Historic additional storeys in the cultural heritage of Palermo: critical analysis for the purpose of structural and energy improvement

Enrico Genova*, Calogero Vinci

Highlights

Historic additional storeys are commonly affected by significant deficiencies, in comparison with the current requirements of structural safety and hygrothermal comfort. The lack of performances is particularly evident in the upper addition. These constructions influence substantially the seismic vulnerability and environmental quality of both historic buildings and their urban spaces. Therefore, by focusing on the additional storeys of the cultural heritage, the integration between structural reinforcement and the improvement of energy performance and indoor comfort can be explored.

Abstract

This paper analyses construction features and performances of additional storeys in historic buildings. The recurring characteristics of these historic accretions are investigated by focusing on the cultural heritage of Palermo, where the practice of extending buildings by raising new levels was widespread both in monumental and vernacular architecture, in public and private constructions. The performance deficiencies of additional storeys are examined in terms of structural safety, thermal comfort and building energy demand. On this basis, the utility of mapping these structures, their morphology and their location in the urban fabric is discussed.

Keywords

Historic architecture, Historical additional storey, Energy efficiency, Structural safety, Indoor environmental quality (IEQ)

1. INTRODUCTION

The historic development of Palermo is related to the practice of upraising additional storeys on existing buildings, in order to exploit the areas protected by the city walls. Private gardens and outdoor spaces, not rare in the Medieval town but already scarce in the XVII century, satisfied only partially the permanent demand of houses and the significant enlargements of monumental buildings. For centuries the urban development of the historic centre was characterised by union or subdivision of building units and by the gradual addition of storeys, which involved both minor and major architectures.

The convent of Saint Anne in Palermo is a significant example of this building

Enrico Genova

*Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di
Palermo, viale delle Scienze,
edificio 8, Palermo, 90128, Italia*

Calogero Vinci

*Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di
Palermo, viale delle Scienze,
edificio 8, Palermo, 90128, Italia*

* Corresponding author

Tel.: +39-3407940974;

e-mail:

enrico.genova@gmail.com

practice. The construction of this religious complex is based on the radical transformation of a rich residence, built by a Catalan merchant in the end of the XV century and bought by the Franciscan friars in the XVII century. Several changes impacted on the indoor space, through the reorganization of partitions and floors. Furthermore, a plan of significant enlargements was carried out to make the former residence functional to the requirements of a religious community. More in detail, a monumental cloister and dormitories for the friars were erected on the large private garden, and an articulate program of additions continued until the second half of the XVIII century [1]. Due to the duration of these building transformations, to the complexity of damages and structural reinforcements, and to the disadvantaged location on the bed of an ancient stream, Saint Anne's convent highlights the ambivalent behaviour of traditional constructions in Palermo: increasing knowledge of and persistent disregard for the structural problems related to the addition of new storeys.

Archival documents, which list the damages caused by the earthquakes occurred in 1726 and 1823, report that severe cracks and partial collapses affected the top part of several constructions [2]. In his description of the 1823-earthquake, Francesco Ferrara attributed the numerous collapses occurred in the city to the lack of bracing, the slenderness of walls and the decay of roofs. Moreover, he related the building vulnerability to construction defects on the one hand, to the decay of several fabrics on the other hand [3]. Since the town was periodically subject to seismic events, the use of tie rods and other anti-seismic reinforcements became more frequent. However, not rarely the repairs gave the opportunity to further upraise damaged constructions and numerous building transformations continued to neglect the good practice of masonry construction.

Technical awareness of the deficiencies of additional storeys emerged after the XVIII-century earthquakes and was enriched with a new point of view during the XIX century. Frequent epidemics, caused by the high population density in the urban centres and by the constant demographic growth, showed the negative effects of additional storeys on town hygienic conditions. Consequently, during the second half of the century, the planning of urban fabric and building volumes attached increasing importance to sunshine, lighting and ventilation of indoor and outdoor spaces [4].

In 1863, the New Building Regulation of Palermo limited the possibility to upraise existing constructions. In the case of new streets, the proportion between the width of the road and the height of building façades was reduced up to 1:1, because this ratio was considered ideal for assuring health conditions.

1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo edilizio storico di Palermo si lega alla secolare pratica di sopraelevare gli edifici esistenti per sfruttare al massimo le aree protette dalla cinta muraria. La richiesta sempre viva di unità immobiliari e i programmi di ampliamento delle architetture maggiori erano assorbiti solo in parte dall'edificazione dei giardini e spazi aperti privati che, ancora diffusi nella città medievale, già scarseggiavano alla fine del XVII secolo. Il centro urbano storico si è sviluppato soprattutto attraverso un complesso quadro di trasformazioni edilizie, nel quale rifusioni e frazionamenti, che spesso intrecciavano costruzioni antiche ed elencali, si accompagnavano a progressive sopraelevazioni dei corpi di fabbrica.

Caso esemplare è quello del convento di Sant'Anna la Misericordia, che i frati francescani costruirono trasformando una ricca dimora mercantile del tardo Quattrocento, acquisita nel XVII secolo. Oltre a subire una radicale mutazione degli spazi interni, in pianta e in alzato, affinché divenisse funzionale alle esigenze conventuali, la fabbrica fu oggetto di un vasto programma di ampliamenti, dall'edificazione del chiostro e dei dormitori nel viridario dell'antica dimora a un articolato sistema di sopraelevazioni, la cui costruzione si protrasse fino alla seconda metà del Settecento [1]. Per l'arco temporale di queste trasformazioni, per la complessità dei consolidamenti postsismici e per la posizione stessa dell'edificio, sorto sull'alveo ricolmato di uno degli antichi torrenti cittadini e quindi particolarmente soggetto agli effetti dei terremoti, questo complesso monumentale mette in luce un atteggiamento ambivalente nella costruzione dell'edilizia storica palermitana: la crescente consapevolezza e una persistente noncuranza dei problemi statici legati alle sopraelevazioni.

Le fonti archivistiche che elencano i danni dei terremoti del 1726 e del 1823 registrano, specialmente per l'edilizia civile minore, gravi lesioni e crolli parziali delle parti alte di molte costruzioni [2]. Francesco Ferrara, descrivendo gli effetti del sisma del 1823, attribuiva le cause dei numerosi crolli verificatisi in città all'assenza di controventi, alla snellezza delle pareti e al degrado delle coperture; inoltre, associava la vulnerabilità dei corpi di fabbrica da un lato a vizi di costruzione, dall'altro al degrado in cui molti edifici versavano [3]. Poiché la città era interessata periodicamente da terremoti, il ricorso a catene metalliche e altri presidi antisismici divenne più frequente. Non di rado, però, le stesse opere di ricostruzione furono l'occasione per innalzare ulteriormente i corpi di fabbrica danneggiati e molte trasformazioni edilizie continuarono a disattendere in modo sistematico la buona regola della costruzione muraria.

La consapevolezza "tecnica" delle criticità delle sopraelevazioni, che comincia a maturare dopo i sismi settecenteschi, nel XIX secolo si arricchisce di un nuovo punto di vista. Le frequenti epidemie, dovute all'elevata densità abitativa dei

In the case of existing streets more than 30 *palmi* (around 8 m) wide, the Regulation stated 60 *palmi* (around 15,5 m) and 1:2 as the maximum height and width/height ratio. If the existing street was less wide than 30 *palmi*, the façades should not exceed 45 *palmi* (around 11,5 m). Nonetheless, the practice of additional storeys still persisted in the first half of XX century in public and private buildings, in the historic centre and in the more recent districts.

Frequently, the construction features of additional storeys are precarious and the hygienic conditions are poor. This mix of deficiencies affects the structural safety and the environmental quality of both buildings and urban space. In the recent past, even systematic demolitions have been proposed for the upper storeys in historic districts. However, they are interesting expression of traditional construction techniques and contribute to the urban landscape of historic towns.

Through historical additional storeys, relevant scientific topics may be investigated in the field of cultural heritage conservation, notably the integration among structural safety, environmental quality and building energy efficiency. From this point of view, the historic architecture of Palermo is significant as a case study, since additional storeys are diffuse and show numerous technical solutions and deficiencies.

2. CONSTRUCTION FEATURES OF ADDITIONAL STOREYS IN THE AREA OF PALERMO

Rich literature describes materials and techniques [5], masonry typologies [6] and structural deficiencies [2] recurring in the historic architecture of Palermo. This framework shows variegated construction solutions for additional storeys too, because of the persistence and diffusion of this building practice both in major and minor architecture.

In the upraising of a new storey, the reduction of the related load was the most relevant problem. Therefore, additional fabrics were characterised by limited cross-section and lightweight materials.

The remarkable wall thickness which characterises lower storeys (not rarely, intentionally oversized) allowed large additions (fig. 1). Furthermore, masonry crushing is infrequent, due to the mechanical properties of materials (generally calcarenite stone) and the construction features of the structure [2]. Nevertheless, in several buildings, excessive reduction of wall thickness can be observed still in the intermediate storeys [3].

Especially in minor architecture, the top-floor walls are made up of slender calcarenite blocks laid on edge and their thickness commonly ranges from 20 to 25 cm [5, 6]. This excessive slenderness limits also the effectiveness of

centri urbani e al costante incremento demografico, evidenziarono l'influenza negativa delle sopraelevazioni sulle condizioni igieniche cittadine. Nella seconda metà del secolo, dunque, la progettazione del tessuto urbano e dei volumi edilizi attribui grande rilievo al soleggiamento, all'illuminazione e alla ventilazione di spazi aperti e unità immobiliari [4].

Nel 1863 il Nuovo Regolamento Edilizio della Città di Palermo limitò la possibilità di sopraelevare gli edifici esistenti. Per i nuovi tracciati viari, la proporzione tra larghezza stradale e altezza delle fronti edilizie fu ridotta anche fino a un rapporto di uno a uno, che, assecondando gli studi degli igienisti, era ritenuto ideale per assicurare condizioni di salubrità. Per strade esistenti larghe più di 30 palmi (circa 8 m), il Regolamento impose che gli edifici non superassero 60 palmi di altezza (circa 15,5 m), con un rapporto massimo di uno a due. Per vie esistenti larghe meno di 30 palmi, invece, le fronti non potevano eccedere i 45 palmi di altezza (circa 11,5 m). Ciononostante, la pratica della sopraelevazione persisteva ancora nella prima metà del Novecento, negli edifici pubblici come in quelli privati, nel centro storico come nei quartieri dell'espansione ottocentesca.

Le criticità delle sopraelevazioni storicizzate, che combinano soluzioni costruttive spesso precarie e condizioni igienico-ambientali ordinariamente scarse, si riverberano sulla sicurezza strutturale e sulla qualità ambientale degli edifici e dello spazio urbano. Non a caso, in passato, per le ultime elevazioni delle costruzioni storiche sono state proposte anche estese demolizioni. Tuttavia, questi manufatti edilizi sono testimonianze interessanti delle tecniche costruttive tradizionali e contribuiscono a definire il paesaggio urbano delle città storiche.

Le sopraelevazioni storicizzate, specialmente i piani sommitali degli edifici, sono quindi un interessante campo d'indagine per alcune questioni centrali nella ricerca scientifica sulla conservazione dell'architettura storica, in particolare per l'integrazione fra sicurezza strutturale, benessere ambientale ed efficienza energetica. Significativo è in quest'ottica il patrimonio storico di Palermo, che attraverso numerose sopraelevazioni storicizzate mostra un interessante repertorio di soluzioni tecnologiche e un ampio ventaglio di criticità.

2. PRATICHE COSTRUTTIVE DELLE SOPRAELEVAZIONI IN AREA PALERMITANA

Una ricca letteratura descrive le soluzioni materico-costruttive [5], le tipologie murarie [6] e i problemi di sicurezza strutturale [2] ricorrenti nell'architettura storica di Palermo. Da questo quadro generale emerge, anche per le sopraelevazioni, un variegato repertorio di soluzioni costruttive, certamente ascrivibile alla persistenza e alla diffusione di questa pratica sia nell'architettura antica sia in quella elencale.

Il principale problema posto da tali manufatti, cioè la limitazione dei carichi trasmessi alle strutture sottostanti, era risolto contenendo le sezioni murarie e impiegando

transverse walls as bracing for the façade. Consequently, the building front is particularly vulnerable to tipping over, also because of the daring ratio between the thickness of the wall at the bottom and its overall height (up to 1:30÷1:35).

On the top floor, slender and very lightweight structures were commonly built by means of timber frames, filled with thin calcarenite blocks or just cladded with reed matting in case of internal partitions [5, 6]. This construction technique solved the frequent misalignment between top and underlying wall, when the additional storey was placed behind the building front in order to obtain a little terrace, but it cannot rest on a wall at the back of the façade (fig. 2) [5].

materiali leggeri. Il notevole spessore delle strutture murarie dei piani bassi, non di rado oculatamente inspessite, rendeva possibili estese sopraelevazioni (fig. 1). I fenomeni di schiacciamento sono sporadici, grazie alle discrete proprietà meccaniche dei materiali adoperati (essenzialmente calcareniti conchiliari) e alle caratteristiche costruttive delle murature [2]. Tuttavia non è raro osservare, già negli attuali piani intermedi, riseghe ben superiori a quelle suggerite dalla regola dell'arte [2]. Soprattutto negli edifici minori, all'ultima elevazione lo spessore delle murature, realizzate con conci di calcarenite disposti in spessore o in coltello, è compreso frequentemente tra 20 e 25 cm [5, 6]. Sempre per l'eccessivo assottigliamento, le murature trasversali svolgono con scarsa efficacia la funzione di controventi per le pareti di facciata.



Figure 1. Historic additional storeys in piazza San Domenico, Palermo. In the building on the left, the accretions follow the façade. Conversely, the additional storey at top of the construction on the right is located behind the building front. In both cases, the gradual reduction in wall thickness is visible from outside, although this solution is not frequent in the cultural heritage of Palermo.

Lightening the structure could be not sufficient for preventing the underlying masonry from collapsing. Besides being generally precarious, the construction features of additional storeys contributed to the heterogeneity of the building fabric. Problems of structural compatibility are clearly expressed by Carlo Dolce in his *Reflections upon the earthquake occurred in Palermo on 5 March 1823*. As member of the civil engineering office, he observed that the old structures had tended to expel the additions, especially overlapped volumes and projecting elements, which drove the external front to tip over [7].

Upraising an additional storey frequently required substantial works on the existing structure, in order to overcome both original construction defects and alterations caused by complicated transformations. From this perspective, it is interesting to mention masonry made up of *pietra e tajo*, consisting of irregular stones bounded with earth-based mortar (sometimes added with ash). It has been ascertained that this technique was used in the XV century and common in monumental buildings until the XVII century, but later it was limited essentially to minor architecture.

During the XVIII and XIX centuries, the structural deficiencies of this structural typology were known to the technicians, who described the buildings using *pietra e tajo* as contorted and deformed. Frequently, in order to build a new storey on these constructions, a complementary structure of pillars and arches was added, whose mechanical behaviour was rather different from the walls they were included in.

Queste ultime, anche a causa di proporzioni ardite fra spessore al piede e altezza complessiva (fino a 1:30÷1:35), sono molto vulnerabili ai fenomeni di ribaltamento.

Alle ultime elevazioni, strutture sottili e molto leggere si realizzavano con intelaiature lignee, tamponate con conci sottili di calcarenite o, nel caso di tramezzi interni, con sole stuoie di canne intonacate [5, 6]. Questa scelta costruttiva risolveva il frequente disallineamento delle murature rispetto ai piani sottostanti. Infatti le ultime elevazioni di molti edifici palermitani, soprattutto minori, sono arretrate rispetto al piano di facciata per ricavare un terrazzo, ma per esigenze di spazio non si attestano su murature retrostanti (fig. 2) [5].

L'alleggerimento della struttura, tuttavia, non sempre era sufficiente a scongiurare il dissesto delle murature sottostanti. Infatti le soluzioni adottate, oltre a essere generalmente precarie, contribuivano a rendere eterogenea la costruzione. I problemi di compatibilità strutturale fra le parti sovrapposte della fabbrica emergono chiaramente dalle Riflessioni sul terremoto avvenuto in Palermo il giorno 5 marzo 1823 di Carlo Dolce. Ingegnere del Genio civile, egli osservava come le antiche strutture tendessero a espellere le parti aggiunte, in particolar modo i corpi posti in sopraelevazione e gli elementi aggettanti, che contribuivano al ribaltamento delle fronti esterne [7].

Non di rado la sopraelevazione richiedeva anche estesi interventi sulle strutture preesistenti, per risolvere non solo le manomissioni prodotte da trasformazioni complesse e disordinate, ma anche difetti costruttivi originari. Caso significativo è quello delle murature realizzate in pietra e tajo, cioè legando bozze lapidee e pietre informi con

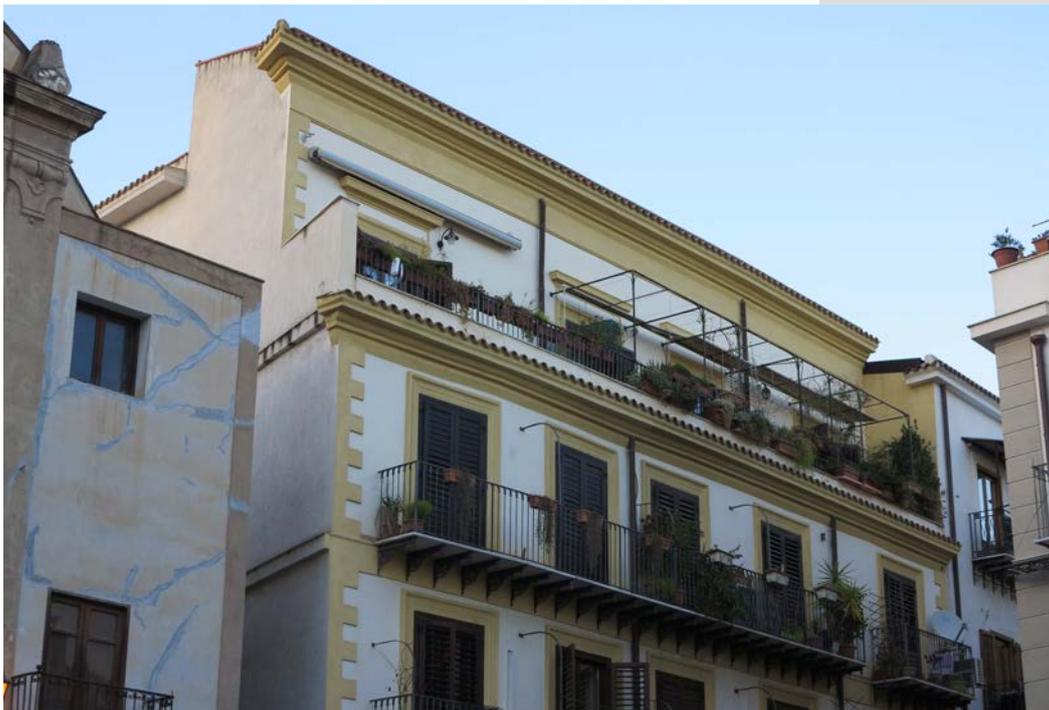


Figure 2. Building in piazza Beati Paoli. The additional storey was erected behind the building façade.

If the existing construction was considered reliable in terms of structural safety, increasing the wall thickness was preferred. For this purpose, a masonry layer was built besides the wall and an appropriate number of cross blocks was used to guarantee that the added layer was integral with the existing structure (fig. 3).

Structurally precarious and vulnerable to seismic action, the top storey of the historic building is the portion most exposed to rain and solar radiation, especially if it emerges from the surrounding constructions. In Palermo, enamelled tiles, roof tiles or slabs were used as wall covering in order to *facilitate the flow of external water* [4]. Since they generally derived from dismantled floor coverings, the enamelled tiles were applied to the wall following frames and geometric motifs.

In the additional storeys, this covering was applied to external walls without openings and sometimes to the main front, especially if this was behind the surface of the building façade. The covering was mainly used on walls oriented to North or North-West, which is the prevalent direction of rain in Palermo. Enamelled tiles were applied also to the surfaces particularly exposed to water action because of roof geometry and rainwater disposal solutions. Close to the sea, this protection limited the damages related to the wind-driven salts, which kept the wall damp because of their hygroscopic properties. Furthermore, the smooth and waterproof surface of enamelled tiles impeded the proliferation of

una terra grassa rossa, talvolta con l'aggiunta di cenere. Questa tecnica, attestata già nel XV secolo e impiegata diffusamente negli edifici monumentali fino al Seicento, nel XVIII secolo era adoperata essenzialmente nell'architettura minore. Le carenze strutturali di questa tipologia muraria erano note ai tecnici dei secoli XVIII e XIX, che descrivevano come tortuosi e deformi gli edifici parzialmente o totalmente realizzati in pietra e tajo. Frequentemente, per sopraelevarli si realizzava una struttura complementare di pilastri e archi, con caratteristiche meccaniche piuttosto diverse da quelle dei setti in cui veniva incassata. Quando la qualità costruttiva delle strutture esistenti lo consentiva, si preferiva incrementare la sezione resistente delle porzioni murarie sulle quali impostare la nuova elevazione, attraverso la giustapposizione di fodere in muratura. Perché l'intervento fosse efficace, un congruo numero di conci di collegamento doveva rendere solidali e collaboranti i due strati (fig. 3).

Vulnerabili alle azioni sismiche e strutturalmente precarie, le ultime elevazioni, soprattutto quando emergono rispetto alle costruzioni limitrofe, sono anche le porzioni dell'edificio più esposte all'irraggiamento solare e alle intemperie. Per il facile scorrimento delle acque esterne, a Palermo era attestato il ricorso a un rivestimento di mattoni bene smaltati oppure di tegole o lastre che si pongono in opera come nei tetti [4]. Poiché spesso provenivano dalla dismissione di diversi pavimenti, i mattoni smaltati venivano combinati in riquadri e motivi geometrici. Il rivestimento era realizzato



Figure 3. Additional calcarenite (left) and brick (right) masonry, intended to increase the wall thickness. On the right, connection blocks are visible.

microorganisms. Lastly, this covering reduced the risk of summer overheating if realized on surfaces exposed to solar radiation (fig. 4), but it is not ascertained that the historical technicians were conscious of this benefit.

3. PERFORMANCE DEFICIENCIES OF ADDITIONAL STOREYS

Because of their construction and morphological features, the additional storeys of historic buildings adversely affect the structural safety, environmental quality and energy consumption of the built environment. These deficiencies, mostly known to the XIX-century technicians, are evident in the current framework of requirements and performances for the building sector. Besides the interest in using these spaces as parts of building units or as independent units, conservation needs must be respected. On the one side, historical additional storeys contribute to the urban landscape of historic towns. On the other hand, they are examples of traditional building techniques and, therefore, expression of material culture. Consequently, the solution or the reduction of these deficiencies should be based on the concept of performance improvement [8, 9].

In the additional storeys, the material and construction characteristics of the envelope show the ambivalence of deficiencies, both structural and hygrothermal, and the possibilities to integrate the respective upgrade

sulle fronti cieche dei corpi sopraelevati e talvolta su quelle principali, soprattutto se arretrate rispetto alla facciata dell'edificio. Quest'accorgimento interessava soprattutto i prospetti esposti a nord o a nord-ovest, direzione predominante delle piogge a Palermo, ma anche le pareti che, per la configurazione delle coperture e del sistema di smaltimento, erano maggiormente esposte all'azione delle acque meteoriche. In prossimità del mare, questa protezione limitava anche i danni dei sali che, depositati dal vento sulle superfici edilizie, per igroscopicità mantenevano umide le pareti. Inoltre, la superficie liscia e impermeabile dei mattoni smaltati impediva l'attaccamento e la proliferazione di microrganismi. Infine, se realizzato su pareti esposte all'irraggiamento solare, per le sue caratteristiche superficiali di riflessione il rivestimento mitigava i problemi estivi di surriscaldamento degli ambienti interni (fig. 4), sebbene non sia accertato che tecnici e costruttori fossero consapevoli di questo beneficio.

3. CRITICITÀ DELLE SOPRAELEVAZIONI RISPETTO AL QUADRO ATTUALE DI ESIGENZE E PRESTAZIONI DELL'EDIFICIO

Le sopraelevazioni alla sommità degli edifici storici, per i caratteri costruttivi e morfologici che ordinariamente le connotano, incidono in modo negativo sulla sicurezza strutturale, sulla qualità ambientale e sui consumi energetici dell'ambiente costruito. Queste criticità, già note in buona parte ai tecnici ottocenteschi, appaiono ancora più evidenti nello stringente quadro



Figure 4. Building in discesa dei Giudici. The additional storey at top of the construction is located behind the building façade. The transverse wall, oriented to the West, is covered by enamelled tiles.

measures. However, they also influence the effectiveness of intervention.

Masonry slenderness reduces the practicability of reinforcement bands at roof level. For the same reason, the wall shear resistance may not be sufficient for the use of tie rods, while the cross walls may not be able to bear the load transferred by the chains. Furthermore, increasing the masonry thickness is frequently unfeasible because the structure is not supported by an underlying wall.

Due to the little cross section, the thermal lag and attenuation related to the envelope walls is limited in additional storeys. Indeed, thermal inertia is a distinctive feature of massive historic buildings and is strictly related to the significant thickness, which is peculiar to traditional structures. The surface mass of a stone wall 25 cm thick is $379 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, if it is made of calcarenite blocks (21 cm, $\rho = 1,500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\lambda = 0.63 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, “tufo” from UNI 10351:2015) and plastered on both sides (external plaster 2 cm thick, $\rho = 1,800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\lambda = 0.90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; internal plaster 2 cm thick, $\rho = 1,400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\lambda = 0.70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; respectively “malta di calce o di calce e cemento” and “intonaco di calce e gesso” from UNI 10351). Nonetheless, the thermal transmittance of this component, $U = 1.81 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, is far from the limit $U_{\text{limit}} = 0.45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, which the national regulation (d.m. 26/06/2015) states for the opaque vertical envelope in the climatic zone B. Furthermore, as far as periodical thermal transmittance is considered, the value $Y = 0.58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ characterises the analysed wall.

Despite the limits to application, realizing a top band shows that the structural reinforcement may also result in increased energy efficiency. According to the national legislation on constructions, raising the existing roof eaves is allowed in order to carry out this upgrade measure. The consequent modification of roof geometry may improve the envelope thermal performances. Since the limited height of the attic could impede the installation of a false ceiling, it is frequent that just the timber roof guarantees protection from the outdoor environment. According to a very common construction solution for traditional roofs in Palermo, a continuous layer of chestnut joists is mounted on the beams and supports the brick tiles, directly or by means of a screed [5]. This stratigraphy is affected by high thermal transmittance ($1.9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ without screed) and low thermal lag and attenuation. Raising the roof elevation facilitates including a false ceiling or applying an insulation layer, especially in small attics, where these upgrade measures would reduce unacceptably the height of the ceiling.

The hygrothermal deficiencies of additional storeys affect the indoor environmental quality of the entire building, such as their construction

attuale di esigenze e prestazioni per le opere di costruzione. Accanto all'interesse per lo sfruttamento di questi spazi in aggregazione ad altre unità immobiliari o in autonomia, le sopraelevazioni storizzate pongono esigenze di conservazione. Da un lato, infatti, sono parte integrante del paesaggio consolidato della città storica; dall'altro, sono testimonianza di tecniche costruttive tradizionali e quindi espressione di cultura materiale. Dunque, gli interventi volti a mitigare o eliminare le molte carenze di questi corpi edilizi devono essere improntati al concetto di miglioramento [8, 9].

Le caratteristiche materiche e costruttive dei componenti d'involucro delle sopraelevazioni evidenziano il carattere ambivalente, sia statico sia energetico, di tali criticità e le possibilità d'integrare le rispettive misure di miglioramento, ma influenzano anche la praticabilità e l'efficacia degli interventi.

L'esiguo spessore delle murature limita le possibilità d'inserire cordoli sommitali in muratura armata. Per la stessa ragione, la struttura d'ambito spesso non offre resistenza a taglio sufficiente all'inserimento di catene metalliche, né le pareti trasversali, anch'esse di sezione ridotta, riescono ad assorbire l'azione trasversale trasmessa dalle catene. Inoltre, un ispessimento delle murature è inapplicabile nei frequenti casi di disposizione in falso rispetto alle strutture sottostanti.

Sezioni trasversali ridotte comportano anche la scarsa predisposizione delle murature ad attenuare e sfasare gli scambi di calore con l'ambiente esterno. Infatti l'inerzia termica, che spesso si ritiene prerogativa delle architetture storiche, è strettamente legata alle consistenti sezioni trasversali che caratterizzano le strutture tradizionali. Per una parete spessa 25 cm, realizzata in calcarenite (21 cm, $\rho = 1.500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\lambda = 0.63 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, “tufo” da UNI 10351:2015) e intonacata su entrambi i paramenti (all'esterno 2 cm di “malta di calce o di calce e cemento”, $\rho = 1.800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\lambda = 0.90 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; all'interno 2 cm di “intonaco di calce e gesso”, $\rho = 1.400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\lambda = 0.70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, da UNI 10351), la massa superficiale è pari a $379 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Tuttavia, la trasmittanza termica corrisponde a $1,81 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, ben lontana dal limite di $0,45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ che il decreto ministeriale del 26 giugno 2015 ha stabilito per le strutture opache verticali degli edifici esistenti in zona climatica B. La muratura considerata, inoltre, assicura una trasmittanza termica periodica di $0,58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Nonostante i limiti di applicabilità, la costruzione di un cordolo sommitale mostra come il consolidamento strutturale possa tradursi anche in una maggior efficienza energetica per l'edificio. Per realizzare quest'intervento, le norme tecniche per le costruzioni consentono d'innalzare la quota di gronda delle coperture. Questa modifica geometrica può migliorare le prestazioni termiche dell'involucro. Infatti l'altezza limitata degli spazi sotto tetto non consentiva sempre l'inserimento di un controsoffitto. In molti casi, dunque, la protezione dall'esterno è garantita dalla sola copertura lignea, nella quale il sistema di chiusura delle

precariousness affects the overall vulnerability of the structure. Thermal dynamic simulations, carried out on two historic buildings in Palermo [10], point out the significant role, which the top levels of vernacular buildings play in determining their energy performance. More in detail, in a four storey building classified as “catoio semplice” (P.P.E. del Centro Storico, 1993), the energy demand of the top floor (consisting of a room, which is part of a single residential unit) represents 49% of the overall heating demand and 62% of the cooling demand. Similarly, in a four storey “catoio multiplo” (P.P.E. del Centro Storico, 1993), where a fifth level emerges behind the façade, 70% and 74% of the energy demand for heating and cooling is related to the two upper floors, which represent a residential unit. Consequently, the hygrothermal improvement of the envelope in additional storeys may enhance substantially the energy efficiency of historic buildings.

4. CRITICAL REPERTOIRE FOR THE PERFORMANCE IMPROVEMENT OF ADDITIONAL STOREYS

The construction features of historic additional storeys can be analysed through the scientific literature focusing on materials and techniques typical of local heritage. However, the structural safety and environmental quality of historic buildings and towns are also influenced by the morphology of additional storeys and their aggregation to adjacent constructions. Furthermore, upraising new levels was a common practice even in public buildings, although only sometimes the structural and architectural result was positive. Therefore, it is appropriate that the additional storeys at top of historic buildings should be mapped. This would support analysing the distribution of these volumes in the urban fabric, examining their location relative to roads and outdoor spaces, proposing typologies based on building morphology and aggregation.

In the case study of Palermo, the additional storeys at top of buildings can be identified by means of the current urban plan P.P.E. (1993), which regulates the building activities in the historic centre. The Plan focuses on the historic town and its building typologies through a cadastral map dating back to 1877 and previous representations. On this basis, the Plan distinguishes between historic additions and inappropriate accretions, although this distinction is not supported by a case-by case analysis, which should focus on size, age, construction and aesthetic features of the building top level. The Plan classifies the additions built after 1877 as inappropriate accretions and states their demolition. Volumes built prior to that date are considered historic and the same type of intervention as the building they are part of is allowed. Apart

travi, fatto da travicelli di castagno e più raramente da un tavolato in legno d'abete, è rivestito dal manto di tegole direttamente, o con l'interposizione di un massetto [5]. Questa stratigrafia è caratterizzata da un'elevata trasmittanza termica (in assenza di massetto, può assumersi un valore di $1,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) e da bassi valori di sfasamento e attenuazione dell'onda termica. L'innalzamento della quota di copertura facilita interventi quali l'inserimento di un controsoffitto o l'applicazione di un rivestimento isolante, soprattutto nei casi in cui le dimensioni limitate dello spazio ridurrebbero altrimenti in modo eccessivo l'altezza netta interna. Le carenze termiche e igrometriche delle sopraelevazioni incidono sulla qualità ambientale interna dell'intero edificio, così come la precarietà costruttiva sulla vulnerabilità della struttura nel suo complesso. Alcune simulazioni termiche in regime dinamico, condotte su due costruzioni storiche palermitane [10], mostrano il ruolo significativo degli ultimi piani delle costruzioni elencati nel determinare le prestazioni energetiche dell'edificio. In particolare, in un "catoio semplice" (P.P.E. del Centro Storico, 1993) a quattro elevazioni, le simulazioni svolte hanno evidenziato che il fabbisogno energetico dell'ultimo piano (nell'ipotesi che l'unità immobiliare sia unica) incide su quello complessivo per il 49% nel periodo di riscaldamento e per il 62% in quello di raffrescamento. Analogamente, in un "catoio multiplo" (P.P.E. del Centro Storico, 1993) costituito da quattro piani e da un quinto livello arretrato rispetto alla facciata, il fabbisogno energetico delle ultime due elevazioni, che insieme costituiscono un'unità immobiliare, è pari rispettivamente al 70% e al 74% del totale. Di conseguenza, migliorando le prestazioni termiche e igrometriche dell'involucro edilizio delle sopraelevazioni si può accrescere sensibilmente anche l'efficienza energetica dell'edificio storico.

4. UN REPERTORIO CRITICO PER IL MIGLIORAMENTO PRESTAZIONALE DELLE SOPRAELEVAZIONI

I caratteri costruttivi delle sopraelevazioni, escludendo alcune soluzioni originali o inconsuete, possono essere indagati attraverso la letteratura che approfondisce materiali e tecniche del patrimonio storico locale. Tuttavia, anche la morfologia di questi corpi di fabbrica e la relazione con le costruzioni circostanti incidono sulla sicurezza strutturale e sulla qualità ambientale dell'edificio e dello spazio urbano. Considerando peraltro che tale pratica era diffusa anche negli edifici pubblici e non sempre si traduceva in risultati architettonicamente validi, emerge l'opportunità di una mappatura diffusa delle sopraelevazioni nel tessuto delle città storiche. In tal modo è possibile analizzare la distribuzione di questi manufatti nel tessuto cittadino, esaminarne la disposizione rispetto alla viabilità e agli spazi aperti, proporre una descrizione tipologica in termini di morfologia e aggregazione edilizia. Nel caso palermitano,

from this distinction, P.P.E. does not provide systematic rules or suggestions for the performance improvement of historic additional storeys.

The available maps do not allow to carry out a homogeneous analysis of additional storeys all over the town territory. Outside the ancient city walls, a map on a scale of 1:2000 provides the elevation for a limited number of buildings. Conversely, for the historic centre, a map on a scale of 1:500 (1982) accurately describes geometry and elevation of the roofs. Moreover, by means of this map, the inappropriate accretions identified by P.P.E. can be located, while the several building transformations occurred in the last decades can be detected by comparison with recent aerial or satellite photographs.

Together with the building height, the location of the additional storey (with respect to the underlying structure and the adjacent constructions) has remarkable influence on the seismic vulnerability of both the building and the surrounding outdoor spaces. From this point of view, the distinction between additional structures above and behind the underlying façade does not allow a thorough typological description. In general, the morphology of constructions on the top of pre-existing structures varies greatly with the building geometry and size, its aggregation in the urban fabric, and the organization of building units.

The building top addition may coincide with the floor area of the level below or just with a part of it. In the latter case, the addition may be erected on a building corner, or along its main façade, or close to private or shared courtyards. These differences impact on the structural cooperation with adjacent constructions, and consequently their analysis make the seismic vulnerability assessment of outdoor spaces more accurate. From this point of view, inner courtyards are a significant example, since generally they are considered safety for occupant evacuation, especially in public buildings. Nonetheless, daring and precarious additions were often concentrated close to these spaces, because visibility from public roads was limited.

5. CONCLUSIONS

Historic additional storeys, especially at top of buildings, involve remarkable structural, energy and comfort deficiencies for the architectural heritage and its urban spaces. In Palermo as in several local contexts, these additions are often precarious and contradict the good practices of traditional construction. On the one hand, it is necessary to preserve the material and aesthetic features of these accretions. On the other hand, substantial upgrade measures are essential to meet the current needs for safety and operational efficiency.

l'individuazione dei corpi aggiunti alla sommità degli edifici può fondarsi sugli strumenti urbanistici vigenti. Il Piano Particolareggiato Esecutivo (1993) che norma le attività edilizie nel centro storico individua la città antica e i suoi tipi edilizi attraverso un rilievo catastale del 1877 e precedenti rappresentazioni cartografiche. Su questa base il Piano distingue le sopraelevazioni storizzate dalle superfetazioni, senza un esame puntuale ("caso per caso") della consistenza, del periodo di realizzazione e delle caratteristiche costruttive e formali del manufatto. Il P.P.E. classifica come superfetazioni gli ampliamenti e le sopraelevazioni successivi al 1877 e pertanto ne prescrive la demolizione senza ricostruzione; invece considera storizzate le sopraelevazioni allora esistenti, e per queste ammette le stesse modalità d'intervento previste per l'edificio di cui il corpo aggiunto è parte. Questa distinzione, tuttavia, non si accompagna a un quadro organico di disposizioni per migliorare le prestazioni dei piani sommitali degli edifici.

La cartografia disponibile per il territorio di Palermo non permette di analizzare in modo omogeneo morfologia e volumetria dei corpi di fabbrica sommitali. Per la città esterna al perimetro storico delle mura, una rappresentazione in scala 1:2000 specifica le quote altimetriche per un numero esiguo di edifici. Per il centro storico, invece, una carta tecnica in scala 1:500 (1982) fornisce una descrizione geometrica dettagliata delle coperture e le relative quote altimetriche. La carta consente anche d'individuare le superfetazioni che il P.P.E. prevede di demolire, mentre delle modifiche prodotte dai numerosi interventi edilizi degli ultimi decenni si può tener conto attraverso il confronto con aerofotogrammi e immagini satellitari recenti.

Assieme all'altezza da terra, la posizione della sopraelevazione rispetto alla fabbrica sottostante e alle costruzioni adiacenti influenza sensibilmente la vulnerabilità sismica dell'edificio e degli spazi aperti circostanti. Da questo punto di vista, distinguere le sopraelevazioni in continuità con la facciata da quelle arretrate (in falso o su muratura retrostante) non consente una descrizione tipologica esaustiva. In genere la morfologia di questi manufatti varia notevolmente con i caratteri dell'edificio, quali geometria e consistenza, aggregazione nel tessuto urbano, distribuzione delle unità immobiliari.

L'ultimo piano della costruzione può corrispondere all'intera area del livello sottostante o innalzarsi solo su una parte di questo. Nel secondo caso, la sopraelevazione può concentrarsi in una zona d'angolo, svilupparsi lungo la facciata su strada, insistere su cortili esclusivi o condivisi con le costruzioni adiacenti.

Queste soluzioni determinano l'aggregazione e dunque l'eventuale collaborazione strutturale fra le sopraelevazioni di uno stesso isolato; di conseguenza, analizzandole è possibile valutare in modo più accurato la sicurezza degli spazi aperti in caso di sisma. I cortili interni, per esempio, sono identificati spesso come luoghi sicuri di

Structural improvement gives the opportunity to enhance the indoor environmental quality and reduce the energy consumption of historic buildings, through techniques well-established in the conservation of architectural heritage. The state of severe decay affecting numerous additional storeys, due to construction defects, inappropriate transformations and long-lasting abandon, facilitates the integration of these upgrade measures. From this perspective, size and location of additional storeys at top of historic buildings in the historic urban fabric should be detected. Besides construction deficiencies, the morphology and aggregation of these structures contribute to the structural safety and environmental quality of the historic built environment.

6. REFERENCES

- [1] Campisi, T.; Li Castri, M.. Da “domus magna” a convento: il complesso di Sant’Anna la Misericordia a Palermo. Storia, architettura, restauro. In: Manierismo siciliano. Antonio Ferraro da Giuliana e l’età di Filippo II di Spagna. Palermo: Ila Palma, 2009, p. 129-144.
- [2] Giuffrè, A.; Carocci, C., *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*. Bari: Editori Laterza, 1999.
- [3] Ferrara, F., *Memoria sopra i tremuoti della Sicilia in marzo 1823*. Palermo: Lorenzo Dato, 1823.
- [4] Vinci, C., *La costruzione sana. Criteri di sostenibilità tra tradizione e innovazione*. Palermo: Fotograf Edizioni, 2013.
- [5] Giovanetti, F. (a cura di), *Manuale del recupero del centro storico di Palermo*. Palermo: Flaccovio Editore, 1997.
- [6] Campisi, T.; Mutolo, S., *Palermo pietra su pietra. Apparecchi murari dell’edilizia settecentesca*. Palermo: Ila Palma, 2003.
- [7] Dolce, C., *Sul tremuoto avvenuto in Palermo il giorno 5 marzo 1823*. Riflessioni di ***. Palermo: Tipografia del fu Francesco Abbate, 1823.
- [8] Ministero per i Beni e le Attività Culturali. *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme tecniche per le costruzioni* (d.m. 14 gennaio 2008). Roma: 2010.
- [9] Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo. *Linee di indirizzo per il miglioramento dell’efficienza energetica nel patrimonio culturale*. Roma: 2015.
- [10] Genova, E., *Edifici storici ed efficienza energetica: Palermo come scenario di sperimentazione*. Palermo: 40due Edizioni, 2017.

sfollamento, specialmente negli edifici a destinazione pubblica. Tuttavia, proprio in questi spazi, poco visibili dalla strada, si concentravano gli ampliamenti più ingegnosi e precari.

5. CONCLUSIONI

Le sopraelevazioni storizzate determinano criticità strutturali, energetiche e ambientali non trascurabili per gli edifici e lo spazio urbano storici. Nel contesto palermitano come in altri ambiti locali, questi manufatti si contraddistinguono per soluzioni costruttive spesso precarie e distanti dalla regola dell’arte. Se da un lato persiste la necessità di conservare i caratteri formali e materiali delle sopraelevazioni, dall’altro occorrono interventi consistenti per conseguire prestazioni idonee alle esigenze contemporanee.

Il miglioramento strutturale, attraverso pratiche ormai consolidate nel recupero e nella conservazione dell’architettura storica, diviene una valida opportunità per accrescere la qualità ambientale interna e ridurre i consumi energetici del patrimonio culturale. Quest’integrazione è favorita dalle condizioni di degrado in cui molte sopraelevazioni versano, per difetti costruttivi, manomissioni o abbandono. In quest’ottica è opportuno rilevare anche la distribuzione e la consistenza delle sopraelevazioni nel tessuto urbano storico, poiché anche i caratteri morfologici e aggregativi, accanto alle criticità costruttive, determinano il contributo di questi manufatti alla sicurezza e alla qualità dell’ambiente costruito storico.