

Metodi innovativi per la riqualificazione sostenibile del patrimonio edilizio esistente. Un percorso trasversale dall'housing sociale al costruito tutelato

Pietromaria Davoli, Vittorino Belpoliti, Paola Boarin, Marta Calzolari,
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara

pietromaria.davoli@unife.it
vittorino.belpoliti@unife.it
paola.boarin@unife.it
marta.calzolari@unife.it

Abstract. Tre ricerche correlate cercano di dare risposte operative al problema delle procedure e degli strumenti per la corretta diagnosi e l'indirizzamento degli interventi di *retrofit* sul patrimonio edilizio esistente. Da una prima indagine sulla riqualificazione energetica del *social housing* si sono infatti affinate le metodiche speditive per l'*audit* e per l'individuazione dei possibili scenari di intervento, al fine di favorire la trasformazione energeticamente virtuosa di interi aggregati urbani più antichi, comprese, al loro interno, le singole emergenze storico-testimoniali necessariamente oggetto di diagnosi più puntuali, con la prospettiva futura della valutazione e promozione più ampia delle valenze di sostenibilità ambientale.

Parole chiave: Patrimonio edilizio esistente, Edilizia sociale, Edifici storici, Diagnosi energetica, Riqualificazione energetico-ambientale

Introduzione

L'esigenza di strumenti per un'efficace *audit* energetico, al fine di consentire una programmazione delle politiche a lungo termine da parte dei singoli Stati membri per l'adeguamento energetico-ambientale dell'ambiente costruito, è accelerata dal recepimento e dall'attuazione a livello italiano (D.Lgs. del 4 luglio 2014) della direttiva europea 2012/27/UE.

L'urgenza di disporre di una fotografia dello stato di fatto energetico dell'imponente parco edilizio esistente da recuperare, ri-funzionalizzare e valorizzare, ha da tempo stimolato una serie di studi tra loro correlati e consequenziali, qui brevemente documentati, a partire dall'analisi dei grandi *cluster* urbani di edilizia sociale della Regione Emilia Romagna. Lo strumento speditivo di valutazione (diagnosi e *retrofit*), messo a punto in questa prima ricerca, è stato poi validato, in un secondo studio, per l'aggregato storico. Proprio da quest'ultima indagine è emersa, inoltre, la necessità di un'ulteriore fase di approfondimento complementare, per la calibrazione di metodi specifici per la corretta valutazione del patrimonio cosiddetto 'monumentale'.

Innovative methods for a sustainable retrofit of the existing building stock. A cross-path from social housing to the listed heritage

Abstract. Three correlated researches try to give operative answers to the problem of defining procedures and tools for a correct survey and retrofit actions for the existing building stock. Starting from a first research on social housing energy retrofit, a fast audit protocol and different intervention scenarios have been defined, with the ultimate purpose of supporting the energy transformation of older urban aggregates; this cluster includes single buildings with high historical values, which necessarily need a deeper diagnosis with a future perspective of a wider promotion and evaluation of environmental sustainability issues.

Keywords: Existing building stock, Social housing, Historical buildings, Energy audit, Energy-environmental retrofit

Introduction

The need of tools for an effective energy audit, in order to enable the plan-

Nuovi modelli di analisi speditiva a supporto della programmazione di interventi sul patrimonio residenziale sociale

Lo studio del settore residenziale regionale (con particolare focus sul *social housing*), responsabile del 63% dei consumi energetici dell'intero settore civile¹ (Confservizi, 2014), può veicolare efficacemente la formulazione di mirate politiche energetiche per l'incremento prestazionale del costruito, come già illustrato in ricerche affini (Zimmermann et al., 2005).

Dal 2008, una prima ricerca ha raccolto dati utili a definire il profilo dello stato di fatto energetico-ambientale dell'intero *cluster* sociale pubblico dell'Emilia Romagna (gestito da ACER-Azienda Casa Emilia Romagna) e ne ha simulato scenari di riqualificazione. Data l'estensione del parco edilizio da indagare (58.395 unità immobiliari su tutto il territorio regionale), si è ritenuto opportuno limitarsi a un'analisi energetica preliminare, successiva a una prima fase di *audit* speditivo sul campo, come operato in studi analoghi (Chen et al., 2008). Ciò è stato possibile grazie all'elaborazione di un protocollo di rilievo e diagnosi energetica semplificata che ne ha ristretto i tempi di svolgimento grazie alla limitata quantità di dati da reperire e alla ridotta complessità di inserimento degli stessi per il calcolo energetico.

Il protocollo UPPER (*Urban Parametric Protocol for Energy Retrofit*)², applicazione funzionante su tecnologia mobile, ha permesso la riduzione dei tempi di rilievo, semplificando notevolmente le operazioni di acquisizione in situ delle informazioni utili alla successiva valutazione energetica. Lottimizzazione della procedura ha reso necessaria la programmazione a priori dei dati da rilevare sul campo per ogni singolo edificio, selezionati tra quelli maggiormente responsabili del comportamento energetico-am-

ving of long-term policies by individual Member States for the energy and environmental improvement of the built environment, is accelerated in Italy by the transposition and implementation (Legislative Decree of July 4th, 2014) of the European Directive 2012/27/EU.

The urgency of having a photograph of the current energy situation of the great existing building stock to be recovered and to requalify and upgrade has stimulated a series of studies related to each other and consequential, here briefly documented, starting with the analysis of large urban clusters of social housing in the Emilia Romagna region.

The fast evaluation tool (diagnosis and retrofit), developed in the first step of the research, was then validated for the historical clusters in a second study. From this latter survey, moreo-

ver, the need for a complementary analysis phase has emerged, in order to calibrate specific methods for the proper evaluation of 'monumental' buildings.

New models for fast energy assessment and definition of retrofit actions for the existing social housing

Analysing the residential sector of the Region Emilia Romagna (with main regards for the social housing), which is responsible for 63% of the whole building sector consumption¹ (Confservizi, 2014), can efficiently address targeted energy policies to increase the performance of the built environment, as already highlighted in corresponding researches (Zimmermann et al., 2005).

Starting in 2008, a first study has collected useful data to define the energy and environmental state-of-the-art



bientale. Tale operazione è stata possibile grazie all'omogeneità tipologico-costruttiva che connota di norma la residenza sociale. Ciò ha consentito, con buon grado di approssimazione³, di semplificare il metodo di valutazione delle prestazioni energetiche, parametrizzandone il calcolo: basandosi, infatti, su una metodologia *bottom-up*, lo studio ha acquisito un cospicuo numero di dati di *benchmark* derivanti da analisi approfondite⁴, svolte su un campione di edifici rappresentativi dell'intero edificato (Fig. 1). Tali dati sono stati successivamente parametrizzati e impiegati, durante la campagna di rilievo, per la diagnosi preliminare di ogni singolo fabbricato al fine di ottenerne gli indicatori di stato di fatto energetico. Ciò ha reso più agile il complesso procedimento analitico prescritto dalla normativa (UNI TS 11300:2008, parti 1 e 2), permettendo l'analisi semplificata e speditiva (in quanto sono stati rilevati solo alcuni valori, influenti ai fini del calcolo, mentre altri sono stati semplificati o addirittura ridotti a costanti) (Fig. 2) di interi *cluster* urbani e ottenendo un dato finale di EP_{gl} caratteristico di ogni singolo edificio.

All'*audit* energetico, lo strumento ha associato la simulazione di tre scenari alternativi di *energy retrofit*, studiati per proporre diversi risultati in termini di bilancio costi/benefici: riquilifica-

zione del solo sistema impiantistico, soddisfacimento dei requisiti minimi di efficienza energetica (in linea con le prescrizioni della D.G.R. Emilia Romagna 156/08 e s.m.i.) e scenario di *best practice* per raggiungere elevati standard energetico-ambientali (Fig. 3). I risultati dell'indagine (Belpoliti et al., 2010) hanno fornito al gestore del patrimonio edilizio sociale uno strumento decisionale di tipo tecnico-economico per identificare gli ambiti su cui porre maggiore attenzione sul breve-medio periodo e su cui svolgere più approfondite analisi, al fine di definire linee guida di intervento specifico.

Evoluzione e validazione di procedure semplificate per il rilievo e la diagnosi energetica in ambiente urbano storicizzato

La procedura di rilievo semplificato e *retrofit*, messa a punto in occasione della ricerca UPPER, è stata successivamente implementata per poter essere applicata anche a patrimoni edilizi storicizzati ed estesi, comunque contraddistinti da sufficienti livelli di omogeneità. È stato, dunque, necessario ridefinire e affinare la lista sintetica dei parametri da rilevare nel caso di edifici più datati e con caratteri materici e stilistici diversi da quelli pre-

01 | Alcuni (10) casi studio del campione rappresentativo analizzato approfonditamente (in tutto 70 edifici) al fine di elaborare il metodo di calcolo parametrizzato utilizzato per l'intero cluster sociale regionale; edifici numerati per riferimento al grafico di figura 2. Foto di V. Belpoliti
Few (10) buildings among the representative selected to be deeply analysed (70 in total), in order to achieve the parameterized calculation method used to assess the entire Regional social housing sector; numbers refer to the chart in Fig. 2. Photo by V. Belpoliti

scenario of the whole Regional social housing sector, then simulating refurbishment solutions. Given the broad building heritage to be investigated (58.395 dwelling units spread throughout the entire Region), the field of study has been limited to a preliminary energy assessment, as pursued in similar studies (Chen et al., 2008). Such analysis was elaborated after a fast on-field buildings audit, made possible by a protocol for a quick survey and simplified energy assessment, capable of reducing operational time by limiting the quantity of data to gather and easing their input into the energy calculation tool.

UPPER (Urban Parametric Protocol for Energy Retrofit)² is a digital tool, for mobile-devices, elaborated for reducing survey duration thanks to simplified in situ operations to gather data, required for the following energy

analysis. Such procedural optimization, programmed before the on-field activity, mainly regarded the identification of the tool's input-data: identified being the ones that mostly influence the building energy and environmental performance. Such operation was possible given the typological and technological homogeneity that often characterizes social housing. Given a certain degree of approximation³, the energy performance calculation of the homogeneous cluster could be parameterized: according to a bottom-up methodology, a determined number of ideal case-studies (Fig. 1) have been deeply calculated⁴ to produce a benchmark datum that represented the entire social housing sector. Then, the results have been parameterized and used, during the survey campaign, for the energy diagnosis of each building of the whole cluster. Such simplified

procedure eased the more complicated process prescribed by the regulations (UNI TS 11300:2008 - part 1 and 2), allowing for a fast and facilitated assessment (given that the simplified method required the collection of few detailed data conditioning the energy calculation, while others have been simplified or even turned into constant values) (Fig. 2) of entire urban areas, and producing an individual Energy Performance index (EP_{gl}) for each surveyed building.

After the audit phase, the digital tool runs an energy retrofit simulation according to three different scenarios, set to propose more options in regard to cost/benefit ratio: retrofitting the sole HVAC system, meeting the minimum energy performance requirements (according to the Regional Law D.G.R. Emilia Romagna 156/08), and reaching high energy standards (best

02 | Moduli di rilievo e calcolo energetico dello strumento UPPER. Attraverso l'analisi tipo-morfologica, tecnologica e impiantistica dell'edificio, l'applicazione ne calcola la prestazione energetica. Dall'immagine si evince la semplicità del protocollo di rilievo: i dati di dettaglio da rilevare sono unicamente quelli da inserire nelle caselle in arancio, mentre tutti gli altri sono stati parametrizzati o semplificati a costanti. Infine, lo strumento è dotato di un modulo di riqualificazione energetica e stima dei costi, che ai risultati di stato di fatto associa tre opzioni di retrofit. Elaborazione di V. Belpoliti

UPPER survey and energy calculation modules. Through the analysis of the building's typology/morphology, technology, and systems, the digital tool calculates its energy performance. The pictures show how easy it is to use the protocol: the detail data to be surveyed are uniquely the ones in the orange cells, while all the others have been parameterized or even turned into constant values. Moreover, the tool is provided with an energy retrofit and cost evaluation module, which offers three refurbishment options. Graphic elaboration by V. Belpoliti

BUILDING GENERAL DATA AND TYPOLOGICAL INFO

BUILDING INFO	YEAR OF CONSTRUCTION			TOTAL NUMBER OF DWELLING UNITS	CASE-STUDY DIMENSIONS					HETEROGENEOUS MORPHOLOGY	BUILDING TYPOLOGY				
	BEFORE 1976	BETWEEN 1976 AND 1991	AFTER 1991		SU NET AREA	MIN-MAX NET AREA	Vn NET VOLUME	V GROSS VOLUME	S ENVELOPE GROSS AREA		BLOCK TYPE 1	BLOCK TYPE 2	BLOCK TYPE 3	TOWER	STAND-ALONE
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12	497.2	54.8	1840.2	2520.8	1293.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BUILDING ENVELOPE TECHNOLOGICAL DATA

STRUCTURE TYPOLOGY		BUILDING TECHNOLOGY		BUILDING FACADE COLOUR			ROOF TYPOLOGY		REITERATION CHARACTER		ONE STAIRCASE MINIMUM	LOWER FLOOR TO OTHER SPACES Percentage of floor area communicating with unoccupied environments			BALCONIES LOGGIAS
UNIFORM	MIXED	TRADITIONAL	DEVELOPED	CLEAR	MEDIUM	DARK	UNOCCUPIED PITCHED ROOF	FLAT ROOF	OCCUPIED BUILDING STOREYS	BUILDING STAIR-CASES		GROUND FLOOR	CELLARS/GARAGES	PORCH/OUTDOOR SPACE BELOW	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	n.	n.	%	%	%	<input checked="" type="checkbox"/>	
									2	2	0.0	0.8	0.2		

BUILDING SYSTEM TECHNOLOGICAL DATA

HEATING SYSTEM TYPOLOGY		HEATING GENERATOR			FUEL TYPE		DHW PRODUCTION SYSTEM		SYSTEM EFFICIENCY Sub-systems classification and efficiencies					
INDEPENDENT PER EACH UNIT	BUILDING (CONDO) CENTRAL SYSTEM	BEFORE 1995	AFTER 1995	DISTRICT HEATING NET	NATURAL GAS	LPG	HEATING DHW	INDEPENDENT DHW PRODUCTION	HEATING GENERATION EFFICIENCY	DISTRIBUTION EFFICIENCY (pipes system)	EMISSION EFFICIENCY	CONTROL SYSTEM EFFICIENCY	DHW PRODUCTION SYSTEM EFFICIENCY	SYSTEM MEAN-GLOBAL EFFICIENCY
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.95	0.916	0.93	0.86	0.75	0.70

ENERGY ASSESSMENT PARTIAL RESULTS

Q _{H,tr} base	THERMAL ENERGY LOSS THROUGH THE BUILDING ENVELOPE					OTHER THERMAL ENERGY LOSSES AND FREE THERMAL GAINS				Q _{H,nd}	SYSTEM THERMAL ENERGY LOSSES Classified according to the sub-systems			
	QH,tr VERTICAL TO OUTSIDE	QH,tr TO STAIRS	QH,tr TO ABOVE SPACES	QH,tr TO BELOW SPACES	Q _{H,fr}	Q _{H,vn}	INDOOR FREE THERMAL GAINS	SOLAR FREE THERMAL GAINS	EMISSION THERMAL LOSS		CONTROL SYSTEM THERMAL LOSS	DISTRIBUTION THERMAL LOSS	GENERATION THERMAL LOSS	
kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year
100	49.8	13.9	20.4	13.2	97.3	17.5	6.1	35.1	73,6	5,5	12,9	6,7	4,2	

ENERGY PERFORMANCE INDEX

ENERGY PERFORMANCE INDEX (EP _i + EP _{ACS} = EP _{gl}) i, winter heating - acs, domestic hot water - gl, global			ELECTRICAL ENERGY DEMAND AND RELATED PERFORMANCE INDEX (EP _{el})				CO ₂ EMISSIONS			
EP _i	EP _{ACS}	EP _{gl}	SINGLE UNIT YEARLY ELECTRICITY DEMAND	WHOLE BUILDING (CONDO) YEARLY ELECTRICITY DEMAND	GLOBAL ELECTRICITY DEMAND	EP _{el}	SPECIFIC EMISSION FACTOR	HEATING + DHW RELATED CO ₂	ELECTRICITY RELATED CO ₂	CO ₂ TOTAL EMISSION
kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year	kWh/m ² /year		kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²	kg CO ₂ /m ²
102,9	24,9	127,8	2112	3286	28635	43,6	0,211	26,905	23,877	50,782

practice scenario) (Fig. 3). The study outcomes (Belpoliti et al., 2010) have been useful to the social housing manager (ACER-Azienda Casa Emilia Romagna) as techno-economic decisional tool to identify subjects that require more attention on a short-middle term and a deeper investigation, with the objective of defining specific intervention guidelines.

Evolution and validation of simplified procedures for a survey and energy audit in historical urban environment

The simplified survey procedure and retrofit strategy, developed for the previous UPPER research, has been further developed to be applied to historical and wide contexts with sufficient homogeneity features. Thus, it was necessary to re-define and improve the short list of parameters, previously

defined for the social housing building stock, considering the historic environment features (pre-industrial layers), the elements with morphological connotation and historical value (presence of mouldings, doors or windows and other significant elements to be kept), as well as the role of passive conditioning elements (buffer space). The opportunity was given by two studies developed to support Public Administrations in sustainable reconstructive processes in complex environments: the village of Caporciano (crater of the seism, which affected L'Aquila in 2009), today only partially inhabited, and Apice Vecchia in the Benevento surroundings, completely abandoned after earthquakes of 1962 and 1980. The first town has a traditional rural architecture, mostly built with local stone-walls, with regular ashlars and gravel of different sizes,

which can reach a thickness of about 90-100 cm; in the second one, vertical enclosures are mostly made of *opus incertum* (a faced masonry wall filled with mixed materials such as waste stones and bricks), or from mixed masonry of stone and bricks. The presence in minor historic villages of similar typological, morphological and constructive features highlights the possibility of a systemic and integrated approach for understanding energy and environmental information and the subsequent definition of retrofit and regeneration strategies, moving the attention from the single building to the urban level. This approach must necessarily meet the protective policy on historical buildings (conservative restriction) connected to their identity role. To ensure this aspect, the systemic approach adopted in the research allows to act in differ-

ent ways on the single building structure, while significantly reducing the overall energy consumption, with a view of a mutual and positive compensation between different buildings with several historical levels (Fig. 4). The proposed strategies and scenarios have pursued actions integration to increase buildings' energy behaviour, structural interventions aimed at improving seismic behaviour and solutions for a winter and summer conditioning fed by renewable energy sources. Moreover, a series of technical alternatives has been introduced within the fast protocol. They concern interesting short-chain material resources (wood derives and sheep's wool) (Fig. 5), widely present in the research context, to facilitate a conversion of a productive network hit by the earthquake, through a prospective of green-economy-related products for

cedentemente individuati per il *social housing*, considerando le caratteristiche proprie dell'ambiente storicizzato (stratificazioni pre-industriali), gli elementi di connotazione morfologica e di valore documentale (presenza di modanature, cornici di porte o finestre e altri elementi significativi da conservare), come pure il ruolo di alcuni elementi di condizionamento passivo (*buffer space*). L'occasione è stata fornita da due studi condotti per supportare le Pubbliche Amministrazioni nei processi ricostruttivi in chiave sostenibile di contesti particolarmente complessi: i borghi di Caporciano (cratere del sisma aquilano del 2009), oggi solo parzialmente abitato, e di Apice Vecchia nel beneventano, completamente disabitato a seguito dei terremoti del 1962 e del 1980. Il primo aggregato presenta un'architettura tradizionale di tipo rurale, costruita prevalentemente con murature in pietra locale, con conci regolari e pietrisco di varie dimensioni, che raggiungono anche i 90-100 cm di spessore; nel secondo, le chiusure verticali sono costituite principalmente da murature 'a sacco' con paramenti in pietra sbazzata e con riempimento di pietrame debolmente legato, oppure da murature miste di pietrame e mattoni.

La ricorrenza nei centri storici minori di caratteri tipo-morfologici e tipo-costruttivi simili evidenzia l'esigenza di affrontare in modo sistemico e integrato il processo di conoscenza delle

caratteristiche energetico-ambientali e la successiva definizione di strategie di riqualificazione e rigenerazione, spostando l'attenzione, almeno in una prima fase, dal singolo edificio verso il tessuto urbano nella sua coralità; orientamento, questo, che deve necessariamente collimare con le esigenze di tutela delle emergenze storiche (vincoli conservativi) e del loro ruolo identitario. A garanzia di ciò, l'approccio sistemico adottato nella ricerca consente di agire in modo differenziato sui singoli organismi edilizi, pur riducendo sensibilmente, nel complesso, le dispersioni energetiche globali, in un'ottica di compensazione reciproca e virtuosa tra fabbricati diversamente storicizzati (Fig. 4).

Le strategie e gli scenari proposti hanno perseguito l'integrazione tra le azioni per l'incremento del comportamento energetico degli involucri, gli interventi strutturali finalizzati al miglioramento del comportamento sismico e le soluzioni di adeguamento impiantistico per la climatizzazione estiva ed invernale alimentati con l'ausilio di fonti energetiche rinnovabili. Sono state inoltre inserite nel modello di simulazione speditiva dello stato di progetto una serie di alternative tecniche collegate a risorse di filiera corta (derivati del legno e lana di pecora) (Fig. 5), fortemente presenti nel contesto di riferimento, per favorire la riconversione di un tessuto produttivo messo in ginocchio dal sisma attraverso una prospettiva di prodotti di *green economy* per la ricostruzione (Forlani, 2011).

A completamento degli studi, è stato redatto un modello di piano economico-finanziario preliminare finalizzato ad evidenziare la dinamica dei flussi di cassa legati alle ipotesi progettuali, al fine di consentire l'introduzione da parte degli Enti Locali di misure incentivanti finalizzate alla rigenerazione degli aggregati urbani da poter integrare all'interno di un più ampio studio di fattibilità.

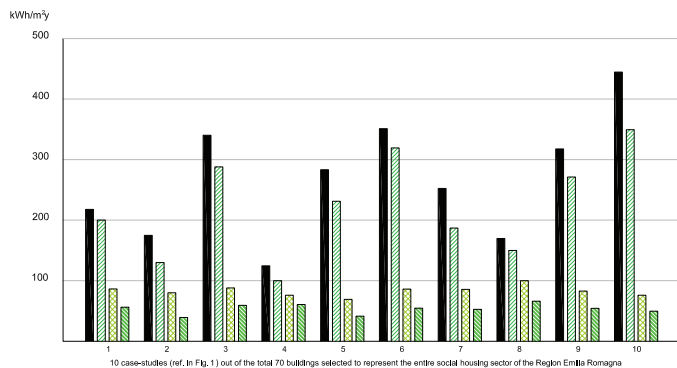
the reconstruction (Forlani, 2011). For the studies fulfilment, a preliminary financial plan model was prepared, for highlighting the cash flows dynamics related to the design assumptions, in order to allow the Local Authorities to introduce incentives aimed at the settlements regeneration to be integrated within a wider feasibility study.

for different typological features, materials and construction: the monumental buildings. Their architectural features often present specific elements such as entrance halls, porches, unoccupied roofs and different types of heat exchange through the ground. This category of buildings also shows a volumetric complexity resulting from considerable indoor heights and a complex conformation of the interiors. From an energy point of view, this means that the same room can have multiple different thermal exchanges, which have to be properly described because they influence the entire building energy behaviour (Balocco, 2007). The inability of knowing precisely the constitutive nature of the building envelope is one of the main difficulties encountered in the precise energetic description of different sub-systems and in the application of the

Limits of calculation methods of the energy performance applied to non-homogeneous historical monumental buildings

In the first phase of the research, the effectiveness of the simplified calculation methods applied to homogeneous buildings clusters has been highlighted. For a more accurate analysis, to continue and refine the previous research, it is useful to study also buildings that differ from the group of the basic fabric of historic centres, mostly

03 | ENERGY PERFORMANCE INDEX (EP_g)
STATE-OF-THE-ART AND RETROFIT SCENARIOS COMPARISON RESULTS



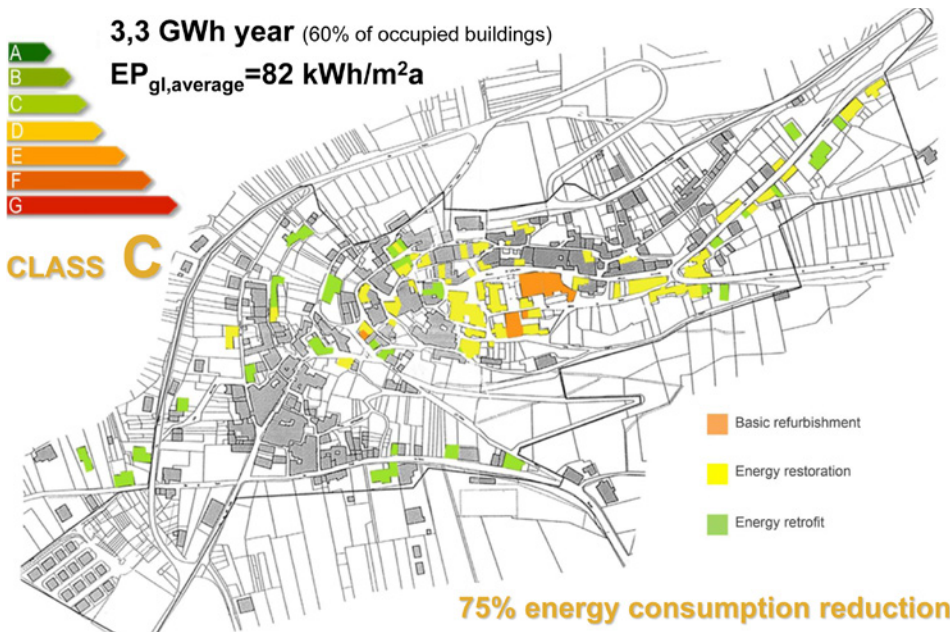
- STATE-OF-THE-ART ENERGY PERFORMANCE
- ▨ SCENARIO 1 ENERGY PERFORMANCE - HVAC SYSTEM RETROFIT
- ▤ SCENARIO 2 ENERGY PERFORMANCE - MINIMUM REGULATION REQUIREMENTS
- ▥ SCENARIO 3 ENERGY PERFORMANCE - BEST PRACTICE

STATE-OF-THE-ART Regional average 330 kWh/m²

SCENARIO 1 Regional average 240 kWh/m²

SCENARIO 2 Regional average 100 kWh/m²

SCENARIO 3 Regional average 85 kWh/m²



04 | Gerarchizzazione dei livelli di intervento per l'insediamento di Caporciano: interventi di natura conservativa, dove le azioni di miglioramento energetico sono ridotte al minimo, per preservare al meglio le caratteristiche storico-monumentali; interventi di 'restauro energetico', in cui le azioni di riqualificazione mirano all'implementazione delle strategie ambientali originali dell'edificio preindustriale, recuperando e valorizzando le capacità intrinseche di auto-controllo energetico e ambientale ('metabolismo interno'); interventi di energy retrofit, intendendo con ciò la possibilità di attuare azioni piuttosto incisive su edifici più recenti e quindi con ridotti elementi documentali. Elaborazione di V. Belpoliti, P. Boarin e M. Calzolari e P. Davoli

Hierarchy of intervention levels for the village of Caporciano: conservative actions, where energy improvement operations are reduced to the minimum in order to preserve historical and monumental features; 'energy restoration' actions, where retrofit operations aim to the improvement of the original environmental strategies of the pre-industrial building, through a recover and valorisation of its deeper energy and environmental self-control ('environmental metabolism'); energy retrofit actions, meaning the ability to implement actions rather incisive of more recent buildings with lower historical value. Graphic elaboration by V. Belpoliti, P. Boarin, M. Calzolari and P. Davoli

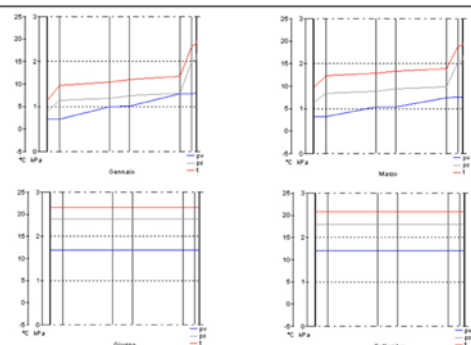
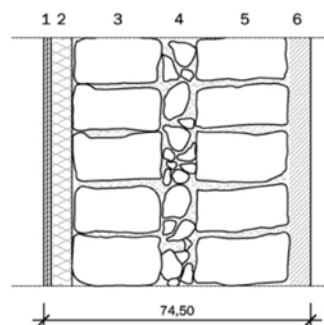
Limiti dei metodi di calcolo delle prestazioni energetiche applicati all'edilizia non omogenea di tipo storico-monumentale

dello studio degli organismi edilizi che si differenziano dal tessuto

In precedenza è stata evidenziata l'efficacia dei metodi di calcolo speditivi applicati a cluster omogenei. Per un'analisi più puntuale, a prosecuzione e completamento della precedente ricerca, occorre tuttavia occuparsi anche

aggregativo di base dei centri storici soprattutto per le diverse caratteristiche tipologiche, materiche e costruttive: gli edifici monumentali. Il loro impianto architettonico presenta spesso specifici elementi filtro come androni di ingresso, portici, *buffer* sottotetto e diverse tipologie di rapporto fra terreno e costruzione. Questa categoria di edifici, inoltre, esibisce una diversa complessità volumetrica, derivante da ambienti con altezza interpiano notevole e con un'articolazione estremamente variegata.

C.V.1 MURATURA A SACCO			
C.V.1.1 _ISOLANTE IN FIBRA DI LEGNO E TERMOINTONACO			
Strato	Spessore (cm)	Conduttività (W/mK)	
1	doppia lastra in cartongesso	2,5	0,2
2	strato isolante in fibra di legno, con listelli interposti	6	0,039
3	pietra da taglio calcarea	25	1,4
4	riempimento di pietrame con malta di calce debole	10	2
5	pietra da taglio calcarea	25	1,4
6	termointonaco in calce naturale	6	0,075
TOTALE SPESSORE		74,5	
VERIFICA TERMICA			
TRASMITTANZA TOTALE (W/m ² K)		0,31	
ATTENUAZIONE		0,004	
SFASAMENTO (h)		22,27	
VERIFICA IGROMETRICA			
CONDENSA SUPERFICIALE	Mese critico: Gennaio fRSi Max: 0,653 fRSi: 0,922 NESSUNA CONDENSA		
CONDENSA INTERSTIZIALE	Non si verifica condensa interstiziale in nessun mese e nessuna interfaccia		



05 | Esempio di scheda di analisi prestazionale utilizzata nella fase di progetto per la verifica delle soluzioni di miglioramento prestazionale degli involucri, attraverso la giustapposizione di strati isolanti, scelti, caso per caso, sulla base degli obiettivi prestazionali e di rigenerazione dei tessuti produttivi locali. Tale tipo di catalogazione (che segue la struttura proposta dalla UNI 8290:1981) è stato utilizzato, inoltre, a seguito della fase di indagine preliminare, per la formazione di un repertorio delle tecnologie costruttive e dei materiali presenti all'interno dei borghi. Elaborazione di V. Belpoliti, P. Boarin e M. Calzolari e P. Davoli

Example of performance analysis record used, during the design phase, for the verification of envelopes' solutions performance improvement, through the juxtaposition of insulating layers, chosen, case by case, on the basis of performance targets and local production regeneration issue. The same kind of form has been used, after the direct survey phase, for the creation of a database (following the classification suggested by UNI 8290:1981) collecting construction technologies and materials found within the villages. The picture shows the analysis on a cavity wall with stone-facing hewn stones and low fillings, giving information about the technological composition (description of subsequent envelopes material layers, with information about each thickness (m) and thermal conductivity (W/(mK)), the thermal evaluation (definition of the total thermal transmittance W/(m²K)), thermal abatement (a-dimensional) and phase shift (h)) and the hygro-thermal evaluation (definition of critic months for superficial moisture and for interstice moisture (diagrams with temperature and pressure behaviour in January, March, June, September). Diagrams also show temperature and pressure curves. Graphic elaboration by V. Belpoliti, P. Boarin e M. Calzolari e P. Davoli

Da un punto di vista energetico, ciò significa che uno stesso ambiente può avere scambi termici molteplici, che influenzano significativamente il comportamento energetico dell'intero fabbricato (Balocco, 2007) e che devono, dunque, essere studiati puntualmente. L'impossibilità di conoscere in maniera precisa la natura costitutiva di tutto l'involucro edilizio può rendere tuttavia assai complessa la corretta descrizione energetica dei diversi sottosistemi e l'applicazione di metodi di calcolo specifici o semplificati (Adhikari et al., 2011). Possono sussistere, infatti, disomogeneità non visibili dall'esterno e difficilmente investigabili a livello strumentale, come le continue variazioni materico-dimensionali dei muri 'a sacco', elementi lignei o metallici annegati nelle pareti, canalizzazioni e camini nascosti, collegamenti particolari fra murature, solai e coperture, diversi livelli di umidità interna. Per questa ragione, nella ricerca sono state eseguite simulazioni energetiche su una serie di complessi storici monumentali per quantificare i margini di errore che si presentano utilizzando gli attuali metodi di calcolo semplificato delle prestazioni energetiche; metodi concepiti, in realtà, per edifici di nuova costruzione. Pertanto, sono stati selezionati cinque edifici, suddivisi in 14 zone termiche distinte (impianti termici autonomi), con tipologie edilizie differenti: due Palazzi cinquecenteschi (Scacerni-Sisti e Cicognara-Sani a Ferrara), che presentano grandi androni ed estesa esposizione dei fronti; un complesso religioso (Monastero di Sant'Antonio in Polesine a Ferrara), con il proprio portico e la complessità volumetrica degli spazi interni; due ville Venete (la palladiana Villa Barbaro, a Maser e Villa Molin-Avezzù a Fratta Polesine), interessanti principalmente per il funzionamento ambientale nella stagione estiva. A ciascun caso studio è stato dunque applicato

simplified methods (Adhikari et al., 2011). In fact, significant inhomogeneity that are not visible from the outside and hard to investigate with standard instruments can exist: for example, constitutive variety in terms of material and thickness in *opus incertum* walls made with mixed materials, even with insertions of elements in wood or metal, or the presence of hidden chimneys and ducts, portions of walls with different levels of moisture, particular types of connections between walls, floors and roofs. For this reason, energy simulations have been performed on a series of historical monumental building complexes quantifying the error margins that occur using the current simplified calculation methods of the energy performance; in fact, these methods have been designed for new buildings. Therefore, five buildings were

simulated, subdivided into 14 different thermal zones (autonomous thermal plants), of different types: two sixteenth-century Palaces, (Scacerni-Sisti and Cicognara-Sani in Ferrara), that present large halls and an extended exposure of the fronts, a religious complex (Sant'Antonio in Polesine Cloister in Ferrara) with its porch and the complexity of interior spaces volume and two Villas (Palladio's Barbaro Villa in Maser and Molin-Avezzù Villa in Fratta Polesine), that are interesting first of all for their energy behaviour during summer. Each of the case studies was simulated using standardized analytical method, conducted in accordance with the instructions contained in UNI TS 11300:2008 and using different simplified methods, currently in use and allowed by law. Among the results of the research, it was found that, compared with the

il metodo analitico standardizzato, condotto in base alle direttive della UNI TS 11300:2008, come pure diversi metodi semplificati oggi comunemente in uso ed accettati dalla normativa. Tra gli esiti emersi dalle simulazioni, si è evidenziato che, rispetto al metodo analitico (il più preciso, ma comunque sempre non perfettamente adatto alla valutazione della costruzione storica), i metodi semplificati descrivono in via peggiorativa l'indice di prestazione energetica dell'involucro per una quota variabile tra il 20% e il 40% circa (Fig. 6), con ciò affermando che l'edificio consumerebbe di più rispetto al reale. Gli elementi correttivi evidenziati dalla ricerca, che possono integrare gli attuali sistemi semplificati di calcolo per ottenere metodi specifici per gli organismi storici, riguardano, da un lato (in estrema sintesi), le condizioni per ampliare e calibrare al meglio gli abachi delle soluzioni tecnologiche delle frontiere esterne, rispetto a quelli già a sistema, e, dall'altro, la corretta caratterizzazione degli scambi termici con gli ambienti confinanti, che, a differenza di quelli standard previsti dal modello di calcolo, nei casi studio monumentali presentano in genere volumi maggiori.

Questo ultimo aspetto porta, infatti, a considerare tali scambi termici molto inferiori di quelli che avvengono nella realtà, con un errore che in alcuni casi raggiunge il 200%)⁵.

Per un'analisi ancora più precisa, altrettanto importante può risultare la definizione di un sistema di rilievo strumentale specifico per l'indagine *in situ* del comportamento energetico delle fabbriche antiche, da affiancare ai metodi di calcolo analitico.

La ricerca, ancora in corso, sta sperimentando la tecnica di misura per la messa a punto di tale strumento⁶.

standardized analytical method (the most accurate, but still not perfectly suited to the evaluation of historic building), the simplified method produces a conservative result of the value of the energy performance index for the overall envelope of about 20-40% (Fig. 6), stating that the building consumes more than the actual. The corrective elements highlighted by the research, which can complement existing simplified calculations for obtaining specific methods for historic buildings, concern, on the one hand (in short), the conditions to expand and calibrate at best the existing schedules for envelope technological solutions, and on the other, the proper characterization of the thermal exchanges with adjacent spaces, which in monumental buildings generally have larger volumes respect the ones provided by standard model of com-

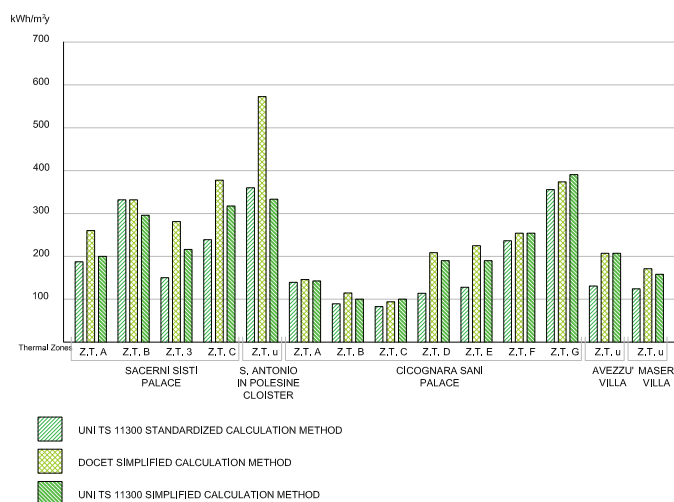
putation. These aspects lead, in fact, to consider these thermal exchanges much lower than the real ones, with an error sometimes reaches 200%)⁵.

The definition of a system of direct instrumental *in situ* survey, fast and easy to use, aimed to analysing the energy behaviour of historical buildings can be a possible option to carry out a more precise analysis, as a tool to complement the standardized approach. The research, still in progress, is testing the first measurement techniques for the development of this tool⁶.

Conclusions and future perspectives

The described research process combines several diachronic investigations that aim to consider the sustainable enhancement not as a limit, but as an opportunity for greater protection and valorisation of the built environment, in particular the historical one,

ENVELOPE ENERGY PERFORMANCE INDEX (EPI_{invol}) COMPARISON RESULTS



DOCET METHOD average + 40%
compared to the analytical standardized calculation method

UNI TS 11300 SIMPLIFIED METHOD average + 20%
compared to the analytical standardized calculation method

Conclusioni e prospettive future

Il percorso di ricerca descritto coniuga alcune indagini diacroniche che hanno come obiettivo fondante quello di considerare l'efficientamento sostenibile non come limite, bensì come opportunità per una maggior tutela e valorizzazione dell'ambiente costruito, soprattutto del bene storico, in virtù delle condizioni ottimali che si possono creare per la conservazione del manufatto edilizio, delle opere artistiche in esso contenute e per il benessere dell'utenza.

In relazione alla complessità dell'analisi e del progetto di *retrofit* energetico-ambientale (che spesso produce un'«insostenibilità» economica del processo di valutazione) e, di contro, l'obbligo comunque per i singoli Stati membri di mappare energeticamente

thanks to the optimal conditions that can be created for the preservation of the building, of the artwork housed within them and for the requirements for well-being of users. In relation to the complexity of the analysis and design of the energy and environmental retrofit (which often results in an economic unsustainability of the evaluation process) and the obligation for Member States to map existing buildings' energy situation, in order to drawing up a strategic plan for energy end-use efficiency (in line with 2012/27/EU Directive), we have tried to develop simplified and fast protocols and tools, which are useful in the first planning phase for finalizing the most of the limited financial resources currently available for public or private clusters. This strategy also allows to obtain significant results, without having to resort to extremely

long and complex analysis, as traditional current methods are. Using this first method, for subsequent steps, it is possible to operate with calibrated and extremely detailed tools to prevent that wrong energy audits of an historical building lead to too invasive and unmotivated interventions or which can misrepresent its original passive behaviour. Future perspectives are the extension of the use of the fast protocols to other types of clusters, especially if they belong to areas affected by natural disasters, to allow the owners (or managers) to deliver various reliable intervention scenarios⁷, and to make marketable these evaluation and policy models, especially for Public Administrations. The complexity and the undeniable importance of retrofit or restoration processes for national and European policies makes the most diffused models no longer suit-

06 | Risultati delle simulazioni energetiche dei casi studio allo stato di fatto. Il grafico mette a confronto i risultati ottenuti con il metodo standardizzato e con i metodi semplificati. Ciascun caso studio è stato analizzato in base alle zone termiche (Z.T.) in cui è suddiviso. Si nota come i metodi semplificati siano sempre conservativi rispetto al metodo analitico standardizzato
Simulation results of the energy behaviour for the case studies. The graph compares the results obtained with the standardized analytical method and the simplified methods. Each case study was analysed according to its thermal zones (Z.T.). It is clear that the simplified methods are always very conservative compared to the analytical method. Graphic elaboration by M. Calzolari

il patrimonio edilizio esistente al fine di redigere un piano strategico di efficientamento per gli usi finali dell'energia (in linea con la Direttiva 2012/27/UE), si è cercato di mettere a punto protocolli e strumenti semplificati e speditivi, utili nella fase di programmazione preliminare per finalizzare al meglio l'esiguità di risorse finanziarie attualmente disponibili a livello di *cluster* pubblici o privati. Tale strategia consente di orientare egualmente il processo verso l'ottenimento di risultati significativi, senza dover ricorrere ad analisi estremamente lunghe e complesse, come si rivelano quelle attuate con i metodi tradizionali oggi disponibili.

Questa prima metodica può avvalersi, per gli step successivi, di strumenti estremamente calibrati ed approfonditi per evitare che erronee diagnosi energetiche sulla singola fabbrica storica spingano verso interventi troppo invasivi e immotivati o che ne travisino il comportamento passivo originale.

Prospettive future sono l'estensione dell'operatività dei protocolli speditivi ad altre tipologie di *cluster*, specialmente se appartenenti a zone colpite da calamità naturali, per consentire ai proprietari (o ai gestori) di formulare diversi ed attendibili scenari di intervento⁷, come pure la traduzione in elementi spendibili sul mercato di tali modelli di valutazione e di indirizzo, soprattutto nei confronti delle Pubbliche Amministrazioni.

La complessità e l'indubbia centralità degli interventi di riqualificazione o restauro nelle politiche nazionali ed europee fa apparire ormai inadeguati i modelli più diffusi, ivi compresa la legislazione cogente, che si limitano a valutare gli aspetti energetici e, talvolta, economici del processo, tralasciando spesso la lettura della compatibilità ambientale e del comfort per gli uten-

able, mandatory legislation included, which are limited to the evaluation of energy and, sometimes, economical aspects, not considering a deeper analysis of environmental factors, as well as occupants' comfort and cultural issues connected to the historical heritage. Despite the linguistic abuse in the contemporary context, sustainability of technological solutions, objective sufficiently metabolized for new constructions, imposes, for the built environment, the awareness of being in front of a higher complexity. To be resolved, this complexity needs to be addressed with a positive convergence of multiple operators at different levels, through a holistic approach, which should be able to lead to a modern concept of sustainability, with the aim of safeguarding the 'resource', the building, to which a value has been recognized, with a view to

its transmission to future generations (Boarin et al., 2014). It is therefore urgent to define new methods and tools to orient the project, aimed at the sustainable conservation of existing buildings, which should be developed within a wider context, consisting of interdependent environmental compatibility systems, conservation and social equity that are able to guide and stimulate operators of the building sector. In this sense, rating systems for sustainability level evaluation and certification of the built heritage are tools designed to meet, through a multi-criteria approach, the need of defining specific requirements and suggest procedures and computational models useful to demonstrate achievement through a performance measurement. To conjugate energy and environmental issues specific of the assessment of sustainability level for the built en-

ti, come pure della valorizzazione dei fattori culturali connessi al costruito. Malgrado gli abusi linguistici nel contesto edilizio contemporaneo, il tema della sostenibilità delle soluzioni tecnologiche, obiettivo ormai sufficientemente metabolizzato per le nuove costruzioni, impone, nell'ambito della riqualificazione dell'esistente, la consapevolezza di essere di fronte a un'evoluzionistica complessità. Complessità che, per essere affrontata, presuppone, una positiva convergenza di più operatori a diversi livelli, attraverso un approccio olistico che sia in grado di condurre a un concetto di sostenibilità modernamente intesa, con finalità di salvaguardia della 'risorsa', l'edificio, alla quale è stato riconosciuto un valore, in vista della sua trasmissione alle generazioni future (Boarin et al., 2014).

È dunque urgente definire nuovi metodi e strumenti di indirizzo del progetto finalizzati a una conservazione sostenibile dell'esistente che si sviluppino all'interno di un alveo più ampio, formato da sistemi interdipendenti di compatibilità ambientale, conservazione ed equità sociale e che siano in grado di guidare adeguatamente e stimolare gli operatori della filiera edilizia. In questo senso, i sistemi a punteggio per la valutazione e certificazione del livello di sostenibilità ambientale del costruito sono strumenti pensati per rispondere, attraverso un approccio multicriteriale, alla necessità di definire specifici requisiti e suggerire procedure e modelli di calcolo utili a dimostrare il raggiungimento attraverso la misurazione di una prestazione. Coniugare le istanze energetico-ambientali proprie dei metodi di valutazione della sostenibilità del costruito con le istanze morfologico-testimoniali degli edifici storici è una sfida particolarmente attuale nel dialogo fra discipline tecnologiche e discipline conservative⁸.

environment with morphological and cultural issues of historical buildings is an actual challenge in the current dialogue between technological and conservative disciplines⁸.

NOTES

¹ Within the Emilia-Romagna Region's final energy consumptions, the civil sector covers the 34,5% (industry 32,1%, transports 30%, agriculture 3,4%). The residential sector weights for the 63%, tertiary for the remaining 37% of the overall civil energy consumptions.

² UPPER is a research product (not marketed) of the Architettura>Energia Research Centre of the Department of Architecture – University of Ferrara. It is the outcome of the Ph.D. research in Energy Technologies "Riqualificazione energetica nell'edilizia sociale", Vittorino Belpoliti, 2011 (Udine).

³ The building energy performance calculation run by UPPER shows a margin of error ranging from -10% to +30% compared to the calculation UNI TS 11300:2008 (part 1 and 2), aligning to the precautionary tendency of the simplified computation methods allowed by regulations but still quite complicated as per required input data.

⁴ Effective consumption (energy bills), steady-state energy calculation methods (i.e. the UNI TS 11300:2008 part 1 and 2), dynamic-state energy calculation methods, and instrumental analysis (among which the assistance to the programme Creative Energy Homes, coordinated by the University of Nottingham, www.creative-energy-homes.co.uk).

⁵ To calculate properly the energy performance of unheated adjacent spaces, taking into account all their characteristic elements, it is necessary to use

NOTE

¹ Ai consumi finali della Regione Emilia Romagna, il settore civile concorre per il 34.5% (industria 32.1%, trasporti 30%, agricoltura 3.4%). Il residenziale incide per il 63%, il terziario per il restante 37% dei consumi del civile.

² UPPER è un prodotto di ricerca (non commercializzato) del Centro Ricerche Architettura>Energia del Dipartimento di Architettura di Ferrara, derivante dalla ricerca "Riqualificazione energetica nell'edilizia sociale", Vittorino Belpoliti, 2011, per il Dottorato di Ricerca in Tecnologie Chimiche ed Energetiche (Udine).

³ I risultati del calcolo energetico svolto da UPPER mostrano un range di errore dal -10 al + 30 % rispetto al calcolo UNI TS 11300:2008 (parti 1 e 2), allineandosi al trend conservativo dei metodi di calcolo semplificato ammessi dalla normativa, ma ben più complessi in termini compilativi.

⁴ Rilievo dei consumi reali, diagnosi energetiche con metodi di calcolo mediamente stazionario (tra cui il metodo UNI TS 11300:2008, parti 1 e 2) e dinamico, analisi strumentali (tra cui partecipazione nel 2010 al programma *Creative Energy Homes* condotto dalla University of Nottingham, www.creative-energy-homes.co.uk).

⁵ Perché il contributo degli spazi non riscaldati confinanti sia valutato in maniera corretta è necessario operare il calcolo in regime dinamico. Questo calcolo infatti tiene conto dei fenomeni transitori che si verificano in maniera significativa, in particolare in ambienti con volumi molto ampi.

⁶ Lo strumento di rilievo DRHouseE (Diagnosis of a Real House Envelope) è un prodotto di ricerca del Centro Ricerche Architettura>Energia, derivante dalla ricerca "Valutazione del comportamento energetico dell'architettura storica. Analisi dei metodi di calcolo dello stato di fatto energetico e proposte correttive", Marta Calzolari, 2013, per il Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura (Ferrara).

⁷ In questo senso, grazie ai tempi e ai costi ridotti della prima fase di indagine preliminare, il protocollo di rilievo speditivo è attualmente in fase di affinamento per la proposta di *screening* del patrimonio architettonico di proprietà dell'Università di Ferrara, al fine di valutare lo stato attuale dei fab-

the dynamic calculation method. This kind of method takes into account the transient phenomena that occur, especially in building with very large volumes.

⁶ The survey tool DrHouseE (Diagnosis of a real House Envelope) is a research product of the Architettura>Energia Research Centre of the Department of Architecture – University of Ferrara. It is the outcome of the Ph.D. research in Technology of Architecture "Energy performance evaluation of historical buildings. Analysis of calculation methods for residual energetic performance and corrective proposals", Marta Calzolari, 2013 (Ferrara).

⁷ In this sense, thanks to a particularly reduced time and cost of the first phase of preliminary investigation, the fast survey protocol is currently being further developed for a suggested screening of the architectural heritage prop-

erty of the University of Ferrara, in order to assess the current state of the buildings and identify action priorities for the next phase of detailed analysis and definition of energy retrofit strategies.

⁸ A recently completed research in partnership with the Green Building Council Italy has tried to give some answers in this direction, through the development of the GBC Historic BuildingTM protocol, a rating system for the voluntary certification of the sustainability level of conservation, recovery and integration of historic buildings, which aims at the achievement high energy and environmental performances, respecting and protecting their cultural value. The Chair of Technical Advisory Group that developed the rating system is Paola Boarin, coordinator for the Department of Architecture of Ferrara.

bricati e individuare le priorità di intervento per la successiva fase di analisi di dettaglio e definizione delle azioni di *retrofit* energetico.

⁸ Una ricerca da poco conclusa in *partnership* con il Green Building Council Italia ha cercato di dare alcune risposte in questa direzione attraverso lo sviluppo del protocollo *GBC Historic Building™*, un sistema volontario a punteggio per la certificazione del livello di sostenibilità degli interventi di restauro e recupero di edifici storici che si prefigge lo scopo di raggiungere prestazioni energetico-ambientali elevate, preservandone il valore storico e testimoniale. Il Comitato Standard di Prodotto che ha sviluppato il nuovo *rating system* è coordinato da Paola Boarin, referente per il Dipartimento di Architettura di Ferrara.

REFERENCES

Adhikari, R., Pracchi, V., Rogora, A., Rosina, E. (2011), “La valutazione delle prestazioni energetiche negli edifici storici: sperimentazioni in corso”, *ilProgettoSostenibile*, 28, pp. 20-27.

Balocco, C. (2007), “Daily natural heat convection in a historical hall”, *Journal of Cultural Heritage*, 8, pp. 370-376.

Belpoliti, V., Bizzarri, G., Ligabue, G., Montanari, F. (2010) “Scenari di energy retrofit del patrimonio edilizio residenziale pubblico: politiche energetiche e patrimonio riduzione delle emissioni di CO₂ nella Regione Emilia Romagna”, *Proceedings of the XXVIII International UIT Congress 2010, Brescia, Giugno 21-23, 2010*, Snoopy, Brescia. pp. 509-514.

Boarin, P., Guglielmino, D., Zuppiroli, M. (2014). “Certified sustainability for heritage buildings: development of the new rating system GBC Historic Building™”, *Proceedings of the International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures – REHAB, Tomar, Portugal March, 19-21, 2014*, Green Lines Institute for Sustainable Development, Barcelos, pp. 1109-1119.

Chen S., Li N., Guan J., Xie Y., Sun F., Ni J. (2008), “A statistical method to investigate national energy consumption in the residential building sector of China”, *Energy and Buildings*, 40, pp. 654-665.

Confservizi Emilia Romagna (2014), *Annual report*, available at: www.confservizi.emr.it (accessed 19 March 2014).

Forlani, M. C. (a cura di) (2011), *Cultura tecnologica e progetto sostenibile. Idee e proposte ecosensibili per i territori del sisma aquilano. Atti del workshop progettuale SITda*, Alinea, Firenze, IT.

Zimmermann, M., Althaus, H. J., Haas, A. (2005), “Benchmarks for sustainable construction. A contribution to develop a standard”, *Energy and Buildings*, 37, pp. 1147-1157.