

The assessment of environmental sustainability of industrial buildings: implementation and issues in an industrial district

Maria Vittoria Santi*

Highlights

The sustainability of industrial buildings is considered, in a selected industrial district, through the combined use of data, maps and assessment tools. The categorisation of buildings by types and constructive systems allows an estimation of the main issues in the district. Energy and environmental audits on sample buildings draw attention to specific issues, highlighted by the comparison between the energy performances of different types of building envelope. The procedure used for the study allows further development, which might imply the extension of the assessment to the whole Region.

Abstract

The research focuses on the sustainability of industrial buildings, providing a review of the main problems in terms of energy and environmental quality, through the application of the assessment tools in force in the territorial context. The general overview of industrial buildings in the region of Friuli Venezia Giulia is followed by the survey of the typological and constructive aspects of buildings in one industrial district (Maniago, PN). The identified building stock is analysed according to the sustainability criteria, on the basis of the energy and environmental audit of some sample buildings.

Keywords

Industrial building, Energy efficiency, Sustainability

1. INTRODUCTION

The research, carried out during the PhD programme, faces the main issues about prefabricated industrial architecture, seeking to document and analyse the past evolution and the current problems related to the use of precast concrete panels for the construction of large spaces for industry. Following a first phase of investigation on industrial architecture made by concrete and the use of precast elements for the building envelope, the research focuses on energetic and environmental aspects related to the sustainability of industrial buildings. This previous phase about industrial architecture has allowed to contextualise the phenomenon of prefabrication in relation to the development of industrial areas in Italy during the last century and to identify the peculiarities of this built heritage [1; 2]. The analysis of the constructive and detail features has therefore provided an opportunity for continuing the study toward the energy

Maria Vittoria Santi

DPiA - Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Udine, via delle Scienze 206, Udine, 33100, Italia

*Corresponding author
Tel.: +39-0432-558023;
e-mail:
santi.mariavittoria@spes.uniud.it*

and environment field, expanding upon the issues of quality and performance related to the typological and technological knowledge.

The aspect of sustainability for industrial buildings is still, in Italy, partly unexplored, and the construction standard is far from an environmental performance adequate for other building uses [3]; in addition, in the past, industrial buildings, excluded from many of the regulatory requirements until the 80s, were often designed and built with little consideration of the issue of energy saving, so that their opaque or transparent structures and heating systems have considerable energy performance deficits. Moreover, in Italy industrial buildings are also predominantly made by prefabricated building systems, very popular since the 50s and 60s due to their characteristics (such as the low cost of design and construction), respecting more the quantitative parameters than the overall architectural and environmental quality.

Nowadays, according to the growing interest in sustainability of the industrial sector and the prospect of an increasing need for reclamation of abandoned or underused areas, the problem of reuse and adaptation (functional, structural and energetic) of existing industrial buildings raises, especially regarding the most common types such as factories and warehouses constructed with prefabricated elements.

The aim of this part of the research is therefore the identification, with respect to the type of building considered in the study, of the major problems of energy and environmental quality, for a future critical synthesis of the possible refurbishment strategies, considering international best practices and available technologies. On this basis, the sustainability assessment through the energy and environmental audits prove vital, and the appropriate application of the latest tools and methods of certification is addressed in relation to the knowledge of the building stock of the recent past.

2. STATE OF THE ART

The interest in the issue of sustainability regarding industrial areas, followed by the spread of sustainable buildings and sites, however marginal, has grown in connection with several factors: the national and regional laws calling for new performance requirements for buildings and systems, the increasing use of renewable energy sources facilitated by public incentives, the specific regulations for the industrial sector and EU directives and legislation [4], the implementation of standards towards an integrated energy&environmental management of process and product (with the systems for environmental management ISO 14001, energy management ISO 50001, life cycle assessment ISO 14040, and carbon footprint ISO 14064), and, finally, the

1. INTRODUZIONE

La ricerca, svolta nell'ambito del corso di Dottorato, affronta i diversi temi dell'edilizia industriale prefabbricata, proponendosi di analizzare e documentare l'evoluzione passata e le problematiche attuali legate all'uso dei pannelli prefabbricati in calcestruzzo per la costruzione di grandi spazi produttivi. Facendo seguito a una prima fase di indagine sull'architettura industriale in calcestruzzo e sulla diffusione degli elementi prefabbricati per l'involucro, la ricerca si è focalizzata sull'approfondimento degli aspetti energetico-ambientali legati alla sostenibilità degli edifici produttivi. La precedente fase di studio sull'architettura industriale ha contribuito all'inquadramento del fenomeno della prefabbricazione in relazione allo sviluppo delle aree produttive in Italia nel secolo scorso e all'identificazione delle peculiarità di questo patrimonio edilizio [1; 2]. L'analisi delle caratteristiche costruttive e di dettaglio ha quindi costituito l'occasione per il proseguimento del lavoro verso il campo energetico-ambientale, con l'approfondimento degli aspetti qualitativi e prestazionali legati alla conoscenza tipologica e tecnologica. L'aspetto della sostenibilità degli edifici industriali è ancora oggi, in Italia, in parte inesplorato e lo standard costruttivo è lontano da un livello di compatibilità ambientale considerato adeguato per altre destinazioni d'uso [3]; in particolare, si può notare come in passato gli edifici industriali, esclusi da molte delle prescrizioni normative fino agli anni '80, siano stati spesso progettati e realizzati con scarsa considerazione del tema del risparmio energetico, tanto da presentare strutture opache e trasparenti e impianti molto deficitari rispetto alle prestazioni energetiche. Gli edifici produttivi in Italia sono, inoltre, realizzati prevalentemente con sistemi costruttivi prefabbricati, molto diffusi a partire dagli anni '50 e '60 per le loro caratteristiche (fra cui i bassi costi di progettazione e realizzazione) nel rispetto dei parametri quantitativi, ma meno della complessiva qualità architettonica e ambientale.

Oggi, in funzione della crescente sensibilità per il tema della sostenibilità delle realtà produttive e nell'ottica di una sempre maggiore necessità di recupero delle aree dismesse o sottoutilizzate, emerge il problema del riuso e dell'adeguamento (funzionale, strutturale ed energetico) degli edifici industriali esistenti, in particolare delle tipologie più diffuse come i "capannoni" realizzati con sistemi costruttivi prefabbricati. L'obiettivo di questo passaggio della ricerca è stato quindi l'individuazione, rispetto alla tipologia edilizia oggetto di studio, delle criticità maggiori dal punto di vista della qualità energetico-ambientale, in funzione di una futura sintesi critica delle strategie e delle possibilità di riqualificazione, considerando le best practices internazionali e le soluzioni tecnologiche attualmente disponibili. Date queste premesse, si è dimostrato centrale il ruolo della valutazione della sostenibilità attraverso l'audit energetico-ambientale, e della più

design and certification tools for the energy and environmental sustainability at international (LEED) and national level (ITACA).

In this context, the design and refurbishment of industrial buildings implies, in general, the application of energy and environmental strategies aimed at rationalising consumption, optimising systems and reducing pollutant emissions. The energy and environmental sustainability of buildings has taken a leading role also for the evaluation of the existing building stock and, as a multidisciplinary theme, is oriented to the industrial site as a whole, according to international research (SIAM Project, Life Programme, 2004-2007 [5]; MEID project, Mediterranean Eco-Industrial Development, 2010-2013 [6]; Factories of the Future, Horizon2020 [7]). Moreover, in Italy there has been much research on the transformation of industrial heritage, and, in recent years, several studies have paid special attention to the relationship between sustainability and typological and technological characteristics of buildings [8; 9; 10; 11].

The topic of the renovation and improvement of the existing industrial facilities is, in fact, the practical aspect of interest related to the sustainability of industrial buildings, and it involves the architectural issue of the restoration of the built heritage. In particular, the architecture of industrial buildings has favoured considerations on the themes of structure, building envelope and prefabrication by many authors [12; 13], while only recently the issue of energy and environmental quality has been investigated [3; 14; 15; 16].

This articulated framework has implied different trends in research and methodologies, at national and international level, on the specific issue of energy and environmental quality of the industrial building stock; only a few compositions refer to buildings of the recent past (50s - 70s), and application examples and documentation are rare. This has suggested to analyse, as the first point, the topic of the energy and environmental assessment or audit (following the example of the European project already concluded Energy VillLAB, funded under the Cross-border Cooperation Operational Programme Italy - Slovenia 2007-2013 [16]). The energy and environmental audit, through the definition of a specific strategy for the assessment of the industries in the region, could also be a good basis for further developments of the study.

3. METHODOLOGY AND CASE STUDY

The research has been developed during a period of study and training at ARES-FVG (Regional Agency for Sustainable Building of Friuli Venezia Giulia [17]), dedicated to the theme of energy and environmental assessment and refurbishment of industrial buildings and areas. The topic is further

opportuna applicazione dei recenti metodi, strumenti e protocolli di certificazione, in relazione alla conoscenza del patrimonio edilizio del recente passato.

2. STATO DELL'ARTE

L'interesse, per quanto marginale, per il tema della sostenibilità rispetto agli ambiti produttivi, con la progressiva diffusione di edifici e di aree industriali sostenibili, è maturato in relazione a diversi fattori: le leggi nazionali e regionali indicanti nuovi requisiti prestazionali ed energetici per edifici e impianti, il sempre maggiore utilizzo di fonti energetiche rinnovabili agevolato dagli incentivi pubblici, la normativa specifica sui contesti produttivi e i regolamenti comunitari [4], l'implementazione di standard verso una gestione integrata energy&environment di processo e di prodotto (con i sistemi di gestione ambientale ISO 14001, dell'energia ISO 50001, life cycle assessment ISO 14040 e carbon footprint ISO 14064), e, infine, i modelli di progettazione e gli strumenti volontari di certificazione della sostenibilità energetico-ambientale a livello internazionale (LEED) e nazionale (ITACA).

In questo contesto, la progettazione e la riqualificazione degli edifici industriali implica, in generale, l'applicazione di strategie energetiche e ambientali volte alla razionalizzazione dei consumi, all'ottimizzazione dei sistemi e alla riduzione delle emissioni inquinanti. Rispetto al patrimonio edilizio esistente ha assunto un ruolo determinante la sostenibilità energetico-ambientale dell'edificio, tema multidisciplinare e orientato all'area produttiva nel suo complesso, secondo gli sviluppi della ricerca in campo europeo (Progetto SIAM, Programma Life, 2004-2007 [5]; il Progetto MEID, Mediterranean Eco-Industrial Development, 2010-2013 [6]; Factories of the Future, Horizon2020 [7]). In Italia sono state molte le ricerche rivolte al tema della trasformazione del patrimonio industriale, e, negli ultimi anni, diverse di queste hanno dedicato particolare attenzione alla relazione tra sostenibilità e caratteristiche tipologiche e tecnologiche [8; 9; 10; 11].

L'aspetto applicativo di interesse, legato alla sostenibilità dei contesti industriali, è, infatti, quello del recupero o della riqualificazione degli insediamenti produttivi esistenti, in cui si inserisce il motivo architettonico dell'intervento sul patrimonio del passato. In particolare, l'architettura degli edifici industriali ha favorito, da parte di molti autori, considerazioni che coinvolgono i temi di struttura, involucro e prefabbricazione [12; 13], mentre solo più recentemente si è indagato anche il tema della qualità energetico-ambientale [3; 14; 15; 16]. L'articolato quadro di riferimento ha implicato lo sviluppo di linee di ricerca e metodologie diversificate nel panorama nazionale ed europeo sul tema specifico della qualità energetico-ambientale del patrimonio industriale e, rispetto ai manufatti del passato più recente (anni '50 - '70), sono meno frequenti gli esempi applicativi e la relativa documentazione. Ciò ha suggerito l'approfondimento, come primo elemento, dell'aspetto

developed in relation to the regional context and with the aim of documenting the current condition of the industrial building stock, providing its assessment on the basis of energy and environmental parameters and finally envisaging proposals for future redevelopment of industrial areas and districts. The study is organised in a series of consecutive phases and is characterised by a change of scale, starting from a general overview on the regional scale, to get to the analysis of some particular applications on the building scale.

The first phase has involved an overview of the general features of industrial building in the regional area of Friuli Venezia Giulia, through the collection and analysis of the available data and documents. A first evaluation of the industrial building stock has been possible thanks to the cartography on land use in the region [18], which summarise the evolution of industrial buildings and areas from the 50s to the 2000s. Then the information on the eight industrial districts in the Region have been added to the cartography [19]; in particular, to address the analysis to a limited field of study, the reference is the current organisation of the ten Consortia for industrial development and their sites [20].

The second phase expands upon the typological and constructive characteristics of the buildings in the industrial district chosen as a case study (fig. 1): it is the industrial district in Maniago (PN), pertaining to the NIP Consortium [21]. The regional cartography concerning the municipality of Maniago and the maps of the Consortium have been used as a basis to categorise the buildings in the district; the functional and dimensional information on the buildings (use, date of construction, areas and volumes) have been deducted from the acquired data, while the typological and constructive information have been detected through surveys and observation on the field.

In the third and final phase, the aspects of performance of the building stock have been analysed, according to the main tools and methods for energy and environmental audit of buildings, including the tools for calculating the energy performance and the protocol for assessing the environmental sustainability. Data on energy and environmental audits of the buildings in the district have been acquired from the documentation developed by the European Project Energy ViLLab, of which ARES-FVG was a partner for the issues of energy efficiency in industrial areas [22].

The basic reference and tools used for the assessment of the energy efficiency of industrial buildings are: the certificate of energy performance of buildings (according to Legislative Decree 192/05, now updated by MD 26/06/2015 with the new guidelines for the energy certification of buildings [23]), and the technical regulations on energy saving and energy certification of

della valutazione o audit energetico-ambientale (sull'esempio del progetto europeo già concluso "Energy ViLLAB", finanziato nell'ambito del programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013 [16]) che, attraverso la definizione di una strategia di lavoro specifica per la tipologia industriale, possa rappresentare una valida base per futuri sviluppi.

3. METODOLOGIA E CASO DI STUDIO

La ricerca è stata sviluppata durante un periodo di formazione e ricerca presso l'Agenzia Regionale per l'Edilizia Sostenibile del Friuli Venezia Giulia [17] dedicato all'approfondimento del tema della valutazione energetico-ambientale e della riqualificazione di aree ed edifici industriali. Il tema è stato approfondito relativamente al contesto regionale e con l'obiettivo di documentare lo stato di fatto dell'edilizia industriale del territorio, fornire una sua valutazione in base ai parametri energetico-ambientali e prefigurare proposte per i futuri interventi di riqualificazione di aree e distretti industriali e artigianali. Il lavoro è stato organizzato in una serie di fasi consecutive e caratterizzate da un passaggio di scala, a partire dall'inquadramento generale a scala territoriale, per arrivare all'analisi di alcuni singoli casi applicativi a scala edilizia.

La prima fase del lavoro ha previsto un inquadramento delle caratteristiche degli edifici produttivi nell'ambito regionale del Friuli Venezia Giulia, attraverso l'acquisizione dei principali documenti e dati disponibili e la sintesi critica degli stessi. Una prima stima dello stato di fatto è stata possibile grazie alla cartografia sull'uso del suolo della regione [18], che restituisce un quadro sintetico dell'evoluzione dell'edificato a destinazione industriale dagli anni '50 agli anni 2000, a cui sono stati sovrapposti i dati relativi agli otto Distretti industriali e artigianali riconosciuti sul territorio [19]; in particolare, per rivolgere l'analisi ad un ambito di studio limitato, anche territorialmente, si è fatto riferimento all'attuale organizzazione in dieci Consorzi di sviluppo industriale operativi nella regione e alle zone industriali di pertinenza degli stessi [20].

La seconda fase ha previsto l'approfondimento degli aspetti tipologici e costruttivi degli edifici di un distretto industriale scelto come caso di studio per la mappatura (fig. 1): si tratta del "Distretto del Coltello" di Maniago (PN) e, per semplicità operativa, della "Zona Industriale di Maniago" di pertinenza del Consorzio NIP [21]. Al fine della classificazione degli edifici presenti nel distretto sono state assunte come base la cartografia regionale del Comune e quella fornita dal Consorzio; le informazioni funzionali e dimensionali sui fabbricati sono state rilevate indirettamente dai dati acquisiti (destinazione d'uso, periodo di costruzione, superfici e volumetrie), mentre le informazioni tipologiche e costruttive sono state rilevate direttamente mediante sopralluoghi e interviste.

In una terza e ultima fase sono stati

buildings (UNI TS 11300 [24]), taking into account the requirements for the “manufacturing building” category (E.8 - buildings used for industrial and similar activities). A further important reference, especially for the evaluation of possible interventions, has been identified in the ITACA Protocol - industrial Buildings [25], which added the factors of environmental sustainability to the energy efficiency aspects. Then the Green energy audit scheme has been used [26], in its two versions standard audit and walkthrough audit, for the assessment of individual buildings, as explained in the final report of the European project [22].

analizzati, a livello qualitativo, gli aspetti prestazionali del patrimonio edilizio individuato, avendo come riferimento i principali strumenti e metodi di diagnosi energetica e ambientale degli edifici, tra cui gli strumenti di calcolo della prestazione energetica e il protocollo di valutazione della sostenibilità energetico-ambientale ITACA. Come elemento di partenza e confronto sono stati acquisiti i dati relativi all'audit energetico-ambientale di alcuni edifici del distretto, facenti parte della documentazione sviluppata dal progetto europeo Energy ViLLab, di cui ARES-FVG è stato partner per la parte relativa alle problematiche collegate al risparmio energetico



Figure 1. Industrial buildings in the district in Maniago (PN): types of building, building systems and materials: reinforced concrete structures and sandwich panels, reinforced concrete structures and masonry in brick or concrete blocks, precast concrete structures and panels.

4. RESULTS

There are eight industrial district recognised by the Autonomous Region of Friuli Venezia Giulia [19] and they are characterised by a building stock which is widespread in the industrial zones of several neighbouring municipalities and includes buildings built in different periods. The comparison, by overlaying, between the regional land use maps [18] and the data on the industrial districts and the Consortia for industrial development [20] has led to a first evaluation of the features of industrial buildings in the region. These industrial areas originated and consolidated in the period between the 50s and the 70s, while only a few developed (or expanded) in recent times (from the 80s). A first analysis has confirmed that these areas are also characterised by

nell'ambito dei distretti produttivi [22]. Il riferimento di base per la valutazione della qualità energetica degli edifici industriali è costituito dall'attestato di prestazione energetica (disciplinato dal D. Lgs. 192/05 e ora dalle nuove Linee guida per la certificazione energetica degli edifici nel DM 26 giugno 2015 [23]) e dalla relativa normativa tecnica sul risparmio energetico e la certificazione energetica degli edifici (UNI TS 11300 [24]), tenendo conto delle prescrizioni per le categorie riferibili all'edificio produttivo (ossia E.8 - Edifici adibiti ad attività industriali e artigianali e assimilabili). Un ulteriore importante riferimento, soprattutto per la valutazione dei possibili interventi, è stato individuato nel "Protocollo ITACA Edifici Industriali" [25], che integra agli aspetti energetici gli elementi di valutazione della sostenibilità ambientale. Per la valutazione dei

manufacturing sites of small and medium size, including buildings which were mainly constructed in the same period (the 60s and the 70s) and sometimes were expanded or renovated in the following decades.

The industrial area in Maniago (PN), chosen as a case study, is managed by the Consortium for industrial development of Pordenone (NIP), hosts about 70 companies whose activities are mainly related to the “knife district”, and covers a total area of 168 hectares, of which 165,220 m² are still available for new settlements [22].

The choice to study a specific industrial area, which is geographically confined, has facilitated the processing of data and has simplified the synthesis of the results, according to the research topics. This has allowed the census of all the buildings in the area and the organisation of the information acquired in a georeferenced database. This has also supported the development of a series of thematic maps on several characteristics of the industrial area, such as maps categorising buildings by the date of construction or otherwise by the building systems or even by energy performance, when available (Fig. 2).



Figure 2. Industrial buildings in the district in Maniago (PN), categorisation by dates of construction (from 1970 to 2008), building systems and types of wall, with detail on precast concrete walls; elaboration from Regional technical map and Moland maps [18].

Regarding the construction features of the buildings in this district, the analysis has shown that they were constructed since the 60s (indeed there are not buildings prior to the 50s), with the typical building systems for industrial sites. In detail, the walls are mainly made with precast concrete structures and panels, with cast-in-place concrete structures and masonry in brick or concrete blocks, with cast-in-place concrete structures and sandwich panels

singoli edifici, acquisita dai report finali del progetto europeo, è stato utilizzato lo schema del Green energy audit [26], in particolare delle due versioni standard audit e walkthrough audit.

4. RISULTATI

I distretti industriali e artigianali riconosciuti nella Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia sono otto [19] e sono caratterizzati da un patrimonio edilizio diffuso, compreso nelle zone industriali di diversi comuni limitrofi, e che include edifici appartenenti a diverse epoche di costruzione. Il confronto, attraverso la sovrapposizione, tra le mappe regionali sull'uso del suolo [18] e i dati sui Distretti industriali e i Consorzi di sviluppo industriale [20] ha permesso una prima stima delle caratteristiche dell'edilizia industriale nella regione. La maggior parte delle aree industriali rilevate ha avuto origine e si è consolidata nel periodo tra gli anni '50 e '70, mentre sono poche quelle che si distinguono per uno sviluppo (o ampliamento) in periodo più recente. Da una prima analisi, è possibile confermare che le prime sono caratterizzate da complessi industriali e artigianali di estensione media o contenuta, che includono

edifici risalenti al medesimo periodo (anni '60 e '70) e talvolta oggetto di ampliamenti o ristrutturazioni nei decenni successivi.

La zona industriale di Maniago, scelta come caso di studio, è un'area di pertinenza del consorzio di sviluppo industriale del Pordenonese (NIP), in cui sono presenti circa settanta aziende, è caratterizzata dalla presenza di diverse attività legate al “Distretto del Coltello”, e si estende per una

in metal sheet and insulation, or with steel-frame structures and curtain walls. The roofs are made with the same construction systems, such as prefabricated beams and shed elements, floors in concrete, metal trusses and framed structures and sandwich panels with metal sheet and insulation, sometimes with the addition of ceiling and insulating panels in mineral wool. The types of windows have more variety: iron frames and single glass or polycarbonate (often fixed-type), insulated aluminium doors and windows with double-glazing, combined double windows, or insulated windows with special glass [22]. Survey and observation on the field, in the area chosen for the study, have confirmed the presence of the types listed above and have allowed to determine the amount of each of these (Fig. 3).

type of wall	panels	number	%
prefabricated structure, precast concrete panels	vertical	15	27
	horizontal	16	29
	other forms	6	10
		37	67
reinforced concrete structure and masonry with bricks or concrete blocks		6	11
reinforced concrete structure completed with sandwich panels in metal sheet and insulation		5	9
reinforced concrete or metal structure and wall in concrete blocks		1	2
reinforced concrete or metal structure and cladding in other materials		6	11

Figure 3. Types of buildings in the industrial district in Maniago (PN): numbers and percentages of buildings, categorised by building systems and types of building envelope, with detail on precast concrete walls.

The energy audits carried out on some sample buildings suggest the possibility of extending this assessment to the whole district, promoting the collection of information on energy and environmental aspects that can complete the typological-constructive knowledge of the industrial buildings.

The Green energy audit scheme [26] in the walkthrough audit version (in the form of a checklist), has proved to be a simple and fast assessment tool but also a suitable way for an accurate preliminary estimation of energy and environmental quality of the buildings; furthermore, it provides a summary of the general characteristics of the building (size, dates), information on the building envelope, the systems, and the current management. The standard audit collects thoroughly information on the building features, especially on the building envelope and the systems, from the description of the vertical and horizontal structures and the construction methods and materials, to the details of the thermic-physical parameters of the elements of the “thermal envelope”, and even to the identification of specific problems of some elements, systems

superficie complessiva di 168 ha, di cui 165.220 mq disponibili per nuovi insediamenti [22]. L'individuazione di una zona industriale geograficamente limitata su cui concentrare il lavoro ha facilitato l'elaborazione dei dati e semplificato la sintesi dei risultati ottenuti in relazione alle tematiche della ricerca. È stato possibile, infatti, censire tutti gli edifici all'interno dell'area individuata e organizzare le informazioni acquisite in un database georeferenziato. Ciò ha anche permesso l'elaborazione di una serie di mappe tematiche su alcune caratteristiche della zona industriale analizzata, ad esempio classificando gli edifici per data di costruzione o diversamente per tipologie costruttive o ancora per prestazione energetica (Fig. 2).

Per quanto riguarda le caratteristiche costruttive degli edifici del distretto, si tratta di manufatti realizzati a partire

dagli anni '60 (non sono anzi presenti edifici antecedenti agli anni '50), con i sistemi costruttivi caratteristici dell'edilizia industriale. In dettaglio, le chiusure verticali rilevate sono realizzate principalmente con strutture prefabbricate in c.a. e tamponamenti in pannelli in calcestruzzo, con strutture eseguite in opera in c.a. e tamponamenti in laterizio o a blocchi in calcestruzzo, con pareti eseguite in opera in c.a. e completamento con pannelli sandwich in lamiera e isolante, oppure con strutture intelaiate in acciaio e tamponamenti. Per quanto riguarda le chiusure orizzontali di copertura sono rilevati i medesimi sistemi costruttivi quali tegoli in c.a.p. o elementi shed prefabbricati, solai in latero-cemento inclinati o piani, oppure strutture in travi o capriate in ferro e pannelli sandwich in lamiera e isolante, talvolta con l'aggiunta di controsoffitti in pannelli di fibrocemento e isolanti in fibra di roccia/vetro. Le tipologie di infissi presentano una maggiore varietà, dai serramenti in ferro con vetro singolo o polycarbonato alveolare (spesso di tipo fisso), ai serramenti in alluminio a taglio termico con vetrocamera, ai serramenti doppi abbinati, fino ai serramenti in alluminio a taglio termico e vetrate isolanti con

or management aspects. The audit also includes the standard energy analysis (consumption, management and energy performance [20]) and the possible improvement measures including the comparison of solutions in terms of energy performance, CO₂ emissions and economic costs.

So, for instance, the walkthrough audit of a sample building made with precast concrete structures and panels, dated 1961-1971, has shown that, despite the absence of degradation, the presence of thermal insulation in prefabricated elements and some recent upgrading works (such as the installation of double windows), the structure as a whole has still deficits of energy performance. On the contrary, although the renovation of the facade or the replacement of windows are not currently planned, an improvement of the energy performance would be easily achieved through the addition of an external insulation layer or the installation of solar panels on the roof [22].

The comparison within the energy performances of the sample buildings, for which the audit was performed under the EnergyVilLab project [16], is of particular interest in order to synthesise the main problems, highlighted by the percentages of heat loss in opaque and transparent structures, and to define the incidence of possible interventions, related to percentages of energy savings in the same structures (Fig. 4).

building elements	description	% heat loss	% energy saving*
opaque vertical structures	walls	31 ÷ 35	16 ÷ 26
horizontal structures	ground floors	5 ÷ 8	1 ÷ 3
horizontal structures	roofs	19 ÷ 44	8 ÷ 29
transparent elements	windows, doors, overhead doors	26 ÷ 39	6 ÷ 24
transparent elements	building with large windows	26 ÷ 49	25 ÷ 68
thermal bridges	-	2 ÷ 4	-
ventilation	mechanical ventilation system	50 ÷ 80	25 ÷ 68
systems upgrade	heat generator replacement	-	20 ÷ 26

* decrease in consumption related to building envelope

Figure 4. Comparison between heat losses and potential energy savings for each building element, according to energy audits carried out for the sample-buildings in the industrial district; summary of data from [22].

Focusing on the heat loss in the elements of the building envelope, the analysis of each case show that the percentage of heat loss is ascribable for the most part to the opaque and transparent vertical structures (walls and windows), in a significant way even to the horizontal structures (roofs), while only marginally to the floors. Consequently, also the savings percentages, achievable through refurbishment, are more relevant if they involve the vertical structures, consistent for the roofs, and not very significant for the floors (Fig. 4).

The proposed assessment method could be extended to the whole industrial

trattamenti specifici [22]. L'analisi dell'area di studio, grazie ai rilievi sul campo, ha confermato la presenza delle tipologie sopra elencate e permesso di determinare la consistenza di ciascuna di queste (Fig. 3).

L'audit compiuto su alcuni edifici campione suggerisce la possibilità di estendere questo processo all'intero distretto, promuovendo la raccolta di informazioni sugli aspetti energetico-ambientali che possano integrare la conoscenza tipologica-costruttiva del patrimonio edilizio industriale. Lo schema di Green energy audit [26] nella versione walkthrough audit, proposto in forma di checklist, si presenta come uno strumento di valutazione semplice e rapido ma insieme adatto a una stima preliminare abbastanza accurata della qualità energetico-ambientale dell'edificio produttivo. Restituisce, infatti, una sintesi delle caratteristiche generali (dimensionali, temporali), delle informazioni qualitative sull'involucro e sugli impianti, e delle indicazioni sull'attuale gestione dello stesso.

Lo standard audit raccoglie in modo più approfondito le informazioni sulle caratteristiche dell'edificio, in particolare involucro e impianti, dalla descrizione delle strutture verticali e orizzontali, tipologie costruttive e materiali, all'approfondimento delle caratteristiche termofisiche degli elementi che costituiscono l'involucro dell'edificio, arrivando all'individuazione delle criticità specifiche di alcuni elementi

dell'involucro e/o impiantistici e sugli aspetti di gestione. Lo standard audit include anche l'analisi energetica (dei consumi, della gestione e delle prestazioni energetiche [20]) e gli interventi migliorativi possibili, comprensivi del confronto delle soluzioni in termini di prestazioni energetiche, emissioni CO₂ e valutazione economica. Infatti, ad esempio, attraverso il walkthrough audit di un edificio campione della tipologia "prefabbricato in c.a. con tamponamenti in pannelli in calcestruzzo", datato 1961-1971, è emerso che, pur in assenza di situazioni di degrado dell'involucro e

district, making also possible to roughly estimate the major problems and improvement potential through the comparison of these results, from the audits on sample buildings of each type, with the buildings in the area, detected and classified by their constructive features.

5. CONCLUSIONS

The study has confirmed the relevance of some issues involved in the research, and in particular the role of energy and environmental sustainability in relation to the dynamics of transformation of the industrial heritage of the recent past. The importance of the knowledge and the evaluation, above and beyond the proposals and strategies for the renovation and adaptation (functional, structural, environmental) of industrial buildings is confirmed. In fact, despite an ostensible homogeneity of industrial buildings in the context analysed, the process of assessment has pointed out several complications related to the acquisition of data for the classification (about both buildings and systems) and to the use of the tools for energy and environmental sustainability assessment of industrial facilities (due to the complexity of the structures and the heterogeneity of possible interventions). As an additional outcome of the study, on the basis of the process already accomplished, the time and cost for the assessment are estimated; the evaluation of the environmental sustainability of the industrial building stock could therefore be continued, using the methodology proposed, going from the building scale to the district scale, and eventually to the whole Region.

6. CREDITS

The research is carried out during the PhD course in Civil Engineering, Architecture and Territory, XXIX Cycle, at University of Udine, Department of Civil Engineering and Architecture, supervised by prof. Anna Frangipane. The paper summarises the main aspects of the part of the research developed by the author during the training and research period at the Regional Agency for Sustainable Building of Friuli Venezia Giulia (ARES-FVG), regulated by a Convention between the agency and the Department: the activity was related to the energy efficiency of industrial buildings and the European projects in progress, and supervised by the architect Angela Sanchini, who is thanked.

5. REFERENCES

- [1] Santi M. V., Precast concrete panels for industrial architecture in northern Italy, «TEMA Tempo Materia Architettura», 1 (2015), n. 2.
- [2] Santi M. V., Frangipane A., Precast concrete architecture for industry: knowledge,

nonostante la presenza di isolamento termico negli elementi prefabbricati e la realizzazione di alcuni interventi di riqualificazione come l'inserimento di un secondo serramento, la struttura nel suo complesso si presenta deficitaria dal punto di vista della prestazione energetica. Per contro, pur non essendo attualmente previsti interventi di manutenzione straordinaria della facciata o la sostituzione dei serramenti, risulterebbero facilmente realizzabili sia l'applicazione di isolamento esterno sia l'installazione di impianti solare termico e fotovoltaico sulla copertura a shed [22].

L'analisi delle dispersioni e il confronto delle prestazioni degli edifici campione, per cui è stato eseguito l'audit nell'ambito del progetto EnergyVilLab [16] è di particolare interesse per la sintesi delle principali criticità, evidenziate dalle percentuali di consumi rispetto alle strutture opache e trasparenti, e per la definizione dell'incidenza dei possibili interventi, correlata alle percentuali di risparmio (Fig. 4).

Per quanto riguarda le strutture disperdenti, dall'analisi dei singoli casi è possibile riassumere come la percentuale di dispersioni sia attribuibile per la maggior parte alle chiusure verticali opache e trasparenti, in modo consistente anche alle chiusure orizzontali di copertura, mentre solo marginalmente alle chiusure orizzontali di base. Di conseguenza anche le percentuali di risparmio, ottenibili attraverso gli interventi di riqualificazione, sono più rilevanti se riferite alle chiusure verticali, consistenti rispetto alle chiusure orizzontali di copertura, e non molto significative per le chiusure orizzontali di base.

Volendo estendere il metodo di valutazione proposto all'intero distretto, è possibile, inoltre, stimare approssimativamente le criticità e le potenzialità di miglioramento attraverso il confronto di questi risultati ottenuti dall'audit sugli edifici "campione" di ciascuna tipologia, con il patrimonio edilizio rilevato nell'area e classificato in base alle caratteristiche costruttive.

5. CONCLUSIONI

La ricerca ha confermato la centralità di alcuni temi coinvolti nella ricerca, e in particolare il ruolo della sostenibilità energetico-ambientale in relazione alle dinamiche di trasformazione del patrimonio industriale del passato recente. A monte delle proposte e delle strategie di intervento per la riqualificazione del costruito (funzionale, strutturale, energetica) si conferma l'importanza della conoscenza e della valutazione. Infatti, nonostante un'apparente omogeneità dell'edilizia industriale nel contesto analizzato, in questo processo sono emerse diverse criticità legate sia all'acquisizione dei dati per la conoscenza (su aspetti sia edilizi che impiantistici) sia all'applicazione degli strumenti di valutazione della sostenibilità energetico-ambientale (per la complessità delle strutture e per l'eterogeneità degli interventi possibili). Come ulteriore esito del lavoro, facendo seguito alle esperienze già compiute, risulta possibile una stima dei tempi e dei costi per la

- preservation, and refurbishment in the postindustrial era: A review, «Agribusiness Paesaggio & Ambiente», 17 (2014), n.1, p.74-79.
- [3] La sostenibilità degli edifici e delle aree industriali: proposte metodologiche e progettuali per il territorio del Canavese, eds. A. Cinotto, S. Ferrero. Ivrea: Consorzio Insediamenti Produttivi del Canavese, 2009.
 - [4] Insediamenti industriali e sostenibilità: linee guida per la realizzazione di aree produttive ecologicamente attrezzate, eds. G. Bollini, L. Corsari, V. Stacchini. Firenze: Alinea, 2007.
 - [5] Sustainable and Equipped Productive Areas, <www.sepaproject.eu/>. 2013. (accessed: 09/09/2015).
 - [6] Tarantini M. [et al.], Sustainable Industrial Areas in Mediterranean countries: Toolkit for SMEs and Local Authorities: MEID project. Roma: ENEA, 2013. Mediterranean eco industrial development, <www.medmeid.eu/>. 2015. (accessed: 09/09/2015).
 - [7] European Factory of the Future Association, RoadMap 2014-2020, < www.effa.eu/>. 2014. (accessed: 09/09/2015).
 - [8] Luoghi di produzione ecocompatibili: edifici e aree produttive, ed. L. Bassi. Monfalcone: Edicom, 2008.
 - [9] Ferrante A., Edifici industriali: dall'evoluzione storica alle ipotesi di riconversione ambientale, «Il progetto sostenibile», 20 (2008), p. 36-41.
 - [10] De Paoli O., Montacchini E., La riqualificazione sostenibile degli edifici industriali, «Il progetto sostenibile», 20 (2008), p. 58-63.
 - [11] Maspoli R., Patrimonio industriale: Conservazione, patrimonializzazione, trasformazione sostenibile, «Il progetto sostenibile», 34/35 (2014), p. 50-61.
 - [12] Dassori E., La prefabbricazione in calcestruzzo: guida all'utilizzo nella progettazione. Milano: BE-Ma, 2001.
 - [13] Iori T., Préfabrication et industrialisation made in Italy. In: Architecture industrialisée et préfabriquée: connaissance et sauvegarde, eds. F. Graf, Y. Delemontey. Losanna: PPUR, 2012.
 - [14] Musto M., The industrial building: sustainable refurbish elements. In: Regional architecture in the Mediterranean area, eds. A. Bucci, L. Mollo. Firenze: Alinea, 2010, p. 423-427.
 - [15] Dongellini M., Marinosci C., Morini G.L., Energy Audit of an Industrial Site: A Case Study, «Energy Procedia», (2014), n. 45, p. 424-433.
 - [16] Energy ViLLab Living lab for sustainable development, <www.energyvillab.net/>. 2014. (accessed: 09/09/2015).
 - [17] ARES-FVG Agenzia Regionale per l'Edilizia Sostenibile del Friuli Venezia Giulia, <www.aresfvg.it/>. 2015. (accessed: 10/10/2015).
 - [18] ISPRA Istituto per l'Ambiente e la Sostenibilità, Consumo ed uso del territorio del Friuli-Venezia Giulia: Relazione finale MOLAND-FVG. Centro comune di ricerca, Commissione Europea, 2000.
 - [19] Regione Friuli Venezia Giulia: Servizio statistica. Profilo economico dei distretti industriali e artigianali del FVG, ed. I. Silvestri. Trieste: Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2009.
 - [20] Regione Friuli Venezia Giulia: consorzi di sviluppo industriale, L.R. 3/1999 e L.R. 25/2002 <www.regione.fvg.it/rafvvg/cms/RAFVG/economia-imprese/industria/>. 2011. (accessed: 15/04/2015).
 - [21] Consorzio per il Nucleo di Industrializzazione della Provincia di Pordenone, <www.nipmaniago.it/>. 2014. (accessed: 09/09/2015).
 - [22] Linee Guida per la sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici industriali, eds. A. Sanchini and G. Bertoli, <tinyurl.com/oue8pt7/>. 2014. (accessed: 01/07/2015).
 - [23] Decreto interministeriale 26 giugno 2015: Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, «GU Serie Generale», 162 (2015) n. 39.
 - [24] Ente nazionale italiano di unificazione, Parte 1: UNI/TS 11300-1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale: specifica tecnica. Milano: UNI, 2014.
 - [25] ITACA/iiSBE Italia/ITC-CNR, Protocollo ITACA 2011: Edifici Industriali. <www.itaca.org/>. 2011. (accessed: 15/04/2015).
 - [26] Dall'Ò G., *Green energy audit: manuale operativo per la diagnosi energetica e ambientale degli edifici*. Milano: Edizioni ambiente, 2011.

valutazione del patrimonio edilizio industriale secondo la metodologia proposta, passando dalla scala dell'edificio a quella del distretto, fino all'ipotesi di un'estensione al territorio regionale.

6. CREDITS

La ricerca è stata svolta nell'ambito del corso di Dottorato di Ricerca in Ingegneria civile, Architettura e Territorio, XXIX Ciclo, all'Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Ingegneria civile e Architettura, supervisionato dalla prof. Anna Frangipane. Il contributo sintetizza gli aspetti salienti della ricerca sviluppata dall'autore durante il periodo di formazione e ricerca presso l'Agenzia Regionale per l'Edilizia Sostenibile del Friuli Venezia Giulia (ARES-FVG), regolato da una Convenzione, stipulata tra l'ente e il Dipartimento, per lo svolgimento di attività inerenti i progetti europei di cui ARES-FVG è partner, nel settore della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio e delle aree industriali, supervisionata dall'arch. Angela Sanchini, che si ringrazia.