

# La tecnologia come interfaccia abilitante negli spazi di transizione per lo *smart Heritage*

RICERCA E  
SPERIMENTAZIONE/  
RESEARCH AND  
EXPERIMENTATION

Marta Calzolari, <https://orcid.org/0000-0002-9749-7214>  
Valentina Frighi, <https://orcid.org/0000-0002-9082-8746>  
Valentina Modugno, <https://orcid.org/0000-0001-5867-8824>  
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, Italia

marta.calzolari@unife.it  
valentina.frigi@unife.it  
valentina.modugno@unife.it

**Abstract.** L'attuale e sempre più frequente deriva tecnocratica riconosce un potere indiscriminato a tecniche e tecnologie nella risoluzione di numerose problematiche, tra cui la battaglia al cambiamento climatico e al suo impatto sulle città. Una delle sfide future riguarda l'applicazione efficace e consapevole di *Key Enabling Technologies* (KETs) per la creazione di *smart environment* nel patrimonio storico, detentore di un ruolo strategico, oltre che per i valori conservativi, anche nella più ampia strategia per limitare le emissioni di gas serra climalteranti. Il contributo qui proposto riporta alcuni risultati preliminari di una ricerca volta a indagare e riconoscere a tali tecnologie un possibile ruolo di medium abilitante per intraprendere scelte deterministiche più consapevoli nel campo del *Cultural Heritage* (CH).

**Parole chiave:** Smart Heritage; Liminal spaces; Smart sensors' systems; eHeritage; Heritage-plus.

## Premessa

Il tempo di oggi ha visto un potenziamento del ruolo di scienza e tecnica in ogni ambito della vita quotidiana, riconoscendo il "dominio" delle tecnologie nella risoluzione di problemi di qualsiasi genere, capaci addirittura di soverchiare il cosiddetto "sapere tecnico". Tuttavia, ciò avviene sovente senza una gestione appropriata e consapevole di tali strumenti, specie nel settore delle costruzioni, da sempre e per sua intrinseca natura reticente nei confronti dell'innovazione, rischiando di tramutarsi in una deriva tecnocratica.

Per contro, le capacità abilitanti delle nuove tecnologie offrono la possibilità concreta di affiancare all'ineludibile approccio critico ed euristico proprio del progettista, il rigore scientifico di tali strumenti, abilitando nuove capacità.

Il termine "abilitante" si rifà, seppure con un'adeguata visione critico-reinterpretativa, al concetto di *Key Enabling Technolo-*

*gies* (KETs). Nell'oramai lontano 2009, la Commissione Europea definì le KETs come tecnologie nuove e complesse capaci di migliorare e innovare prodotti e processi in ogni settore industriale, originando vantaggi sul fronte della ricerca scientifica, su quello industriale e occupazionale e in termini di miglioramento delle condizioni di vita (COM, 2009).

Nel contesto italiano, anche il PNRR pone l'attenzione sull'importanza delle KETs come strumento essenziale per l'avanzamento delle competenze, specificando che queste debbano includere, tra le altre: simulazione avanzata e analisi e gestione dei big data; tecnologie avanzate per l'ambiente e l'energia; mobilità sostenibile; tecnologie applicate e patrimonio culturale; tecnologie per la biodiversità e la sostenibilità ambientale; tecnologie per la transizione digitale industriale e Industria 4.0.

Nel settore delle costruzioni, l'adozione delle KETs può avvenire con diverse finalità ed obiettivi, più facilmente legati alla nuova costruzione. Tuttavia, per quanto riguarda la valorizzazione del costruito, in particolare storico, tale dominio è ancora scarsamente esplorato, seppur i piani strategici per gli anni a venire evidenzino la necessità di intervenire per la sua conservazione e valorizzazione anche in questa chiave.

Solo l'Italia, infatti, possiede il 4,7% del patrimonio edilizio storico mondiale (Galatioto *et al.*, 2017) pari a circa il 46% dell'intero paese (UNESCO, 2019); in Europa, una quota compresa tra il 24 e il 35% del patrimonio esistente è costituita da edifici storici ed è responsabile del 27-42% dei consumi finali dell'intero paese (Blumberga *et al.*, 2019); appare dunque evidente il ruolo strategico che tale patrimonio riveste nella più ampia strategia per

Technology as enabling interface within transition spaces for the smart Heritage

**Abstract.** The current and increasingly intensive technocratic drift recognises the indiscriminate power of techniques in solving several problems, including the struggle against climate change and its impact on cities. One of the future challenges concerns the effective and conscious application of KETs for the creation of smart environments in historical heritage, which plays a strategic role for its conservative values, but also in the broader strategy for limiting greenhouse gas emissions. The proposed paper reports some preliminary results of a research aimed at investigating and acknowledging these technologies as an enabling medium to undertake more informed deterministic choices in the field of CH.

**Keywords:** Smart Heritage; Liminal spaces; Smart sensor systems; eHeritage; Heritage-plus.

## Foreword

The present age has seen a strengthening of the role of science and technology in every sphere of daily life, recognising the 'dominance' of technologies in solving problems of any kinds, even capable of overpowering the so-called technical knowledge. However, this often occurs without an appropriate and conscious management of these tools, especially with the construction sector, which has always been reticent – also for its own nature – towards innovation, risking turning into a technocratic drift.

On the other hand, the enabling capabilities of new technologies offer the concrete possibility of combining the unavoidable critical and heuristic approach of the designer with the scientific rigor of these tools, thus enabling new skills.

The term "enabling" refers to the concept of *Key Enabling Technolo-*

*gies* (KETs), even if with an adequate critical-reinterpreting vision. Yet in 2009, KETs were defined by the European Commission as new and complex technologies capable of improving and innovating products and processes in every industrial sector, generating advantages in terms of scientific research, industry and employment, improving living conditions as well (COM, 2009). In Italy, also the PNRR focuses on the importance of KETs as an essential tool for knowledge advancement, specifying that they must include, among others: advanced simulation and big data analysis and management; advanced technologies for energy and the environment; sustainable mobility; applied technologies and cultural heritage; technologies for biodiversity and environmental sustainability; technologies for the industrial digital transition and Industry 4.0.

limitare le emissioni di gas serra climalteranti, nonché la scarsità di risorse energetiche, garantendo standard adeguati alle aspettative dell'utenza. La sfida dei prossimi anni riguarda pertanto, un'applicazione efficace e consapevole delle KETs anche al patrimonio storico con il fine di creare *smart environment*.

La ricerca qui documentata mostra alcuni risultati preliminari per il raggiungimento di questo obiettivo: indagare e riconoscere a tali tecnologie un possibile ruolo di sussidio, già dalle prime fasi meta-progettuali, ponendosi come medium abilitante per intraprendere scelte deterministiche più consapevoli rispetto al passato.

### Stato dell'arte

L'analisi della letteratura mostra quanto sia frequente trovare il termine *smart* associato a edifici di nuova costruzione o a materiali, componenti e sistemi di "nuova generazione". È invece molto raro rilevare interazioni tra il dominio del patrimonio culturale storico (*Cultural Heritage* – CH) e quello dello *Smart Environment* (Hajjaji *et al.*, 2021). Le applicazioni più frequenti di tecnologie abilitanti al patrimonio storico sono ancora limitate e catalogabili in relazione a specifiche finalità, in accordo con quanto emerso da una copiosa analisi di *literature review* finalizzata a documentare lo stato dell'arte di tali tecnologie ap-

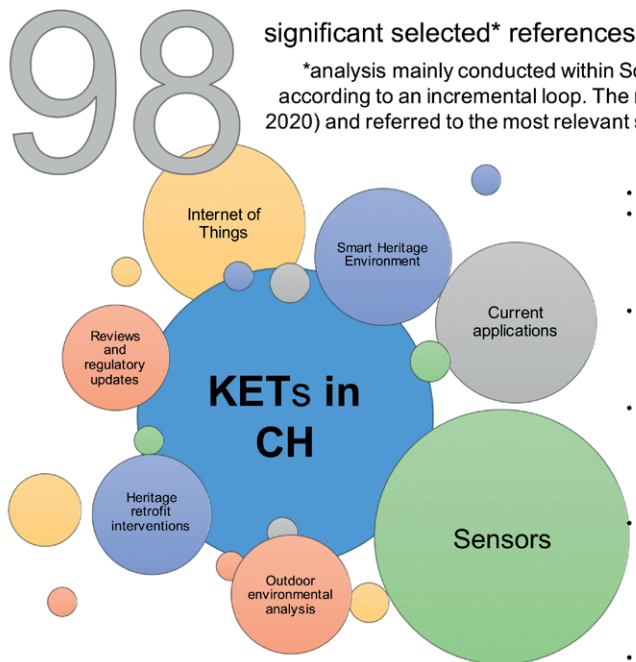
plicate al patrimonio storico (n.d.a. le stringhe di ricerca sono quelle indicate in Fig. 1).

L'impiego più diffuso riguarda gli edifici a destinazione specialistica, perlopiù museale, per il rilievo di parametri ambientali, al fine di controllare le condizioni interne, in modo da renderle idonee alla conservazione delle opere in essi ospitate (Camuffo, 2019). Altro campo di applicazione è quello relativo alla creazione di *Digital Twin*, modellazione e simulazione software, per la conduzione di analisi prestazionali con finalità di controllo e adeguamento sismico ed energetico. In tempi più recenti, la sensoristica avanzata si applica anche alla raccolta sul campo di dati prestazionali relativi a sistemi strutturali (monitoraggio fessurazioni sui paramenti murari o di solai lignei) o a parametri relativi al comportamento termico e igrometrico dell'involucro, per aumentare la conoscenza diretta degli edifici storici, ancora tradizionalmente legata a nozioni di letteratura o qualitative (Hansen *et al.*, 2018).

A fianco alla raccolta di una sempre crescente quantità di informazioni, si sono evoluti anche i processi di elaborazione dei *big data*, per la messa in rete e la successiva condivisione della conoscenza acquisita.

Un altro settore con interessanti applicazioni di KETs al CH è il rilievo 3D, che si avvale di dispositivi evoluti per la raccolta e

SYSTEMATIC REVIEW
<i>Scopus research strings</i>
<b>BUILDING</b>
<i>building, real estate, property, properties, estate, dwelling, edifice, habitation, house, building stock, heritage</i>
<b>INNOVATION/SMART</b>
<i>smart, advanced, innovative, digital</i>
<b>SMART ENVIRONMENT</b>
<i>smart environment</i>
<b>PROCESS</b>
<i>process, evaluation, analysis, assessment, technologies, digital, method, investigation</i>
<b>PERVASIVE</b>
<i>diffused, pervasive, low cost, easy to use, widespread, permeating, pervading</i>
<b>ENVIRONMENT</b>
<i>climate mitigation, resilience, climate change, environment</i>
<b>ENERGY</b>
<i>energy use, energy consumption, energy efficiency, energy retrofit, energy enhancement, energetic efficiency, energetic retrofit, energetic enhancement</i>
<b>ENVIRONMENTAL CONTROL</b>
<i>comfort, environment, quality, IAQ</i>
<b>IN/OUT</b>
<i>indoor, outdoor, envelope, courtyard, arcade, exterior gallery, portico, porch, colonnade, loggia</i>
<b>IOT</b>
<i>IOT, sensor, big data, mega data</i>
<b>KETS</b>
<i>KETS, nanotechnology, microelectronics, nanoelectronics, photonics, advanced materials, monitoring, simulating, modelling</i>
<b>HERITAGE</b>
<i>heritage, culture heritage, historic, listed build</i>



98 significant selected\* references

\*analysis mainly conducted within Scopus starting from research keywords according to an incremental loop. The research as been limited in time (2014-2020) and referred to the most relevant scientific areas considering the specific field of investigation.

- Reviews and regulatory updates
- Smart Heritage Environment
  - Smart heritage
  - Smart city and urban sustainability
  - Environmental assessment of retrofit interventions in heritage
- Internet of Things
  - IoT and Heritage Building Information Modeling
  - Big data, cloud and edge computing
  - Data analytics and energy assessment
- Sensors
  - Wireless Sensors Networks
  - Digital Smart Technologies for data collection
  - Sensors for museums
  - Recent innovations in sensors
- Heritage retrofit interventions
  - Reviews
  - Case studies
  - New retrofit approaches in CH
  - Innovative interventions
  - Users' behavior as energy efficiency strategy
- Current applications
  - Digital technologies for CH management
  - Procedural and parametric modeling in CH
  - CH data analysis for planning urban resiliency
- Outdoor environmental analysis

successiva restituzione tridimensionale di informazioni geometriche degli edifici (Dawn and Biswas, 2019). Ancora, si nota il sempre crescente interesse verso procedure di realtà aumentata e *serious gaming* come strumento di coinvolgimento degli utenti, sia in ambiente espositivo sia con finalità divulgative (Huang *et al.*, 2019).

L'alto potenziale di innovazione connesso all'utilizzo di tali tecnologie sembra quindi riuscito a permeare solo marginalmente nel CH, nonostante quest'ultimo possa rappresentare terreno fertile. L'uso delle KETs è ancora finalizzato a scopi specifici, per lo più legati alla necessità di ottenere dati o semplificare processi. Manca un impiego per rivoluzionare il modo con cui tali edifici vengono gestiti, in maniera manuale o automatizzata, per migliorarne le prestazioni e ridurre i consumi verso la neutralità carbonica.

Nel caso del patrimonio storico, l'enorme potenziale dato dalla gestione intelligente e consapevole dei nuovi strumenti materiali (nanotecnologie, Materiali a Cambiamento di Fase, e *Smart Materials*) e immateriali (digitali) ha il duplice fine di conservare i beni storici e valorizzarne i caratteri per i quali sono testimoni del concetto ancestrale di sostenibilità.

Altresì carente è ancora lo studio dello spazio *outdoor* e, più nello specifico, del rapporto tra *indoor/outdoor* e involucro edilizio, quale elemento di separazione cui è affidato il compito di regolare le interazioni tra i due. Il tema assume particolare rilevanza in questo periodo di policrisi (Mussinelli *et al.*, 2022) in cui surriscaldamento globale e pandemia hanno fatto emergere la necessità di intervenire sulle città per migliorarne le prestazioni ambientali. In tale contesto assumono un ruolo strategico i centri storici, nei quali è frequente trovare spazi semi-esterni

Within the construction sector, the adoption of KETs can take place with different purposes and objectives, most easily related to new constructions. However, as far as making the most of the built environment, particularly the historical one, is concerned, this domain is still scarcely explored, although the strategic plans for the years to come highlight the need to intervene for its conservation and value enhancement also in this view. Italy alone owns 4.7% of the world's historical building heritage (Galatioto *et al.*, 2017), which occupies approximately 46% of the entire country (UNESCO, 2019). In Europe, historical buildings account for 24-35% of total building stock area, and can consume 27-42% from the nation's final energy consumption (Blumberga *et al.*, 2019). Therefore, the strategic role that heritage plays in the broader strategy to

limit greenhouse gas emissions, as well as the scarcity of energy resources, by guaranteeing standards that meet the expectations of users is evident.

So, the challenge for the next years concerns an effective and conscious application of KETs even to the historical heritage with the intention of creating smart environments.

The research documented here presents some preliminary results for the achievement of this objective: to investigate and recognise a possible role of aid to such technologies, already from the early meta-design phases, acting as an enabling medium to undertake more informed deterministic choices than in the past.

#### State of the art

The literature analysis shows how often the term "smart" is found associated with "new generation" buildings,

o esterni di prossimità dotati di grande valenza architettonico/ambientale, fondamentali anche per la vita economica della società, spesso dipendente dai processi di attrattività turistica legati alla fruizione dei centri minori.

#### Obiettivi e metodologia

Il presente contributo restituisce i risultati del primo anno di ricerca documentale del progetto TECH-START PRIN 2017<sup>1</sup>. Nell'ambito della ricerca, l'obiettivo specifico delle attività qui documentate (in particolare condotte dalle unità di ricerca Unife e CNR) è la messa a punto di un processo per la comprensione e riattivazione del ruolo originale di controllo microclimatico degli spazi di transizione negli edifici storici per la creazione di *smart environment* (IATE 2018), grazie all'uso di KETs come strumenti di indagine, gestione e valorizzazione della conoscenza e degli spazi. L'obiettivo finale è quello di giungere alla definizione di una relazione di interesse fra il potenziale insito in tali tecnologie e il patrimonio architettonico storico (*smart heritage*). La prima fase della ricerca ha permesso la costruzione di un processo metodologico replicabile per la definizione di strategie di intervento sul patrimonio storico, evidenziando gli attuali limiti del sistema.

I risultati del progetto mirano, dunque, a rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- È possibile creare sistemi automatizzati di monitoraggio delle *performance* ambientali negli edifici storici capaci di adattarsi alle esigenze degli utenti?
- Quali sono le strategie progettuali per riattivare il ruolo di mediatore ambientale degli spazi semi-esterni/di transizione nel CH?

materials, components, or systems. On the other hand, it is very rare to detect interactions between the domain of Cultural Heritage (CH) and that of the Smart Environment (Hajjaji *et al.*, 2021). The most frequent applications of enabling technologies to heritage are still limited, and they can be categorised in relation to specific purposes, in accordance with the findings of a copious literature review aimed at documenting the state of the art of such technologies applied to historical heritage (research strings are shown in Fig. 1). The most widespread use throughout history concerns buildings for specialised use, mostly museums, for the survey of environmental parameters to control the internal conditions, so that they are suitable for the conservation of works housed within them (Camuffo, 2019).

Another field of application is related

to the creation of Digital Twins, software modelling and simulation to conduct performance analyses for seismic and energy control and adaptation. In more recent times, advanced sensors are also applied for on-site collection of performance data related to structures (monitoring of wall cracks or wooden floors) or parameters concerning the hygro-thermal behaviour of the envelope, to increase direct knowledge of historical buildings, traditionally linked to literary or qualitative notions (Hansen *et al.*, 2018).

Alongside the collection of an ever increasing quantity of information, thanks to new tools, also the processes for big data elaboration, networking and, subsequently, sharing the acquired knowledge have evolved.

Another sector with interesting applications of KETs in CH is the 3D survey, which makes use of advanced devices

## KETS AS MEDIUM FOR THE CREATION OF SMART ENVIRONMENT IN CULTURAL HERITAGE

- Esistono sistemi di elaborazione dati per prevedere in modo speditivo l'impatto delle scelte progettuali quando applicate su un tessuto storico più ampio e non solo sul singolo edificio?

Per rispondere a tali domande e a partire dall'attività di literature review relativa ad applicazioni di KETs al CH, è stato adottato un processo metodologico atto ad evidenziare, per ciascun ambito di tali applicazioni, limiti e aspetti ancora da sviluppare. Al fine di mettere a sistema i diversi tasselli di ogni step procedurale (Fig. 2), a ciascuno di essi è stato collegato un concetto chiave, individuato nell'ambito di tale prima fase della ricerca e corrispondente ad un diverso step di messa punto e affinamento di tale processo.

### Risultati raggiunti

I concetti chiave identificano una precisa fase dell'attività di ricerca, sintetizzando gli approfondimenti che hanno permesso di proseguire negli step successivi di tale processo e collaborando alla definizione di un glossario condiviso (la prima deliverable del progetto). Inoltre, questo primo importante risultato ha permesso di mettere a sistema la grande mole di dati e informazioni sulle tematiche oggetto della ricerca PRIN, ambiti ampiamente indagati ma ancora senza una visione di insieme capace di rispondere ai quesiti sopra richiamati.

Di seguito si riporta dunque una sintesi dei concetti-chiave inquadrati al termine della prima fase della ricerca.

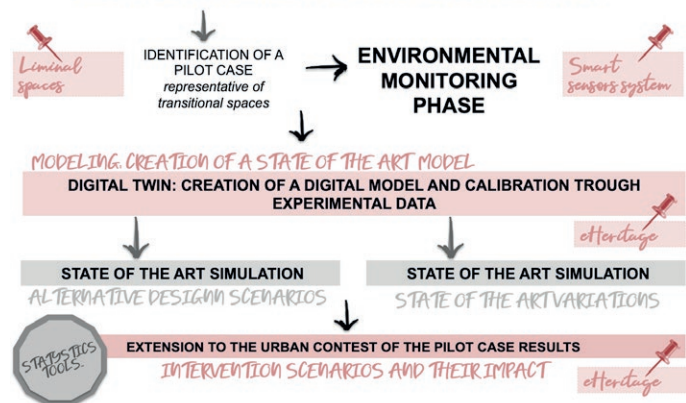
Il primo concetto, *liminal spaces*, rappresenta l'oggetto specifico di indagine; elemento ricorrente nell'edilizia storica rappresentativo delle interazioni complesse di natura energetico-

to collect and, subsequently, return the geometric information of buildings in a three-dimensional way (Dawn and Biswas, 2019). Furthermore, it is worth mentioning the ever-growing interest in augmented reality procedures and serious gaming as tools for user involvement, both in the exhibition environment and for dissemination purposes (Huang *et al.*, 2019).

The high innovation potential associated with the use of these technologies seems, therefore, permeated only marginally in CH, despite this can represent a fertile ground. The use of KETs is aimed at specific purposes, mostly related to the need to obtain data or to simplify processes. There is no use to upset the way these buildings are managed, manually or automatically, to improve their performance, reduce consumption and promote carbon neutrality.

In the case of CH, this enormous potential, given by intelligent and conscious management of new tangible materials (nanotechnologies, Phase Change Materials, and Smart Materials in general), and intangible (digital) tools, has the dual purpose of preserving historical assets, and of enhancing the signs for which they are witnesses of the ancestral concept of sustainability.

Finally, there is still a lack of study of the outdoor spaces and, more specifically, of the relationship between indoor/outdoor areas and the building envelope as a separating element, entrusted with the task of regulating interactions between the two. This issue assumes particular importance in this period of polycrisis (Mussinelli *et al.*, 2022) in which global warming and the pandemic have highlighted the need to intervene in cities to improve their en-



ambientale tra spazi esterni di prossimità, ambienti interni attigui e involucro edilizio. La scelta di concentrarsi sugli spazi di transizione mira a superare il tradizionale approccio progettuale che considera separatamente lo spazio indoor (calcolo dei consumi e comfort ambientale interno) e lo spazio esterno (materia perlopiù di interesse della pianificazione urbana). L'orientamento proposto ricerca invece la loro mutua interferenza e gli effetti che essi generano sulle emissioni di sostanze climalteranti e sulle cause del surriscaldamento delle città. Questa visione assume maggiore rilievo quando si opera sul tessuto storico, caratterizzato, più del nuovo, dalla presenza di portici, loggiati, corti e cortili, oltre ai cosiddetti spazi "filtro", vani ipogei o sottetto, aventi in comune il ruolo di "mediatore" tra condizioni ambientali interne ed esterne. Tuttavia, il loro compito è stato spesso ignorato o non compreso; grazie allo studio del loro funzionamento e agli strumenti tecnologici di cui siamo in possesso, è oggi necessario individuare le strategie per riattivare queste "KETs ante litteram" del passato.

Con il secondo e il terzo concetto infatti, *Smart Sensors' Systems* e *eHeritage*, si identificano gli strumenti tecnologici (senza derive tecnocratiche) con cui innescare questo processo di riattivazione.

environmental performance. Historical centres acquire a strategic role in this context. Indeed, in such sites it is common to find semi-external or external proximity spaces with great architectural/environmental value, which are also essential for the economic life of society, and often depend on tourist attraction processes linked to the use of smaller towns.

### Objectives and method

This contribution describes the results of the first year of the TECH-START PRIN 2017<sup>1</sup> research. Within the framework of the project, the specific objective of the activities documented here (in particular conducted by the Unife and CNR Research Units) is the development of a process to understand and reactivate the original role of microclimatic control of transitional spaces in historic buildings,

for the creation of smart environments (IATE 2018), by using KETs as tools for the investigation, management and value enhancement of knowledge and spaces. The ultimate goal is to define a relationship of interest between the potential inherent in such technologies and the historic architectural heritage (smart heritage).

The first phase of the research allowed the construction of a replicable methodological process for the definition of intervention strategies on the historical heritage, highlighting the current limitations of the system.

The research outputs aim to answer to the following questions:

- Is it possible to create automated environmental performance monitoring systems in historic buildings able to adapt themselves to user needs?
- Which are the design strategies to reactivate the environmental medi-



Il termine *Smart Sensors' System* ambisce a definire un quadro di riferimento per l'applicazione di sensori e/o reti di sensori nel CH, principalmente per il monitoraggio energetico-ambientale dell'edificio.

I sensori rappresentano una delle tecnologie fondamentali per abilitare il processo di digitalizzazione in atto e assumono particolare rilevanza per acquisire consapevolezza sull'ambiente circostante, fornendo un ausilio in termini di sicurezza e sorveglianza (Hunter *et al.*, 2010). Sebbene essi vengano spesso associati ad apparecchiature industriali, il cosiddetto IoT<sup>2</sup> non potrebbe esistere senza i sensori intelligenti, dispositivi che eseguono funzioni predefinite al rilevamento di input specifici, elaborando i dati prima della loro trasmissione (Posey, 2021).

Nell'ambito della ricerca il termine si riferisce alla raccolta dati con finalità di controllo e monitoraggio delle prestazioni energetico-ambientali dell'edificio, ponendo particolare attenzione nei confronti di tecnologie ritenute "ad alto potenziale" di replicabilità e pervasività, capaci di interagire in maniera responsiva con dispositivi IoT. Tutto questo nel rispetto dei principi cardine che regolano l'intervento su edifici storici: compatibilità, riconoscibilità, reversibilità e minimo intervento. L'aspetto più delicato nella progettazione di un sistema di monitoraggio in ambiente di pregio è proprio la scelta attenta e critica delle tecnologie. È dunque compito del progettista (un campo dove gli automatismi deterministici non riescono "ad arrivare") selezionare, grazie alla sua capacità critica, soluzioni adeguate, in grado di fornire le informazioni richieste senza compromettere la lettura originale degli ambienti in cui vengono installati (Lucchi *et al.*, 2019). Inoltre, se l'obiettivo è abilitare il ruolo di controllo microclimatico degli spazi liminali, la presenza di un sistema di sensori

non dovrà limitarsi alla sola campagna di monitoraggio, bensì sarà necessario prevederne la presenza continuativa per favorire lo scambio di dati con l'utente e/o le centraline domotiche di tali ambienti. In primis sarà dunque necessario approcciarsi al progetto del sistema di rilievo e raccolta dati che, in edifici pubblici di particolare rilevanza (musei, teatri, scuole, uffici) può divenire occasione di divulgazione di temi che sottendono la presenza di tali sistemi negli ambienti. La consapevolezza degli utenti contribuisce, infatti, al successo di tutto il processo.

I dati raccolti attraverso le azioni di *monitoring* sono poi utili per la calibrazione dei modelli digitali di simulazione e per la comprensione dei comportamenti energetico-ambientali passivi degli spazi di transizione, per costruire un modello di funzionamento potenzialmente replicabile. L'impiego di strumenti di valutazione statistica avanzata (*data analytics*) consente poi la messa a sistema di tale modello per l'estensione su scala urbana.

È in questo contesto che si inserisce il terzo termine, *eHeritage*, coniato per estendere il concetto di "digitalizzazione" al mondo dell'Heritage. Il prefisso "e" fa infatti riferimento alla comunicazione tramite reti telematiche, come avvenuto in molteplici altri settori<sup>3</sup>.

Con tale parola chiave sono state sistematizzate opportunità, tipologie e potenziale applicativo del paradigma IoT al CH, al fine di elaborare, governare e sistematizzare i dati raccolti. Questa fase ha permesso, da un lato, di confrontare i dati reali con quelli simulati, facendo previsioni sul comportamento degli spazi analizzati in diverse configurazioni e, dall'altra, di condurre analisi avanzate per la valutazione dell'impatto di diverse soluzioni su aree più estese della città<sup>4</sup>. La raccolta di

ating role of semi-exterior/transitional spaces in the CH?

- Are there data processing systems to expeditiously predict the impact of design choices when applied to a larger historic stock and not only to a single building?

In order to answer these questions and starting from the literature review concerning applications of KETs to CH, a methodological process was adopted, to highlight, for each field of such applications, limitations and aspects still to be developed.

In order to systematise the different pieces of each procedural step (Fig. 2), a key concept was linked to each of them, identified within the framework of this first phase of the research and corresponding to a different step of fine-tuning and refinement of this process.

#### Achievements

The key concepts identify a precise phase of the research activity, summarising the insights that made possible to continue the subsequent steps of this process, and collaborating in defining a shared glossary (the project's first deliverable). In addition, this first important result made possible to systematise the large amount of data and information on the topics covered by the PRIN research, areas that have been extensively investigated but which still lack of an overall view capable of answering to the questions mentioned above.

The following is a summary of the key concepts framed at the end of the first research phase.

The first concept, liminal spaces, is the object of investigation. A recurring element in historic buildings, it is representative of the complex energy-environmental interactions between proximity outdoor spaces, adjacent indoor spaces and the building envelope.

The decision to focus on transitional spaces seeks to overcome the traditional design approach that considers separately indoor space (calculation of consumption and indoor comfort) and outdoor space (a subject mostly of interest to urban planning). The proposed approach, on the other hand, studies their mutual interference and the effects they generate on greenhouse emissions and the causes of overheating in cities. This view assumes greater importance when working on the historical city, characterised more than the new one by the presence of porches, loggias, courtyards, as well as the so-called 'buffer' spaces, underground or attic spaces, which share the role of 'mediator' between internal and external environmental conditions. However, their

role has often been ignored or not understood. Thanks to the study of their functioning and the technological tools available today, it is now necessary to identify strategies to reactivate these 'ante litteram KETs' of the past.

In this regard, the second and third concepts, Smart Sensors' Systems and *eHeritage*, identify the technological tools (without technocratic drift) that can be used to trigger this reactivation process.

The term Smart Sensors' System aims to define a framework for the application of sensors and/or sensor networks in the CH, mainly for energy-environmental building monitoring purpose. Sensors represent one of the key technologies to enable the ongoing digitisation process, and are particularly important to gain awareness of the surrounding environment, providing an aid in terms of security and surveil-

questi dati (sia *raw* – i cosiddetti dati grezzi – sia elaborati) su piattaforme condivise può inoltre essere utile per la successiva messa a punto di processi di *governance* efficaci ed efficienti, anche in relazione ad interventi di conservazione preventiva e di *retrofit* energetico-ambientale del bene, potendo così contare anche sull'ambito del CH per mettere in campo strategie per contrastare il cambiamento climatico, garantendo al contempo standard elevati di comfort *indoor* dell'utenza finale.

In tale concetto rientrano anche tecniche di natura statistica, capaci di elaborare modelli predittivi molto accurati attraverso l'analisi di grandi moli di dati per mezzo di procedure di inferenza statistica (ad es. analisi di regressione, *conditional demand analysis* e reti neurali) (Catalina *et al.*, 2013). La loro applicazione permette di definire, grazie alle innumerevoli informazioni da fornire al calcolo, un "modello di funzionamento" della strategia adottata, prevedendone l'impatto se applicato alla grande scala. Tuttavia, i limiti emersi nell'applicazione di tali strumenti al CH sono molteplici; in primis il fatto che essi vengano perlopiù mutuati da altri settori (fisica e matematica, oltre all'ambito economico-valutativo). È dunque necessario un ulteriore adattamento al mondo delle costruzioni. La ricerca si sta occupando di individuare i sistemi più appropriati, a partire dall'uso di una funzione di regressione, per capire quali siano, fra i molteplici possibili, i dati di *input* e *output* da fornire/richiedere al calcolo per ottenere il risultato richiesto nel modo più semplice e praticabile possibile, tenendo conto del fatto che la quantità di informazioni necessarie (centinaia o migliaia di dati a seconda dell'accuratezza desiderata) per il funzionamento di tali sistemi non è sempre facilmente reperibile. Il secondo problema dipende dal fatto che questi strumenti sono molto

lance (Hunter *et al.*, 2010). Although they are often associated with industrial equipment, the so-called IoT<sup>2</sup> could not exist without smart sensors, devices that perform predefined functions upon detecting specific inputs, processing the data before transmitting them (Posey, 2021).

In the research context, the term refers to data collection with the aim of controlling and monitoring the energy-environmental performance of buildings, with particular focus on technologies considered to have 'high potential' for replicability and pervasiveness, capable of responsively interact with IoT devices. This approach respects the main principles governing interventions on historical buildings, precisely compatibility, recognisability, reversibility and minimum intervention. The most delicate aspect in the design of a monitoring system in historic

environments is the informed choice of technologies. It is up to the critical skills of the designer (a field where deterministic automatisms fail to 'enter') to select appropriate solutions capable of providing the required information without compromising the original reading of the spaces in which they are installed (Lucchi *et al.*, 2019).

In addition, if the objective is to enable the role of microclimatic control of the liminal spaces, the presence of a sensor system should not be limited to the monitoring campaign, but it will be necessary to provide for its continuous presence in order to facilitate the exchange of data with the user and/or the domotic control units of these environments. Therefore, the survey and data collection system will be the first project, which, in public buildings of particular relevance (museums, theatres, schools, offices) also becomes

sofisticati e di difficile applicazione per i "non addetti ai lavori". Tra gli scopi della ricerca vi è pertanto la messa a punto di un metodo il più possibile *user-friendly* per l'impiego di tale potenziale tecnologico, per l'ottenimento di dati altrimenti non reperibili utilizzando i metodi progettuali tradizionali. Questo passaggio sembra fondamentale proprio nell'ottica di superare la deriva tecnocratica di cui si parlava in apertura, assecondando le potenzialità di strumenti sofisticati e accurati ma senza perderne la possibilità di controllo e supervisione.

Un altro limite emerso in questa fase della ricerca riguarda la mancanza di strumenti predittivi/simulativi che mettano in relazione in un unico modello integrato lo spazio *indoor* con quello *outdoor*. Sarà quindi necessario sviluppare sistemi di calcolo ad alta interoperabilità, grazie alla continua evoluzione delle tecnologie che mettono in comunicazione strutture software differenti.

Il quarto e ultimo termine, *Heritage-plus*, rappresenta il fine ultimo delle attività costituenti il processo metodologico di ricerca. Con esso si intendono strumenti, metodi e soluzioni tecnologiche per l'attuazione di interventi di *retrofit* energetico-ambientale del patrimonio storico, comprendendo anche il risultato dell'interazione con gli utenti.

L'attività del secondo anno della ricerca ha riguardato un'intensa campagna di monitoraggio e successiva simulazione ambientale di un caso pilota (Palazzo Costabili a Ferrara) sul quale testare il diverso impatto di molteplici strategie di intervento, ipotizzate con l'obiettivo di creare un habitat sociale e ambientale di qualità (Figg. 3, 4). Grazie a tale raccolta e sistematizzazione di informazioni, sarà dunque possibile mettere a punto una matrice di strategie di valorizzazione da calibrare poi –

an important opportunity for the dissemination of concepts underlying the presence of such systems. Indeed, user awareness contributes to the success of the whole process.

The data collected through monitoring actions are then useful to calibrate digital simulation models and to understand the passive energy-environmental behaviour of transition spaces in order to build a potentially replicable functioning model.

The use of advanced statistical evaluation tools (data analytics) then allows the systemisation of this model for its application in the urban scale. The third term, *eHeritage*, stands within in this context. It has been defined within the PRIN research to extend the concept of "digitisation" to the world of Heritage. Indeed, the prefix 'e' refers to communication via telematic networks, as occurred in many other sectors<sup>3</sup>.

This keyword has been used to systematise opportunities, types, and application potential of the IoT paradigm within CH, to process, govern and systematise the collected data. Therefore, this phase allowed, on the one hand, to compare the real data with the simulated data, making predictions on the behaviour of the analysed spaces in different configurations; and, on the other hand, to conduct advanced analyses for the evaluation of the impact of different solutions on a more extended area of the city<sup>4</sup>.

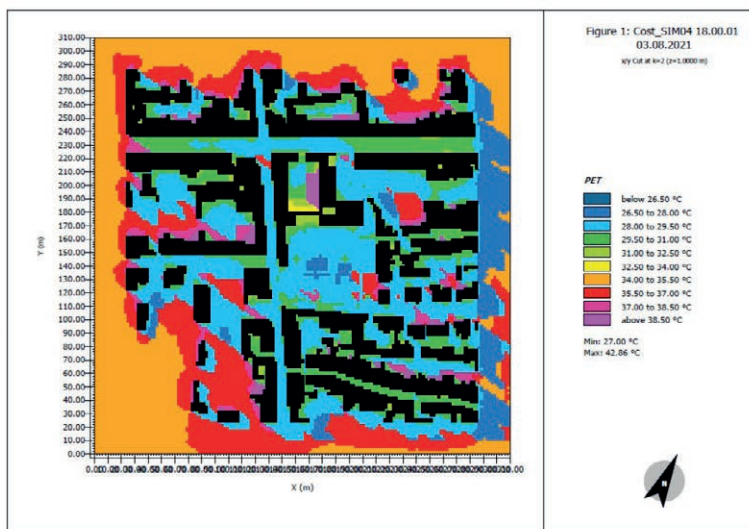
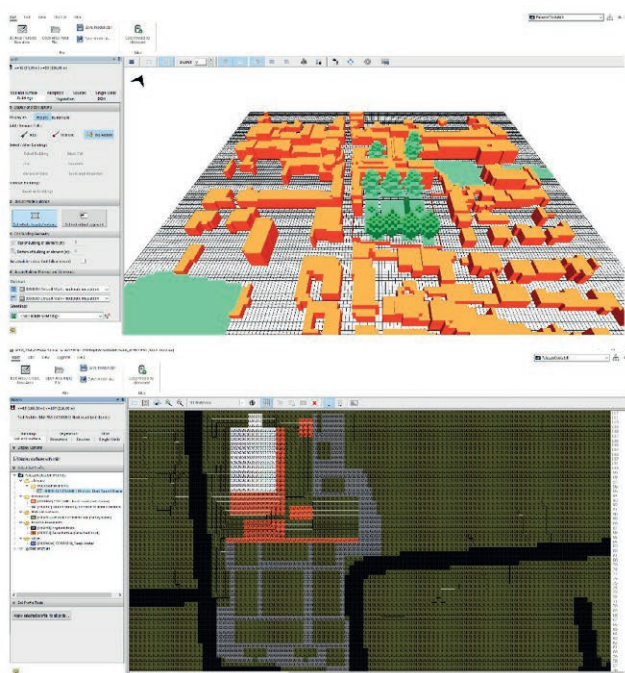
The collection of these data (both raw and processed data) on shared platforms can also be useful for the subsequent development of effective and efficient governance processes, also in relation to preventive conservation and the building's energy-environmental retrofit, being able to also rely on CH to deploy strategies to fight





04| La tabella mostra in riga le strategie progettuali simulate come possibile modifica dello stato di fatto e in colonna le informazioni fornite al modello come dati di input e il risultato ottenuto per il PET per ciascuna strategia simulata. La raccolta di questi dati permetterà la successiva elaborazione della matrice di intervento

The table shows in a row the simulated design strategies as a possible change to the status quo and in the columns the information provided to the model as input data and the result obtained for the PET for each simulated strategy. The collection of these data will allow the subsequent elaboration of the intervention matrix



grazie all'intervento consapevole del progettista – *case-by-case*, attraverso il ruolo di medium abilitante delle KETs coinvolte. All'interno di tale matrice confluiranno, oltre ai risultati ottenuti grazie al caso pilota, dati e informazioni provenienti da una serie di *best-practices* relative a campagne di rilevamento e monitoraggio dati, oltre che modellazione/simulazione *ex-ante* ed *ex-post* di interventi attuati relativi all'applicazione di KETs nel progetto di recupero e riqualificazione di edifici storici. La creazione di questa matrice è volta all'impostazione del processo metodologico per la comprensione e riattivazione del ruolo

originale di controllo microclimatico degli spazi di transizione negli edifici storici per la creazione di *smart environment*.

### Conclusioni e sviluppi futuri della ricerca

Nell'era della tecnologia dei dati, sfruttare questi ultimi come fonte di conoscenza è senz'altro ineludibile. Per quanto però le applicazioni IoT siano già molto diffuse, l'impressione è quella di trovarsi ancora nelle prime fasi di sviluppo di tecnologie destinate a capillarizzare l'interattività tra dispositivi e utenti, in una realtà che pare ine-

climate change, while ensuring high standards of indoor end-user comfort. This concept also includes statistical techniques able to define very accurate predictive models through the analysis of large amounts of data, using statistical inference procedures (e.g. regression analysis, conditional demand analysis, and neural networks) (Catalina *et al.*, 2013). Their application allows to define, as a result of the countless information to be provided to the calculation, an "operating model" of the adopted strategy, predicting its impact, if applied on a large scale. However, the limitations that emerged in the application of these tools to the CH mostly concern the fact that they are usually borrowed from other sectors (physics and mathematics, in addition to the economic-evaluation field). It is, therefore, necessary to further adapt them to the world of con-

struction. The research is working on identifying the most appropriate systems, starting from the use of a regression function, to understand, among the many options, the input and output data to be supplied to/requested from the calculation to obtain the necessary result easily and feasibly, taking into account that the quantity of information needed (hundreds or thousands of data depending on the desired accuracy) for the operation of such systems is not always easily available. The second problem depends on the fact that these tools are highly sophisticated and difficult to apply for "non-expert" users. So, among the purposes of the research, there is the intention to develop a method that is as user-friendly as possible for using this technological potential, obtaining data that would otherwise not be available with traditional design methods.

This step seems essential precisely with a view to overcoming the technocratic drift mentioned at the beginning, indulging the potential of sophisticated and accurate tools but without losing the possibility of control and supervision.

Another limitation that emerged in this phase of the research concerns the lack of predictive/simulation tools relating indoor and outdoor spaces in a single integrated model. Therefore, it will be necessary to develop highly interoperable computing systems thanks to the continuous evolution of technologies that connect different software structures.

The fourth and final term, Heritage-plus, represents the ultimate goal of the activities, making up the methodological research process. It refers to tools, methods, and technological solutions for the implementation of energy-

environmental retrofit interventions of the historic asset, also including the result of user interaction.

The activity of the second year of the research involved an intensive monitoring campaign and subsequent environmental simulation of a pilot case (Palazzo Costabili in Ferrara) on which to test the different impact of multiple intervention strategies, hypothesised with the aim of creating a quality social and environmental habitat (Figs. 3, 4).

Thanks to this collection and systematisation of information, it will, therefore, be possible to develop a matrix of value enhancing strategies to be then calibrated – thanks to the conscious intervention of the designer – *case-by-case*, through the enabling medium role of the KETs involved. Within this matrix, in addition to the results obtained through the pilot case, data



vitabilmente destinata alla connessione tra mondo reale e mondo digitale. Nell'immediato futuro, l'IoT stabilirà connessioni sempre più solide e frequenti con altre tecnologie emergenti, come Intelligenza Artificiale e tecniche di *Machine Learning*, che consentono di effettuare analisi incredibilmente dettagliate, con il vantaggio di implementare continuamente la conoscenza all'interno di una molteplicità di domini.

Gran parte di tali tecnologie però, nonostante costi sempre più accessibili, risultano ancora scarsamente applicate per finalità legate all'efficientamento energetico-ambientale in edifici storici. Grazie alle attività sinora svolte è stato invece possibile mettere a sistema concetti afferenti a domini indipendenti, individuando strumenti e metodi per l'utilizzo delle KETs nel progetto di recupero del tessuto storico al fine di ridurre le emissioni di sostanze climalteranti e aumentare il comfort degli occupanti.

Resta ugualmente prioritario definire in modo ancor più specifico quali siano le tipologie e gli usi più comuni di tali tecnologie nell'Heritage, indagando le possibili e futuribili implicazioni del concetto di *Smart Environment*, per affiancare, senza prevaricare, all'inderogabile ruolo di governance critica del progettista, strumenti scientifici in grado di supportarlo nella misura e previsione dei possibili impatti delle soluzioni ipotizzate alle diverse scale. L'uso delle nuove tecnologie deve dunque essere inteso come possibilità inedita di ottenere risultati prima difficilmente conseguibili, passando da valutazioni qualitative a informazioni quantitative.

Il contributo dato dalla ricerca propone, quindi, di offrire nuove possibilità al progettista, dandogli però la responsabilità della scelta delle KETs in funzione delle finalità dell'intervento, per creare un nuovo habitat sociale e ambientale di qualità dove re-

and information from a series of best-practices relating to data collection and monitoring campaigns as well as ex-ante and ex-post modelling/simulation of implemented interventions relating to the application of KETs in the retrofit of historic buildings, will converge.

The creation of this matrix is aimed at setting up the methodological process for understanding and reactivating the original role of microclimatic control of transition spaces in historical buildings for the creation of smart environments.

#### Conclusions and future research developments

In the age of data technology, exploiting data as a source of knowledge is undoubtedly an asset. However, although IoT applications are already widespread, the impression is that we

are still in the early development stages of a technology intended to create capillary interactivity between devices and users, in a reality that seems inevitably destined to connect real and digital worlds.

In the near future, the IoT will establish increasingly strong and frequent connections with other emerging technologies, such as Artificial Intelligence and Machine Learning techniques, which enable extremely detailed analysis, with the advantage of continuously implementing knowledge within a multiplicity of domains.

However, most of these technologies, despite their increasingly affordable costs, are scarcely applied for energy-environmental strategies in historical buildings. Nevertheless, the systematisation of concepts pertaining to independent domains has been possible thanks to the activities carried out,

altà fisica e realtà virtuale coesistono in maniera critica, sotto la guida di un pensiero progettuale capace di gestire una pluralità di discipline ed esigenze (Paris, 2021) e dove l'ambiente interno sia strettamente collegato a quello esterno.

#### ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Il contributo deriva da una riflessione comune delle autrici. Nello specifico: V. Frighi si è occupata della concettualizzazione dei risultati e della stesura iniziale del contributo, M. Calzolari ha curato gli aspetti metodologici e la supervisione generale; a V. Modugno sono da attribuirsi le conclusioni e la stesura finale.

Le autrici afferiscono alla UO Unife insieme a P. Davoli (responsabile UO), F. Conato, B. Caglioti; Dip. FST Unife, D. Vincenzi, G. Mangherini; IUAV, L. Gabrielli, A. Ruggeri. Si ringrazia ISPC-CNR Roma per la collaborazione alle attività.

#### NOTES

<sup>1</sup> PRIN 2017 "TECH START key enabling TECHNOlogies and Smart environment in the Age of gReen economy. Convergent innovations in the open space/building system for climaTe mitigation", P.I. M. Losasso, UO: CNR Roma, PoliTo, UniFe, UniNa, Roma Tre, Roma La Sapienza.

<sup>2</sup> *L'Internet of Things* si basa sull'idea di oggetti "intelligenti" tra loro interconnessi attraverso la rete Internet in modo da scambiare le informazioni possedute, raccolte e/o elaborate, e assume un significato pieno proprio nella rete che interconnette questi oggetti, anche di uso quotidiano (PoliMi, Osservatori.net).

<sup>3</sup> È il caso, ad esempio, del termine *eHealth* che in ambito biomedicale indica il complesso delle risorse, soluzioni e tecnologie informatiche di rete, applicate – in maniera pervasiva e diffusa – alla salute e al settore della sanità in generale.

<sup>4</sup> L'analisi ed elaborazione dei dati è ora nella sua fase conclusiva.

identifying tools and methods for the use of KETs in the renovation project of the historical heritage in order to reduce greenhouse emissions and increase occupant comfort.

Defining even more specifically the most common types and uses of these technologies in Heritage remains a priority, investigating the possible and futuristic implications of the Smart Environment concept in order to flank, without overriding, the designer's inescapable role of critical governance with scientific tools that can support the process in measuring and forecasting the possible impacts of the hypothesised solutions at different scales.

Therefore, use of new technologies must be understood as unprecedented possibilities to obtain results that were previously difficult to achieve, moving from qualitative assessments to quantitative information.

Hence, the contribution made by the research proposes to offer new possibilities to the designer, while giving him the responsibility of choosing the KETs according to the aims of the intervention, in order to create a new social and environmental habitat of quality, where physical and virtual reality coexist in a critical manner, under the guidance of a design way of thinking capable of managing several disciplines and needs (Paris, 2021), and where the indoor environment is closely connected to the outdoor one.

#### ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT

The contribution derives from a common reflection of the authors. Specifically: V. Frighi dealt with the conceptualisation of the results and the initial draft of the paper; M. Calzolari took care of the methodological aspects

## REFERENCES

- Blumberga, A., Freimanis, R., Muizniece, I., Spalvins, K. and Blumberga, D., (2019), “Trilemma of historic buildings: Smart district heating systems, bioeconomy and energy efficiency”, *Energy*, Vol. 186, p. 115741.
- Blumberga, A., Vanaga, R., Freimanis, R., Blumberga, D., Antu, J., Krastin, A.U., Jankovskis, I., Bondars, E., and Treija, S. (2020), “Transition from traditional historic urban block to positive energy block”, *Energy*, Vol. 202, p. 117485.
- Camuffo, D. (2019), *Microclimate for Cultural Heritage Measurement, Risk Assessment, Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments - 3rd Edition*, Elsevier Science.
- Catalina, T., Iordache, V. and Caracaleanu, B. (2013), “Multiple regression model for fast prediction of the heating energy demand”, *Energy and Buildings*, Vol. 57, pp. 302-312.
- COM (2009), “Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU”, available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0512:FIN:EN:PDF> (accessed on 08/2022).
- Dawn, S. and Biswas, P. (2019), “Technologies and Methods for 3D Reconstruction in Archaeology” In: Thampi, S. et al. (Eds) *Advances in Signal Processing and Intelligent Recognition Systems SIRS 2018*. Communications in Computer and Information Science, Vol 968. Springer, Singapore.
- IATE – European Union terminology (2018), “Smart Environment”, available at: <https://iate.europa.eu/entry/result/3579068/en> (accessed on 02/09/2022).
- Galatioto, A., Ciulla, G. and Ricciu, R. (2017), “An overview of energy retrofit actions feasibility on Italian historical buildings” *Energy*, Vol. 137, n. 2017, pp. 991-1000.
- Hajjaji, Y., Boulila, W., Farah, I.R., Romdhani, I. and Hussain, A. (2021), “Big data and IoT-based applications in smart environments: A systematic review”, *Computer Science Review*, Vol. 39.
- Hansen, T.K., Bjarløv, S.P., Peuhkuri, R.H. and Harrestrup, M. (2018), “Long term in situ measurements of hygrothermal conditions at critical points in four cases of internally insulated historic solid masonry walls”, *Energy and Buildings*, Vol. 172, pp. 235-248.
- Huang, W., Xiang, H. and Li, S. (2019), “The application of augmented reality and unity 3D in interaction with intangible cultural heritage”, *Evolutionary Intelligence*, available at: <https://doi.org/10.1007/s12065-019-00314-6> (accessed on 04/08/2022).
- Hunter, G.W., Stetter, J.R., Hesketh, P.J. and Liu, C. (2010), “Smart Sensor Systems”, *The Electrochemical Society Interface*, pp. 29-34, available at: [https://www.electrochem.org/dl/interface/wtr/wtr10/wtr10\\_p029-034.pdf](https://www.electrochem.org/dl/interface/wtr/wtr10/wtr10_p029-034.pdf) (accessed on 04/01/2022).
- Lucchi, E., Dias Pereira, L., Adreotti, A., Malaguti, R., Cennamo, D., Calzolari, M. and Frighi, V. (2019), “Development of a Compatible, Low Cost and High Accurate Conservation Remote Sensing Technology for the Hygrothermal Assessment of Historic Walls”, *Electronics* 2019, n. 8, p. 643.
- Mussinelli, E., Schiaffonati, F. and Torricelli, M.C. (2022), “Per un cambiamento necessario”, *TECHNE – Journal of Technology of Architecture*, Vol. 23, Firenze University Press, Firenze, pp. 15-20.
- Paris, S. (2021), “Progetto e tecnologie, tra scienze e nuovo umanesimo. Innovazioni nella formazione e ruolo dei progettisti”, *TECHNE – Journal of Technology of Architecture*, Vol. 21, Firenze University Press, Firenze, pp. 124-132.
- Politecnico di Milano, “INTERNET of THINGS (IoT) Significato, esempi, ambiti applicativi e prospettive di mercato in Italia”, available at: [https://blog.osservatori.net/it\\_it/cos-e-internet-of-things](https://blog.osservatori.net/it_it/cos-e-internet-of-things) (accessed on 31/08/2022).
- Posey B. (2021), “Smart sensor”, in *Internet of things agenda on Tech Target*, available at: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-sensor> (accessed on 04/01/2022).
- UNESCO, “2019-2020 World Heritage map”, available at: <http://whc.unesco.org/en/wallmap/> (accessed on 31/08/2022).

and the general supervision, while the conclusions and the final draft are the work of V. Modugno.

The authors belong to the Unife RU together with DA: P. Davoli (RU scientific PI), F. Conato, B. Caglioti; Dept. FST Unife: D. Vincenzi, G. Mangherini; IUAV: L. Gabrielli, A. Ruggeri. The authors thank ISPC-CNR Rome for the collaboration in the activities.

## NOTES

<sup>1</sup> PRIN 2017 “TECH START key enabling TECHNOlogies and Smart environment in the Age of gReen economy. Convergent innovations in the open space/building system for climate mitigation”, P.I. M. Losasso, UO: CNR Roma, PoliTo, UniFe, UniNa, Roma Tre, Roma La Sapienza.

<sup>2</sup> The Internet of Things is based on the idea of “intelligent” interconnected objects, through the Web, to exchange

possessed, collected and/or processed information, taking on full meaning precisely in the network that interconnects these objects, also for daily use (PoliMi, Osservatori.net).

<sup>3</sup> This is the case, for example, of the term eHealth, which in the biomedical field indicates the whole network of resources, solutions, and information technologies, applied – in a pervasive manner – to health and the healthcare sector in general.

<sup>4</sup> Analysis and processing of the data is now in its final phase.