

EXPLORING SUSTAINABILITY AND WELL-BEING IN THE BUILDING HABITAT: the *green* digital experience of beXLab

Abstract

The sustainability of the anthropic environment needs a conscious design based on scientific approach and oriented towards green and adaptive solutions. Also a deeper awareness about the complexity and interrelation of human and cultural aspects to ensure *well-being, proactive behavior and consciousness*: the management and operation of the building, the rational use of energy resources, the dynamic use of the space inside and outside the building. The paper shares the experience of the international project Med-EcoSuRe, with a focus on the integrated approach based on the *Living Lab / Digital Twin* experimented in the pilot project of Santa Verdiana. This leads to the development of broader and more systemic, real and dynamic cognitive framework, where the data on the building's performance interact with the data on the internal environment, with the perception of the inhabitant and with the parameters of well-being. The challenge is very ambitious and aims to experience a synergy between an experiential approach and digital transition, as a driver of the process of sustainable regeneration of the built, ecological, inclusive and healthy environment.

Keywords: *Living Lab, Digital Twin, well-being, energy efficiency, sustainable urban habitat.*

The building habitat: introduction and background

The human being, without his own habitat, has transformed the whole world into anthropic environment, through design and technique, as an artificially recomposed nature and placed at his service. Agricultural areas have been urbanized and anthropized natural habitats. The anthropogenic activities, in this geological time of the Anthropocene, have profoundly altered the metabolism of the biosphere super-organism and the main symptoms are illness and discomfort, are global warming and the loss of biodiversity, which is the main indicator of the health of ecosystems. As Federico Butera points out very well in the introduction of his book *Facing complexity to govern the ecological transition*, everything is complicated by the fact that the two phenomena are connected to each other. To repair the damage we must first be clear that the environmental problems we face are systemic: a mixture of physical, chemical, biological and social changes that interact and reinforce each other. If we continue to think that we can tackle the various problems without connecting them, there is no hope of

success. We need to combine the pessimism of intelligence with the optimism of the will, where the pessimism of intelligence derives from the knowledge of the complexity of the problem and the optimism of the will is the answer, that is, roll up your sleeves and find solutions. The solution that is pervading many cities is to reinvent the built environment through nature based solutions and green infrastructure, aiming to re-naturalize cities (*urban jungle effect*) and to accelerate the ecological transition through green architectures, reducing energy consumption and the effects of pollution, consciously managing natural resources and increasing biodiversity. The dominant idea, however, is to think that the integration of simple hanging gardens and climbing plants can restore a new balance and a new relationship with nature. The challenge should be more ambitious, addressing the processes of urban transformation in a systemic way, as claimed by the architect and ecologist Ken Yeang. According to the bio-filic thinking (*Biomimicry Thinking process*), we need to deepen the knowledge of the systemic relationships between man-nature and addressing the criticalities of the anthropic habitat by applying creative approaches of biophysics and biomimicry projects, developing innovative solutions to increase the levels of sustainability and improve the well-being of people. We need a change of pace starting from the cognitive approach: we have the opportunity to focus attention on the eco-logical quality of the built environment, further expanding the concept of a natural space for living. To the necessary reduction of emissions, reduction of energy consumption, to the design of smart buildings, we need to integrate a new approach to *well-being*, the ability to make us live better. It is necessary to move from the functional concept of 'building' to the cultural one of 'living', thus placing the figure of the 'inhabitant' at the center of the analysis, understood in his corporeality, in his behavior models, in his eco-logical awareness in the heart of its social interaction. This allows us to overcome the need/performance approach, focusing on a human centered and sustainable building design, fostering the real immersive and perceptive experience of well-being of the inhabitant in an anthropized habitat, taking advantage from his adaptive capacity of interaction with the context natural. An inhabitant who takes care of his habitat because it is the amniotic fluid in which he is

immersed and in turn guarantees him nourishment, health and well-being. This means not only restarting, in a healthy and virtuous way, the regeneration processes of our cities and our buildings, but above all rediscovering the beauty of our architectural heritage, the sensitivity of a culture in which architecture becomes art to live in harmony with nature. Universities can play a strategic role in this challenge, both as activators of research and technological experimentation and as accelerators of a new cognitive process, able to connect all the subjects involved in the transformation processes of the built environment. Offering new tools for analysis it is possible to explore innovative methodologies to reconnect the different areas of knowledge in a systemic way. With the international project Med-EcoSuRe - *Mediterranean University as Catalyst for Eco-Sustainable Renovation* another piece is added, aiming to transform the building itself into a demonstrator of technological innovation, a living lab (well - living - lab) where you can gain direct experience of an ecological process, shortening the gap between the designed / simulated models and their actual application. The Med-EcoSuRe project will apply a collaborative and participatory Mediterranean cross-border approach, bringing together researchers, building managers, companies, public organizations and students. It offers a model for the definition of emerging ideas, the configuration of innovative scenarios and the experimentation of redevelopment interventions economically, ecologically and socially advantageous energy within university buildings, with the prospect of extending the results in the long term to the entire public buildings sector.

Sustainability and Wellbeing

Shakespeare writes: "What's in a name?" The answer is, a lot. Words, their use and their connections, are important. Words evolve in languages in subtle ways and the function they perform have a major impact on thinking and actions. The meaning of "wellness" and "well-being" apparently seem interchangeable. But a difference exists although the effects are synergistic: wellness refers to concepts more strictly of a physical-mental nature, the state of health; wellbeing refers to strictly physical-environmental concepts, the well-being in space and place. The concept of wellbeing is broad and complex and requires integrated interdisciplinary methodological approaches. The interdisciplinary and integrated

methodological approach that has been developed constitutes the logical-practical-operational structure of the Well-Living-Lab. To define and quantify the concept of adaptive wellbeing, linked to the dynamic and continuous transformation of the building-plant-user system, it was necessary to use a systemic approach. Today the operation of any system is an integrated process and each separation is counterproductive both from a physical, energetic and economic point of view. Sustainability bases on this awareness of the impossibility of separating the systems. Therefore, the organization scheme of a system (real and living) is always a network/grid scheme.

The *first feature* of the systemic approach is the shift from the parts to the whole. Real systems are integrated wholes, open thermodynamic systems that exchange mass and energy, whose properties cannot be traced back to those of the parts that compose them. A *second feature* is the ability to shift attention between the various levels of the system. There are systems embedded within other systems and, at each level, the observed phenomena show properties that do not exist at lower levels. In general, the properties of parts are not absolute intrinsic properties, but can only be understood in a broader and more interconnected context. A *third characteristic* of the systemic approach is the network of relationships. Buildings, systems, users, the environment as a space and place, are networks of relationships inserted within larger networks. The fundamental characteristic of a network is that it produces itself.

We speak of *autopoiesis* as a general organization scheme, common to all living systems, regardless of the nature of their components. In this network, each component has the function of participating in the production or transformation of other components in the network. It follows that the network is created by its components and produces them in turn. Since all the components of an autopoietic network are produced by other components in the network, the entire system is organizationally closed, although it is open to the flow of matter and energy. Living systems are closed systems, because it is not the environment to impose the order and behavior, but established by the roles of system itself.

Living systems are autonomous and capable of self-organizing with reciprocal control relationships between various components. They are not closed, but open thermodynamic systems as they exchange matter, energy and information with their contours, the environment that surrounds them. However, the interaction with the environment does not determine the organization of the system. Prigogine, describing the structure of a living system, highlights the opening of this structure to the flow of energy and matter. A living system is therefore organizationally closed, but structurally open. Living systems are dissipative structures. Their internal stability depends on the flow of energy and information through them and which is partly dissipated.

Systems evolve towards a steady state in which the generation of entropy is the minimum possible. They move back to equilibrium and the flow processes can be described by means of linear equations.

Away from equilibrium, the fluctuations are stronger, the production of entropy increases and the flow processes of the system interconnected by means of multiple feedback loops and the corresponding mathematical equations are not linear. Nonlinear equations have more than one solution and in the nonlinear field the initial conditions are no longer "forgotten". In other words, the behavior of the system, when it takes one direction, among the many possible ones, depends on the previous history of the system and the dissipative structures far from equilibrium no longer follow any universal law, but only those of that particular system.

According to Prigogine, dissipative structures are islands with decreasing entropy (with increasing neg-entropy / information). In other words, they maintain or even increase their order at the expense of a greater disorder of their environment.

Redesigning space, places, our consumption habits, from a systemic perspective means using the scientific knowledge and digital technological development that we have available today to:

- reduce and / or optimize the flow of matter and energy, therefore of information from one system to another;
- plan and organize an incessant metabolization of waste (output), with a view to transforming them into resources (inputs);
- consider and evaluate quantitatively and qualitatively all the constituent parts of an ecosystem and their interrelationships;
- co-evolve the various actors in all phases of development of the system and / or subsystems of a product / service;
- encourage local development, cultural dialogue between different sectors and virtuous collaboration between production processes, natural systems and communities.

The systemic vision leads to the systemic production of energy and therefore to energy sustainability, with the transition from a "community of consumption" to an "energy community" with which producers and consumers (of resources and energy) share production processes on small scale distributed throughout the territory. In this context, wellbeing can be defined and quantified, because only starting from energy environmental sustainability, it is possible to trigger low-entropy processes with maximum information flow and therefore wellbeing/well-to-being. In particular, through thermodynamics we define energy sustainability as a complex process linked to the natural evolution of processes. Therefore, true sustainability can only be achieved if the total irreversible entropy flow, due to human

activities, is less than the neg-entropy flow from the sun. Any form of use and transformation of energy and even renewable energy always produces an irreversible entropic flow. The latter needs to be reduced as much as possible to achieve sustainability, and must always be lower than the flux due to the degradation of solar energy, when absorbed by the earth. The integrated methodological approach based on this concept. Reinforcing the integration between architecture / technology nature, the Well-Living-Lab allows to design *green and healthy* advanced and low tech solutions quantifying the benefits related to the use of solar energy (thermal and light component), the main renewable energy source, necessary for life and capable of guaranteeing the well-to-being of people and living systems, as well as the quality of 'live. Therefore, through the WLL, the concept of well-being/well-to-being has been connected to the IEQ, the Liveable City and Human Health, as well as related to the disciplines of environmental psychology, neuroscience, digital technologies (DT, IOT, BigData, ICT), in order to overcome the need/performance logic in favor of a human centered approach and sustainable building design. It focuses on the real immersive and perceptive experience of well-being of the inhabitant in a human habitat, his adaptive capacity and interaction with the context, both in continuous spatial and temporal transformation. The inhabitant is considered not only as a end-user, but also he is a biological modifier/activator of space, paths, using light, managing of plants and regulation systems. Only through the WLL experience, we can experience and trace new paths for open and dynamic competitive spaces that involve environmental economics, energy, environmental technical physics, technology, which take into account digital interoperability and crucial measures for the protection and protection of the health and safety of both people and of the environment. The multi-level dimension of sustainability of the anthropic environment is a consolidated idea at international level. The scientific approach contributes to foster the environmental conscious design, through green and adaptive solutions. The human and cultural aspects are focused on the increasing the end user knowledge, the awareness about complexity and interrelated issues, such as the management and operation of the building, as well as the rational use of energy resources, the dynamic use of the space inside and outside the building. In this way is possible to ensure well-being, stimulating quality of experience, proactive behavior and consciousness. We can related the concept of sustainability to two interpretations:

- the first is connected to energy and environmental sustainability and therefore to the definition provided by the Brundtland Report [1987, WCED], in which the structure of the building-plant integrated system contributes to the performance of its intrinsic activities and to the protection and conservation of resources and built

heritage for future generations with minimum energy consumption, or its qualitative use. The social aspects concern training, dissemination and information actions towards society, users and staff with a view to the rational use of energy, the reduction of the use of resources and consumption and the effects of global warming;

- the second is closely linked to the activities of the building (especially if public / social), to management and development models aimed at multidisciplinary actions and interventions integrated with sustainable forms and methods with an important social impact.

Green sustainable design bases on two main activities: direct analyzes (site characteristics, building data, envelope performance, etc) and data elaborations. The post-processing and broader elaborations, adopting dynamic simulation tools, show the possibility of using transient information (space-time) useful during the construction of Management and Facility Reports. Also BIM and Digital-Twin aim at rethinking, redesigning and reconstructing the physical space for planned energy-environmental management and maintenance, taking into account its plasticity as a place and dynamism as it is closely connected to experiences and the conscious use of users. Over all, it is possible to define sustainability through its own fundamental principles as culture, society, the economy and the environment. It is not possible to understand and implement the sustainability, as complex concept applied to the building-plant system, outside of a systemic vision, but only in the sense of a network, a resilient and dynamic network of spatial and temporal connection, involving different operators and experts in the field and which therefore requires multidisciplinary and interdisciplinary approach. In order to read, monitor and quantify the thermodynamic value of sustainability, we propose a methodological approach responding to the physical, thermophysical and luminous functions of the building and its surrounding conditions. Also useful to how to balance the best practices of data and information collection, how to continuously and remotely monitor environmental parameters, how to implement different methods of use and consider inflows. In this way, it is possible to base the green sustainable design on the direct analysis and elaborations of real data. The use of dynamic simulation tools allows the modeling of the possibility of using transient information (space-time) for the construction of Management Reports and Facility Reports. BIM and Digital-Twin also aim at rethinking, redesigning and reconstructing the physical space for planned energy-environmental management and maintenance, taking into account its plasticity as a place and dynamism as it is closely connected to experiences and the conscious use of users.

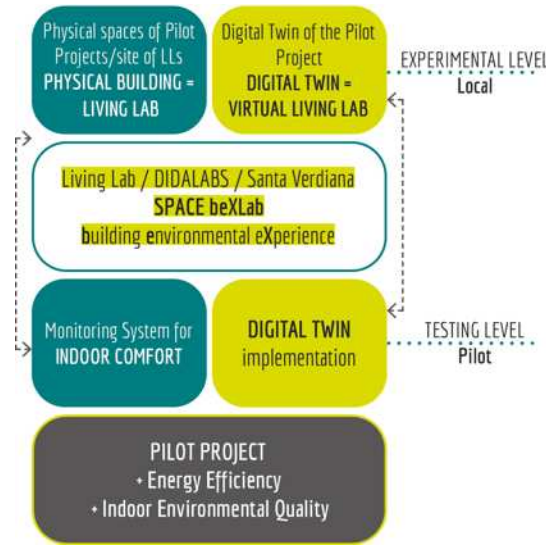


Fig. 1 - The Framework of beXLab - building environmental experience: the building (physical space), the Digital Twin (predictive tool), the (experiential) monitoring system

The innovate value of the Well Living lab for co-design

In the historic center of Florence, a UNESCO city, in Santa Croce district, the WLL beXLab *building environmental experience* was physically set up in the School of Architecture located in the historic complex of Santa Verdiana. The building, realized as convent (1395), it was converted into women's prison (1865) and transformed into an educational center in 1986. Over the years, this changing use has required a series of radical restoration and functional and many interventions to readapt the space, in order to meet the needs of the user. The idea was to organize *beXLab as an experiential research space*, testing innovative solutions through the active involvement of local stakeholders, researchers, teachers, companies, energy managers and the students themselves. It combines two rooms, one study room on the ground floor and classroom/laboratory on the first floor, reproducing both the university space (by orientation, urban context, building typology, level of use). The *beXLab space* represents the most pressing environmental and social challenges, which require the renewal, regeneration and efficiency of the existing school building heritage, in a climatic context and cultural dense of complexity and contamination like that of the Mediterranean.

The experience of pilot project is helpful to investigate all the aspect of regeneration process, to analyze many cultural and technological barriers, but above all to reduce the obstacles linked to human factors. The collaborative dynamics or communication gaps can weaken or make ineffective the good coordination between the different decision makers and stakeholders involved in the restructuring process or hindering the active participation of end users. The Living Lab approach serves to overcome these problems, offering a unique opportunity to stimulate the co-design process by creating participatory open innovation in real life contexts. Following the aim to become a driver of the sustainable regeneration process of the built, inclusive and healthy environment, the beXLab bases on three essential elements, in order to strengthen the synergy between the experiential approach and digital transition:

- the building (physical)
- the Digital Twin (predictive)
- the (experiential) monitoring system that interfaces with the real site and the virtual model.

The *physical space* of the Lab is intended as a real place where innovative building technologies and processes for retrofit and building renovation are experimented, supported by the interdisciplinary team and the proactive involvement of stakeholders (from local companies to end users). The *Digital Twin* is developing in a BIM environment starting from the geometric survey data, implemented in 3D, 4D (time), 5D (costs), 6D (structure management), 7D (sustainability), for communication and interaction with stakeholders (academics, public administration technicians, professionals, economic operators and end users) involved in the definition and development of innovative strategies for the energy requalification of buildings. The *Digital Twin*, rich in semantics, is acquiring, collecting and modeling the data on the physical and technical assets of the pilot building/Living Lab. It represents the basis for evaluating the actual performance of the building, but also for co-design and configuration of innovative scenarios, allowing simulations of future energy and environmental behaviors.

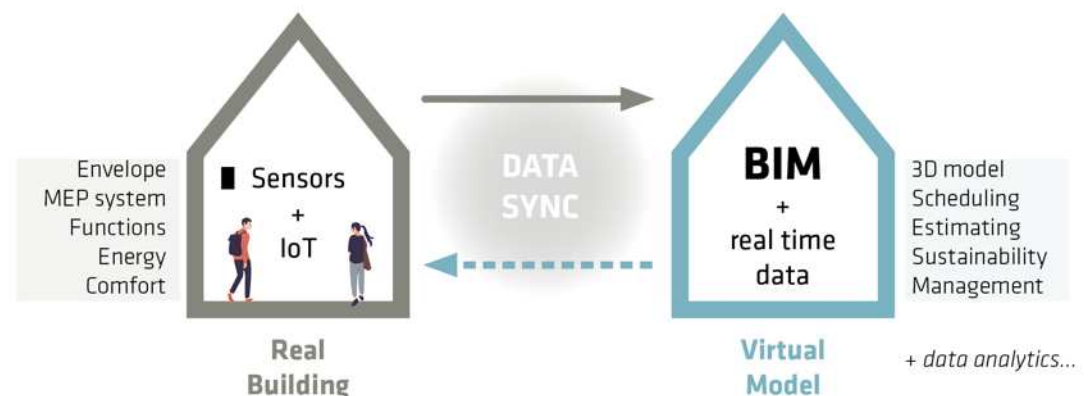


Fig. 2 - The concept of Augmented Digital Twin

The Digital Twin, in addition to the geometric and physical information, contains data on the energy performance collected during the energy audit and *monitoring process*. The geometric and informative level of development / detail is LOD C (Level of detail corresponding to "definite object", according to UNI 11337-4), level of development necessary for the transfer of information for energy analysis and energy simulations as BEM (Building Energy Modeling). Thanks to interoperability (gbxml format), simulations will be carried out in dynamic regime using dedicated software (eg TRNSYS, Design Builder and EnergyPlus).

Supported by the Digital Twin, the pilot's objectives can be summarized as follows:

- assess that the building operates according to quality standards in terms of sustainability (eg energy performance) and comfort (eg quality of the internal environments);
- to highlight the criticalities and gaps and plan the modification of operating systems (physical and technical assets, etc.) but also behaviors in order to improve their performance;
- to create new "*what if*" scenarios to experiment different technological mix and material solutions, evaluating how the different economic, environmental and social characteristics influence the energy performance of the public building.

The *monitoring system* composed of IoT sensors was developed and installed in the Living Lab, connecting the physical space to the virtual one. It allows to collect environmental data in real time, both *quantitative* (such as occupancy levels, lighting, temperature, humidity, air quality, solar radiation, thermal flows) and *qualitative* ones (feedback from end users). The availability of real-time data visualized on the Digital Twin, allows expanding the cognitive framework on the actual behavior and functioning of the building organism and its ability to adapt to different external environmental stimuli, offering an agile and interactive tool to face intelligent and efficient management and maintenance of the building.

Open challenge and future works

The international interdisciplinary group of Med-EcoSure project adopted the Albert Einstein's famous statement "*you cannot solve a problem with the same mentality that generated it*". They aimed at experimenting a new integrated and systemic approach, linking building | Digital Twin | end user, offering the great opportunity to conduct human-centered scientific research on habitat in an environment of real experimentation and in continuous space-time transformation. This allows to carry out an analysis of the physical, thermophysical and light functions of the building and its surrounding conditions; also to develop and experiment with the best practices of data and information collection, remotely monitoring environmental parameters, different methods of use, behaviors and flows of people.



Fig. 3 – The real building and the virtual space modelling on Digital Twin

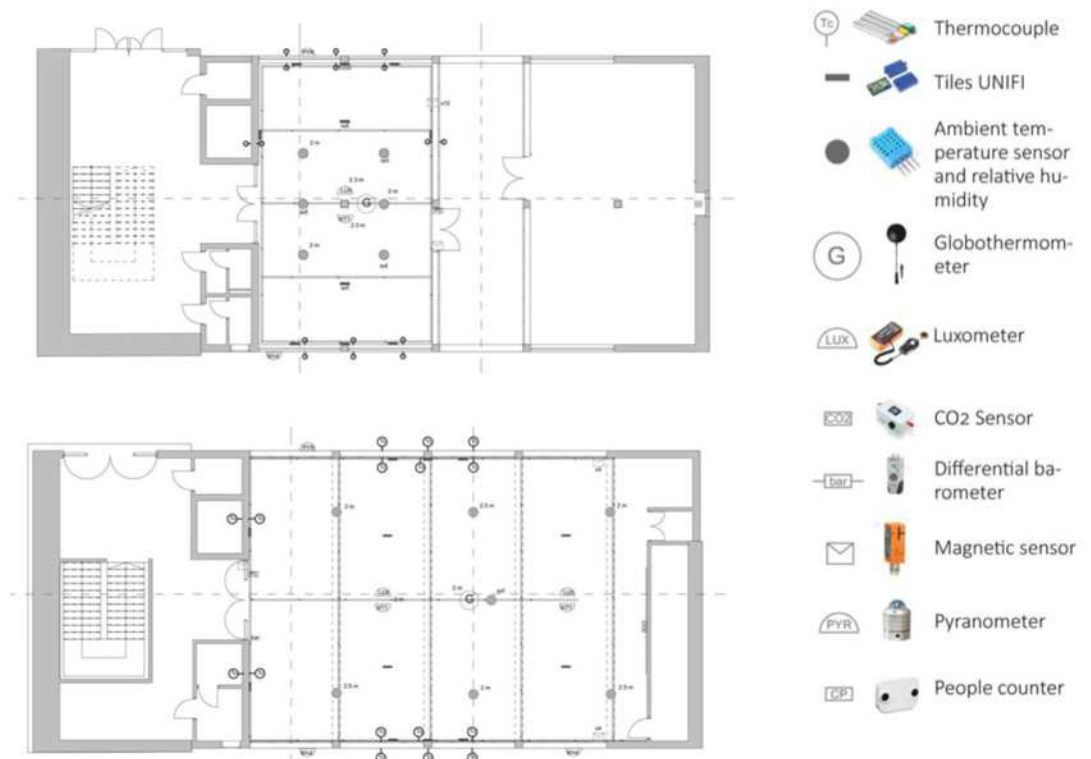
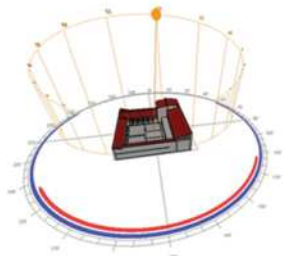
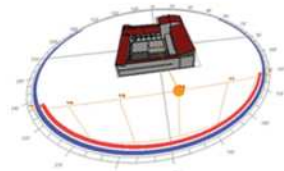


Fig. 4 – Monitoring plan and instruments

SUN, SHADOWS & WIND ANALYSIS

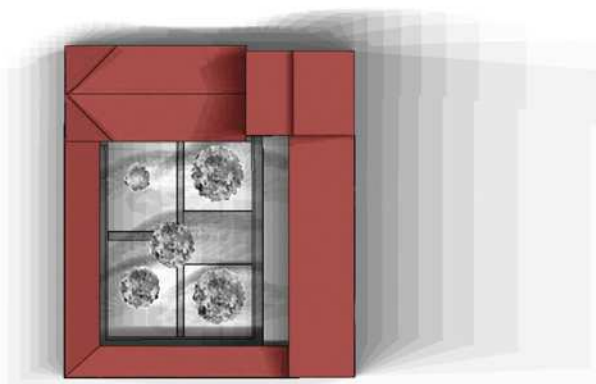


June 21st



December 21st

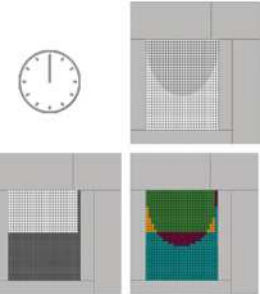
date: 21/06/2020
time: 8:00-19:00



- No sun - no wind
- Sun - no wind
- No sun - Wind
- Sun - Wind

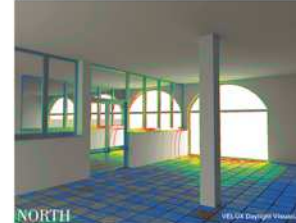
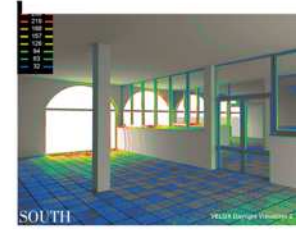
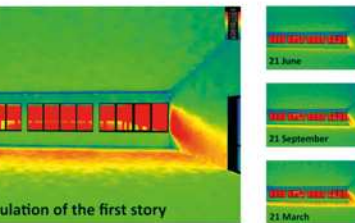
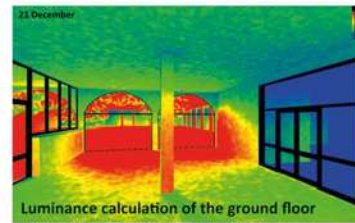
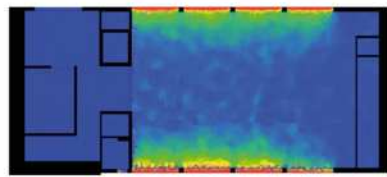
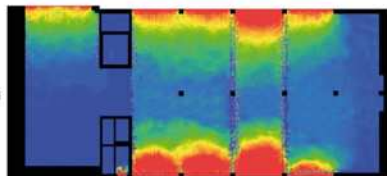


21st December

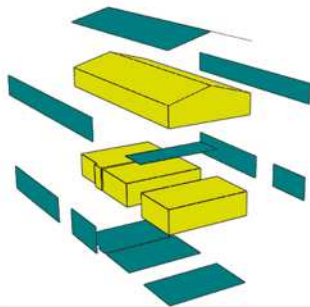


NATURAL ILLUMINATION: DAYLIGHT FACTOR + LUMINANCE ANALYSIS

- DFm %
- 8.00 DFm > 8% = high glare
 - 7.00 DFm > 7% = slight glare
 - 6.00 DFm > 6% = annoying
 - 5.00 DFm > 5% = excessive
 - 4.00 DFm > 4% = excellent
 - 3.00 2% < DFm < 4% = very good
 - 2.00 1% < DFm < 2% = good
 - 1.00 DFm < 1% = poor



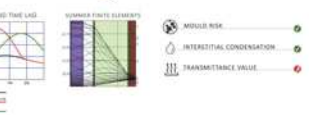
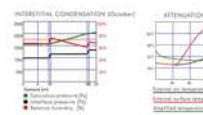
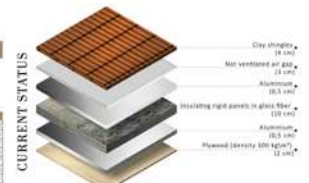
THERMO-HYGROMETRIC SIMULATIONS IN DYNAMIC REGIME



Dispersant Surfaces		Heated Volume		S/V
Type	m ²	Floor	m ³	
Roof	439,81	Ground	977,31	0,62
South wall	178,05	First	989,39	
North wall	181,51	Total	1966,70	
Internal corridor's walls	89,16			
Slab on open space	43,83			
Ground slab	279,23			
Total	1211,59			

ROOF

Roof - Current Status	
Thickness (m)	0,22
Surface area (m ²)	439,81
Surface mass (kg/m ²)	1,23
Volume (m ³)	27,5
Permeability (m/s)	0,0001
Thermal conductivity (W/mK)	0,22
Thermal resistance (m ² ·K/W)	4,55
U-value (W/m ² ·K)	0,22

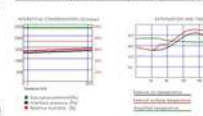
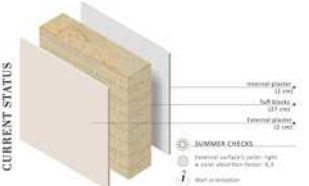


MAIN INSTALLATIONS

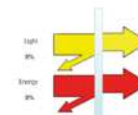


EXTERNAL WALL

External Wall - Current Status	
Thickness (m)	0,22
Surface area (m ²)	439,81
Surface mass (kg/m ²)	1,23
Volume (m ³)	27,5
Permeability (m/s)	0,0001
Thermal conductivity (W/mK)	0,22
Thermal resistance (m ² ·K/W)	4,55
U-value (W/m ² ·K)	0,22



WINDOWS



Description:
- Single glass: Pilkington Optifloat Clear, Annealed, 6mm
Performance:
- Light transmission: 90%
- Thermal transmittance: 5,7 W/m²K
- Solar factor: 0,85

Fig. 5 - Environmental characteristics, daylight factor and luminance analysis, dynamic thermo-hygrometric simulations

[BOX] Reference standard for creating the laboratory and data processing

- UNI EN ISO 7726:2002 (Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche)
- D-Lgs 81/2008
- UNI EN 16798-1:2019 Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica
- Italian Higher Institute of Health. Interim Indications for the Prevention and Management of Indoor Environments in Relation to the Transmission of the SARS-CoV-2 Virus Infection. Version of 23 March 2020; 10 p. ISS COVID-19 Reports No. 5/2020; ISS Environment and Indoor Air Quality 2020 Working Group ii: 2020 . <https://www.iss.it/coronavirus>
- AICARR (Italian Association of Air Conditioning, Heating and Refrigeration). (2020-I). The Plants and the Spread of SARS-COV2-19 in the Workplace; AICARR : 2020. https://www.aicarr.org/Pages/Normative/FOCUS_COVID-19_IT.aspx
- AICARR (Italian Association of Air Conditioning, Heating and Refrigeration). (2020-II). AICARR Position on the Operation of Air Conditioning Systems During the SARS-COV2-19 Emergency; AICARR : 2020. https://www.aicarr.org/Pages/Normative/FOCUS_COVID-19_IT.aspx
- AICARR (Italian Association of Air Conditioning, Heating and Refrigeration). (2020). Protocol for the Reduction of the Risk from the Spread of SARS-COV2-19 in the Management and Maintenance Operations of Existing Air Conditioning and Ventilation Systems; AICARR : 2020. https://www.aicarr.org/Pages/Normative/FOCUS_COVID-19_IT.aspx
- USEPA, U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Report of the Environment: Indoor Air Quality; USEPA : 2020. Available online: <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality> (accessed on 19 April 2020).
- REHVA How to Operate and Use Building Services in order to Prevent the Spread of the Coronavirus Disease (COVID-19) virus (SARS-CoV-2) in Workplaces; REHVA COVID-19 Guidance Document, 3 April 2020 (This Document Updates 17 March Version, Updates will Follow as Necessary); 2020.
- EPA, Environmental Protection Agency (EPA), Guidance 2020: Indoor Air and Coronavirus (COVID-19). Available online: <https://www.epa.gov/coronavirus/indoor-air-and-coronavirus-covid-19> (accessed on).
- ASHRAE April 2020, Issues and Statements on Relationship Between COVID-19 and HVAC in Buildings. Available online: <https://www.ashrae.org/about/news/2020/ashrae-issues-statements-on-relationship-between-covid-19-and-hvac-in-buildings> (accessed on).
- ASHRAE, July 2020, Updated Reopening Guide Schools Universities.online:www.ashrae.org/about/news/2020/ashrae-introduces-updated-reopening-guide-for-schools-and-universities (accessed on).
- World Health Organization. (2020-I). Getting your Workplace Ready for COVID-19; WHO: Geneva, Switzerland , 3 March 2020.
- World Health Organization. (2020-II). Water, Sanitation, Hygiene and Waste Management for COVID-19; WHO: Geneva, Switzerland , 2020.
- EN 16798-3:2017 Energy Performance of Buildings-Ventilation for Buildings-Part 3: For Non-Residential Buildings-Performance Requirements for Ventilation and Room-Conditioning Systems (Modules:M5-1,M5-4),http://store.uni.com/catalogo/en-16798-3-2017?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com
- EN 15251:2008. Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics. <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-15251-2008>
- UNI EN ISO 7730:2006 Ergonomics of Thermal Environments-Analytical Determination and Interpretation of Thermal well-being by Calculating the PMV and PPD Indices and Local Thermal Well-Being Criteria. <http://store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-iso-7730-2006>

A monitoring protocol was developed, with a network of sensors and a cloud system for the continuous acquisition and management of data. This dynamic information becomes formidable inputs that enrich the Digital Twin and allow the rethinking, redesigning and reconstructing, the physical space taking into account its plasticity. The physical space regains the value of a place and its dynamism closely connected to the experiences and conscious use of users: their sensations, stimuli visual, perceptive and thermo-hygrometric input. The dynamic analysis of the building-plant-user system by the evaluation and post-processing of the experimental data collected, allows defining both the temporal trend of the main

thermo-hygrometric and lighting engineering parameters, and the distribution and concentration fields of parameters useful for the evaluation of indoor air-environmental quality. In this activity, the expansion of the Digital Twin is clearly strategic because it allows enriching the information levels of the model over time. In fact, the team is implementing an Augmented Digital Twin, as a "live" and dynamic tool for the management and maintenance of building complexes where it is possible to configure not a single objective, but to ask questions, anticipate a vision and share the multiple perceptions of well-being. In the embarrassing confusion of knowledge to face the climate emergency (and in recent months during the pandemic emergency we

have had proof of it!) we can read a methodological obsolescence that is now expanded to all knowledge fields. As Alessandro Baricco underlines in the book *What we were looking for*, it is not the myth of science as infallible knowledge that is waning, but the meaning of science as useful knowledge. More science claims the correctness of its method, maniacally defending its necessity, the more it distracts the spotlight from the real problem: the obsolete processes that govern, like a skeleton, the flow of that method. Immense knowledge, with access to dizzying amounts of data, succeeds in the incredible result of being scarcely useful, or producing solutions too slowly, or asking the wrong questions. Recognizing the need to go beyond buildings to firstly rethink human behavior, the scientific community of beXLab wants to stimulate the formulation of new questions, simple, streamlined and useful, trying to set a goal, to share a vision, a utopia. We dream a desirable future, according to the *backcasting method* (as opposed to that of forecasting), creating a real-life environment of co-learning for the collective experimentation of innovative processes to support green and digital transitions in the transformation of the built environment from an eco-systemic perspective.

Acknowledgement

Med Eco-SuRe Project Partner: Department of Architecture (DIDA), University of Florence. Team: Saverio Mecca, Antonella Trombadore, Carla Balocco, Maurizio De Lucia, Gisella Calcagno, Giacomo Pierucci, Juan Camilo Olano Salinas, Lucia Montoni. Space BExLab/DIDALABS, University of Florence: Saverio Mecca, Antonella Trombadore, Carla Balocco, Maurizio De Lucia, Roberto Bologna, Elisabetta Cianfanelli, Debora Giorgi, Gisella Calcagno, Giacomo Pierucci, Juan Camilo Olano Salinas, Lucia Montoni.

NOTES

The paper is jointly elaborated by Antonella Trombadore and Carla Balocco. Referring to the individual chapters, they wrote as follows:

Trombadore A.: |1 | 3 |
Balocco | 2 | Standard Box |
Trombadore A. & Balocco C. | 4 |

REFERENCES

- [1] Butera, F. (2020). *Affrontare la complessità per governare la transizione ecologica*. Milano: edizioni ambiente.
- [2] Yeang, K. (2020). *Saving the Planet by design. Reinventing our world through ecomimesis*. London: Routledge.
- [3] Balocco, C., Leccese, F., Volante, G., Salvadori, G. (2020). *How Modelling Sustainable Modelling Sustainable Lighting with Eyetracker and Spatial Syntax techniques*. Int. Journal of Physics: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 949 012047.
- [4] Balocco, C. & Leoncini, L. (2020). *Energy cost for the effective ventilation and air quality for healthy building. Plant proposals for a historic building school under reopening in the Covid-19 era*. Sustainability Int. J., Special Issue Energy Efficiency of the Indoor Environment, pp1-16. Sustainability 2020, 12, 8737.

- [5] Khajavi, S., Motlagh, N., Jaribion, A., Werner L., Holmstrom J. (2019). *Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings*. IEEE Access, vol. 7, pp. 147406-147419.
- [6] Tagliabue, L.C., Re Cecconi, F., Maltese, S., Rinaldi, S., Ciribini, A.L.C., Flammini, A. (2021). *Leveraging Digital Twin for Sustainability Assessment of an Educational Building*. Sustainability 2021, 13, 480. <https://doi.org/10.3390/su13020480>.
- [7] Trombadore, A. (2015). *Mediterranean Smart Cities. Innovazione tecnologica ed ecoefficienza nella gestione dei processi di trasformazione urbana*. Firenze: Altralinea Edizioni s.r.l.
- [8] Trombadore, A., Calcagno, G., Pierucci, G. (2020). *Advance smart cities through Digital Twins expanding the knowledge and management capacity of public buildings stock for energy efficiency rehabilitations*. Contesti - Città Territori Progetti, 1/2020, pp. 129-139, Firenze University Press.
- [9] Trombadore, A., Calcagno, G. (2021). *Mediterranean University as Catalyst for Eco-Sustainable Renovation: the experience of Med-EcoSuRe Cross Border Living Lab*, in A. Sayigh (ed.), *Proceeding of WREC 2020 International Congress in Lisbon*, Springer.
- [10] Agora Energiewende (2019). *European Energy Transition 2030: The Big Picture. Ten Priorities for the next European Commission to meet the EU's 2030 targets and accelerate towards 2050*. <https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/EU_Big_Picture/153_EU-Big-Pic-WEB.pdf> (08/20).
- [11] ARUP (2019). *Digital Twin. Towards a meaningful framework* <www.arup.com/digitaltwinreport> (08/20).
- [12] Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., Rezgui, Y. (2020). *Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research*. Automation in Construction, vol. 114, 103179, pp. 1-16.
- [13] EU BIM Task Group (2017). *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth*. <http://www.eubim.eu/downloads/EU_BIM_Task_Group_Handbook_FINAL.PDF> (08/20).
- [14] European Commission (2019a). *Clean Energy for all Europeans*. <https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en> (08/20).
- [15] European Commission (2019b). *Supporting digitalisation of the construction sector and SMEs. Including Building Information Modelling*. <https://ec.europa.eu/growth/content/report-supporting-digitalisation-construction-sector-and-smes_en> (08/20).
- [16] EUROSAI (2018). *Energy Efficiency of Public Sector Buildings*. <<https://www.eurosai.org/handle404?exporturi=/export/sites/eurosai/.content/documents/Energy-Efficiency-of-Public-Sector-Buildings.pdf>> (08/20).
- [17] Grieves, M. (2014). *Digital Twin: manufacturing excellence through virtual factory replication*. <https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication> (08/20).
- [18] IET -The Institution of Engineering and Technology, ATKINS - Member of the SNC-Lavalin Group (2019). *Digital Twins for the built environment. An introduction to the opportunities, benefits, challenges and risks*. <https://www.theiet.org/media/4715/leaflet-digital-twins-for-the-built-environment-iet-atkins.pdf>> (08/20).
- [19] Schrödinger, E. (1944). *What is Life. The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press.
- [20] Brillouin, L. (1953). *Negentropy Principle of Information*. Journal of Applied Physics, 24(9), 1152-1163.
- [21] Ilya Prigogine (1982). *Le strutture dissipative. Auto organizzazione dei sistemi termodinamici di non equilibrio*. Firenze: Sansoni.
- [22] Balocco, C., Grazzini, G. (2006). *Sustainability and information in urban system analysis*. Energy Policy, 34 (17), 63-82.
- [23] Balocco, C., Grazzini, G. (2000). *Thermodynamic parameters for energy sustainability of urban areas*. Solar Energy, 69 (4), 351-356.
- [24] Baricco, A. (2021). *Quel che stavamo cercando. 33 frammenti*. Milano: Feltrinelli.

ESPLORARE SOSTENIBILITÀ E BENESSERE NELL'HABITAT COSTRUITO: l'esperienza green e digitale del beXLab

Sommario

La sostenibilità dell'ambiente antropico necessita di una progettazione consapevole basata su approcci scientifici e orientati verso soluzioni green e adattive, così come di una più profonda coscienza della complessità e interrelazione degli aspetti umani e culturali che influiscono sul benessere, sul comportamento pro-attivo e sulla consapevolezza: la gestione e il funzionamento dell'edificio, l'uso razionale delle risorse energetiche, l'utilizzo dinamico dello spazio interno ed esterno l'edificio. L'articolo condivide l'esperienza del progetto internazionale Med-EcoSuRe e in particolare l'approccio integrato Living Lab/Digital Twin sperimentato nel progetto pilota di Santa Verdiana, che porta all'elaborazione di un quadro conoscitivo più ampio e sistemico, reale e dinamico, in cui i dati sulle prestazioni dell'edificio interagiscono con i dati sull'ambiente interno, con la percezione dell'abitante e con i parametri di benessere. La sfida che pone il progetto è molto ambiziosa e punta a sperimentare una sinergia tra approccio esperienziale e transizione digitale, come driver del processo di rigenerazione sostenibile dell'ambiente ambiente costruito, ecologico, inclusivo e salutare.

Parole-chiave: Living Lab, Digital Twin, benessere, efficienza energetica, habitat urbano sostenibile.

L'habitat costruito: introduzione e background

Privo di un proprio habitat, l'essere umano (ha fatto dell'intero mondo il suo ambiente, trasformandolo, attraverso il progetto e la tecnica, in una natura artificialmente ricomposta e posta al suo servizio: sono state urbanizzate le aree agricole e antropizzare gli habitat naturali. Le attività antropiche, in questo tempo geologico dell'Antropocene, hanno profondamente alterato il metabolismo del super-organismo biosfera e i maggiori sintomi del malessere sono il surriscaldamento globale e la perdita di biodiversità, che è il principale indicatore della salute degli ecosistemi. Come sottolinea molto bene Federico Butera nella premessa del suo libro *Affrontare la complessità per governare la transizione ecologica*, tutto è complicato dal fatto che i due fenomeni sono fra loro connessi. Per riparare il danno dobbiamo prima di tutto avere chiaro che o problemi ambientali che affrontiamo sono sistemici: una miscela di cambiamenti fisici, chimici, biologici e sociali che interagiscono e si rinforzano a vicenda. Se continuiamo a pensare che possiamo affrontare i vari problemi senza metterli in connessione, non c'è alcuna speranza di avere successo. Serve coniugare il pessimismo dell'intelligenza con l'ottimismo della volontà, dove il pessimismo dell'intelligenza deriva dalla conoscenza della complessità del problema e l'ottimismo della volontà è la risposta, cioè rimboccarsi le maniche e trovare le soluzioni. La soluzione che sta pervadendo

molte città è reinventare l'ambiente costruito attraverso soluzioni nature based e green infrastructure, puntando a rinaturalizzare le città (effetto urban jungle) e ad accelerare la transizione ecologica attraverso architetture green, riducendo il consumo energetico e gli effetti dell'inquinamento, gestendo consapevolmente le risorse naturali e incrementando la biodiversità. L'idea dominante però è pensare che l'integrazione di semplici giardini pensili e piante rampicanti possa ripristinare un nuovo equilibrio e una nuova relazione con la natura. La sfida dovrebbe essere più ambiziosa, affrontando in modo sistemico i processi di trasformazione urbana, come sostiene l'architetto ed ecologista Ken Yeang, secondo il pensiero bio-filico (Biomimicry Thinking process), approfondendo la conoscenza dei sistemi di relazioni tra uomo/natura e affrontando le criticità dell'habitat antropico applicando approcci creativi di biofisica e progetti di biomimetica, sviluppando soluzioni innovative per incrementare i livelli di sostenibilità e migliorare il benessere delle persone. Serve un cambio di passo a partire dall'approccio cognitivo: abbiamo l'opportunità di focalizzare l'attenzione sulla qualità eco-logica dell'ambiente costruito ampliando maggiormente la concezione di uno spazio naturale dell'abitare. Alla necessaria riduzione delle emissioni, abbattimento dei consumi energetici, alla progettazione di edifici intelligenti, serve integrare un nuovo approccio al ben-d'essere, alla capacità di farci vivere meglio.

Occorre passare dal funzionale concetto di 'edificio' a quello culturale di 'abitare', mettendo quindi al centro dell'analisi la figura dell' 'abitante', inteso nella sua corporeità, nei suoi modelli di comportamento, nella sua consapevolezza eco-logica, nel vivo della sua interazione sociale. Questo consente di superare la logica esigenziale/prestazionale per un approccio human centered sustainable building design, mettendo al centro la reale esperienza immersiva e percettiva di benessere dell'abitante in un habitat antropizzato, la sua capacità adattiva e di interazione consapevole e sostenibile con il contesto naturale: un abitante che si prende cura del suo habitat perché è il liquido amniotico in cui è immerso e gli garantisce a sua volta nutrimento, salute e benessere. Questo significa non solo rimettere in moto, in modo sano e virtuoso, i processi di rigenerazione delle nostre città e dei nostri edifici, ma soprattutto ritrovare la bellezza del nostro patrimonio architettonico, la sensibilità di una cultura in cui l'architettura diventa l'arte di abitare in armonia con la natura.

In questa sfida le università possono giocare un ruolo strategico, sia come attivatori di ricerca e sperimentazione tecnologica, sia come acceleratori di un nuovo processo cognitivo che sappia connettere tutti i soggetti coinvolti nei processi di trasformazione dell'ambiente costruito, offrendo nuovi strumenti di analisi e soprattutto metodologie innovative per riconnettere i diversi ambiti della conoscenza in modo sistemico.

Con progetto internazionale Med-EcoSuRe Mediterranean University as Catalyst for Eco-Sustainable Renovation si aggiunge un altro tassello, puntando a trasformare l'edificio stesso in un dimostratore di innovazione tecnologica, un living lab (well - living - lab) dove poter fare esperienza diretta di un processo eco-cologico, accorciando il divario tra i modelli progettati/simulati e la loro effettiva applicazione. Il progetto Med-EcoSuRe applicando un approccio collaborativo e partecipativo transfrontaliero mediterraneo - che riunirà ricercatori, gestori di edifici, aziende, organizzazioni pubbliche e studenti, offre un modello di definizione di idee emergenti, la configurazione di scenari innovativi e la sperimentazione di interventi di riqualificazione energetica economicamente, ecologicamente e socialmente vantaggiosi all'interno degli edifici universitari, con la prospettiva di estendere nel lungo periodo i risultati a tutto il settore degli edifici pubblici.

Sostenibilità e Benessere

Shakespeare scrive: "What's in a name?" La risposta è, molto. Le parole e il modo in cui vengono utilizzate e connesse sono importanti. I modi sottili in cui le parole evolvono nei linguaggi e la funzione che svolgono hanno un impatto determinante sul pensiero e sulle azioni. Le parole "wellness" e "wellbeing" apparentemente sembrano intercambiabili. Ma una differenza esiste sebbene gli effetti siano sinergici: wellness rimanda a concetti più strettamente di natura fisica-mentale, lo stato di salute; wellbeing rimanda a concetti strettamente fisici-ambientali, il ben-d'essere nello spazio e nel luogo. Il concetto di benessere o wellbeing è ampio e complesso e richiede approcci metodologici interdisciplinari integrati. L'approccio metodologico interdisciplinare ed integrato che è stato messo a punto, costituisce la struttura logico-pratico-operativa del Well-Living-Lab. Per definire e quantificare il concetto di adaptive wellbeing, legato alla dinamica e continua trasformazione del sistema edificio-impianti-utenti, è stato necessario impiegare un approccio sistemico. Oggi il funzionamento di qualsiasi sistema è un processo integrato e ogni separazione è controproducente sia da un punto di vista fisico, che energetico ed economico. La sostenibilità poggia proprio su questa consapevolezza dell'impossibilità di separare i sistemi. Dunque, lo schema di organizzazione di un sistema (reale e vivente) è sempre uno schema a rete.

La prima caratteristica dell'approccio sistemico è lo spostamento dalle parti al tutto. I sistemi reali sono totalità integrate, sistemi termodinamici aperti che scambiano massa ed energia, le cui proprietà non possono essere ricondotte a quelle delle parti che li compongono. Una seconda caratteristica è la capacità di spostare l'attenzione tra i vari livelli del sistema.

Esistono sistemi inseriti dentro altri sistemi e, a ciascun livello, i fenomeni osservati mostrano proprietà che non esistono a livelli inferiori. In generale, le proprietà delle parti non sono proprietà intrinseche assolute, ma si possono comprendere solo in un contesto più ampio ed interconnesso.

Una terza caratteristica dell'approccio sistemico è quello di rete di relazioni. Gli edifici, gli impianti, gli utenti/fruitori, l'ambiente come spazio e luogo, sono reti di relazioni inserite all'interno di reti più grandi. La caratteristica fondamentale di una rete consiste nel fatto che essa produce se stessa.

Si parla di autopoiesi come schema generale di organizzazione, comune a tutti i sistemi viventi, prescindendo dalla natura dei loro componenti. In questo schema a rete ogni componente ha la funzione di partecipare alla produzione o alla trasformazione di altri componenti nella rete. Ne consegue che la rete è prodotta dai suoi componenti e li produce a sua volta. Poiché tutti i componenti di una rete autopoietica sono prodotti da altri componenti nella rete, l'intero sistema è organizzativamente chiuso, sebbene sia aperto al flusso di materia ed energia. I sistemi viventi sono dei sistemi organizzativamente chiusi, in quanto in essi l'ordine e il comportamento non sono imposti dall'ambiente, ma stabiliti dallo stesso sistema. I sistemi viventi sono autonomi e in grado di auto-organizzarsi con reciproche relazioni di controllo tra varie componenti. Essi non sono chiusi, ma sistemi termodinamici aperti in quanto scambiano materia, energia e informazione con il proprio contorno, l'ambiente che li circonda.

Tuttavia, l'interazione con l'ambiente non determina l'organizzazione del sistema. Prigogine, descrivendo la struttura di un sistema vivente, evidenzia l'apertura di tale struttura al flusso di energia e materia. Un sistema vivente è pertanto organizzativamente chiuso, ma strutturalmente aperto. I sistemi viventi sono delle strutture dissipative. La loro stabilità interna dipende dal flusso di energia e di informazione che li attraversa e che viene in parte dissipato. I sistemi evolvono verso uno stato stazionario in cui la generazione di entropia è la minima possibile.

Si portano all'equilibrio e i processi di flusso possono essere descritti per mezzo di equazioni lineari. Lontano dall'equilibrio, le fluttuazioni sono più forti, la produzione di entropia cresce e i processi di flusso del sistema sono interconnessi per mezzo di anelli di retroazione (feedback) multipli e le equazioni matematiche corrispondenti non sono lineari. Le equazioni non lineari hanno più di una soluzione e nel campo non lineare le condizioni iniziali non vengono più "dimenticate".

In altre parole, il comportamento del sistema, al momento in cui prende una direzione, tra le molte possibili, dipende dalla storia precedente del sistema e le strutture dissipative lontane dall'equilibrio non seguono più alcuna legge universale, ma solo quelle di quel particolare sistema.

Secondo Prigogine, le strutture dissipative sono isole ad entropia decrescente (a neg-entropia/informazione crescente). In altre parole mantengono o addirittura accrescono il loro ordine a spese di una maggiore disordine del loro ambiente. Riprogettare lo spazio, i luoghi, le nostre abitudini di consumo, in un'ottica sistemica significa impiegare la conoscenza scientifica e lo sviluppo tecnologico digitale che oggi abbiamo a disposizione per:

- ridurre e/o ottimizzare il flusso di materia ed energia, quindi di informazione da un sistema all'altro;
- pianificare ed organizzare un'incessante metabolizzazione degli scarti (output), con l'ottica di trasformarli in risorse (input);
- considerare e valutare quantitativamente e qualitativamente tutte le parti costituenti un ecosistema e le loro interrelazioni;
- far co-evolvere i diversi attori in tutte le fasi di sviluppo del sistema e/o sottosistemi, di un prodotto/servizio;
- incoraggiare lo sviluppo locale, il dialogo culturale tra diversi settori e la collaborazione virtuosa tra processi produttivi, sistemi naturali e comunità.

La visione sistemica porta alla produzione sistemica di energia e quindi alla sostenibilità energetica, con il passaggio da una «comunità di consumo» ad una «comunità dell'energia» con cui i produttori e i consumatori (di risorse e di energia) condividono processi produttivi su piccola scala distribuiti sul territorio. In questo contesto si può definire e quantificare il wellbeing, perché soltanto partendo dalla energy environmental sustainability, è possibile innescare processi a low-entropy con massimo flusso di informazione e quindi di wellbeing/well-to-being. In particolare, attraverso la termodinamica definiamo sostenibilità energetica un processo complesso e legato alla stessa evoluzione naturale dei processi. Pertanto, la reale sostenibilità può essere ottenuta solo se il flusso di entropia irreversibile totale, dovuto alle attività umane, è inferiore al flusso di neg-entropia proveniente dal sole. Qualsiasi forma di utilizzo e trasformazione dell'energia ed anche dell'energia rinnovabile, produce sempre un flusso entropico irreversibile. Quest'ultimo deve essere ridotto il più possibile per raggiungere la sostenibilità, e deve essere sempre inferiore al flusso dovuto al degrado dell'energia solare, quando assorbita dalla terra. Su questo concetto poggia l'approccio metodologico integrato che consente di progettare nello spazio e nel tempo all'interno del Well-Living-Lab soluzioni "green and healthy", advanced and low tech, che possano rafforzare l'integrazione tra architettura/tecnologia/natura quantificando i benefici in relazione all'uso dell'energia solare (componente termica e luminosa), principale fonte energetica rinnovabile, necessaria per la vita e capace di garantire il well-to-being delle persone e dei sistemi viventi, nonché la qualità dell'abitare. Pertanto, il concetto well-being/well-to-being tramite il WLL è stato connesso alla IEQ, al Liveable City and Human Health, alle discipline della psicologia

ambientale, alle neuroscienze, alle tecnologie digitali (DT, IOT, BigData, ICT), per superare la logica esigenziale/prestazionale a favore di un approccio human centered sustainable building design con al centro la reale esperienza immersiva e percettiva di benessere dell'abitante in un habitat umano, la sua capacità adattiva e di interazione con il contesto, entrambi in continua trasformazione spaziale e temporale. L'abitante, visto come fruitore, utilizzatore, ma anche modificatore/attivatore biologico dello spazio, dei percorsi, dell'uso della luce, dell'utilizzo e gestione degli impianti e dei sistemi di regolazione, che solo attraverso il WLL può esperire e tracciare nuovi percorsi per spazi competitivi aperti e dinamici che coinvolgono l'economia ambientale, l'energetica, la fisica tecnica ambientale, la tecnologia, che tengano conto dell'interoperabilità digitale e di cruciali misure di protezione e tutela della salute e sicurezza sia delle persone che dell'ambiente. La dimensione di sostenibilità dell'ambiente antropico è da intendere non solo sul piano strettamente tecnico/tecnologico e scientifico attraverso un approccio di progettazione consapevole (nuova progettazione e retrofitting, refurbishment) nella qualità di green design, adaptive design, environmental conscious design, ma anche su quello di appropriazione delle conoscenze da parte dell'utente, di consapevolezza su questioni complesse ed interrelate come la gestione e il funzionamento del sistema edificio-impianto, l'uso razionale delle risorse energetiche, l'utilizzo dinamico dello spazio interno ed esterno per garantire salute, sicurezza e benessere (quality of experience, consciousness). E' possibile ricondurre il concetto di sostenibilità a due chiavi di lettura:

- la prima connessa alla sostenibilità energetica ed ambientale e quindi alla definizione fornita dal Rapporto di Brundtland [1987, WCED], in cui la struttura del sistema integrato edificio-impianto contribuisce allo svolgimento proprio delle attività intrinseche e alla tutela e conservazione delle risorse e del patrimonio edificato per le generazioni future con il minimo consumo di energia, ovvero il suo impiego qualitativo. Gli aspetti sociali riguardano le azioni formative, divulgative ed informative verso la società, gli utenti e il personale nell'ottica dell'uso razionale dell'energia, la riduzione dell'uso delle risorse e dei consumi e sugli effetti del riscaldamento globale;
- la seconda strettamente legata alle attività dell'edificio (specie se pubblico/sociale), ai modelli di gestione e di sviluppo finalizzati ad azioni ed interventi multidisciplinari integrati con forme e modalità sostenibili e di importante impatto sociale

Alla luce di queste due interpretazioni è possibile definire la sostenibilità attraverso i suoi stessi principi o basi fondamentali che sono la cultura, la società, l'economia e l'ambiente. La sostenibilità, concetto ampio e complesso applicato al sistema edificio-impianto non può dunque essere compresa e realizzata al di fuori di una visione sistemica, ma solo nell'accezione di una rete, una rete spaziale e temporale di connessione, resiliente e dinamica che coinvolga diversi operatori ed esperti in materia e che quindi richiede multidisciplinarietà ed interdisciplinarietà. Ciò significa che l'approccio metodologico che proponiamo per la lettura e quantificazione termodinamica della sostenibilità, risponde alle funzioni fisiche, termofisiche e luminose dell'edificio e delle sue condizioni al contorno, ma anche a come bilanciare le migliori pratiche di raccolta di dati ed informazioni, come monitorare in continuo e a distanza parametri ambientali, come attuare diverse modalità d'uso e considerare le affluenze. Su queste basi poggia il green sustainable design basato su analisi ed elaborazioni dirette che attraverso post-processing ed elaborazioni più ampie attraverso

l'impiego di strumenti di simulazione dinamica, mostrano la possibilità di utilizzare le informazioni transienti (spazio-temporali) per la costruzione di Management Reports e Facility Reports, ma anche di BIM, Digital-Twin finalizzati a ripensare, riprogettare e ricostruire lo spazio fisico per una gestione e manutenzione energetico-ambientale programmata, tenendo conto della sua plasticità in quanto luogo e dinamicità in quanto strettamente connesso alle esperienze e all'uso consapevole degli utenti.

Il valore innovativo del well Living Lab per il co-design

In pieno centro storico di Firenze, città UNESCO (quartiere di Santa Croce), il WLL beXLab building environmental experience è stato fisicamente allestito nella Scuola di Architettura situata nel complesso storico di Santa Verdiana, che nasce come ex convento (1395), viene convertito in carcere femminile (1865) e trasformato in polo didattico nel 1986. Questa variazione di destinazione d'uso ha richiesto negli anni una serie di radicali interventi di restauro e adeguamento funzionale e impiantistico, per cercare di rispondere alle esigenze dell'utente. Concepito come spazio di ricerca esperienziale in cui testare soluzioni innovative attraverso il coinvolgimento attivo degli stakeholders locali, ricercatori, docenti, aziende, energy manager e gli stessi studenti, il beXLab si articola nelle due sale dedicate ad aula studio al piano terra e aula/laboratorio al primo piano, rappresentative sia dello spazio universitario (per orientamento, contesto urbano, tipologia edilizia, livelli di fruizione) che delle sfide ambientali e sociali più pressanti, che richiedono di rinnovare, rigenerare ed efficientare il patrimonio edilizio scolastico esistente, in un contesto climatico e culturale denso di complessità e contaminazioni come quello del Mediterraneo.

Affrontare il progetto pilota ha messo in evidenza come in questo processo di rigenerazione esistano molte barriere culturali e tecnologiche, ma soprattutto ostacoli da superare spesso legati a fattori umani, dinamiche collaborative o carenze comunicative che possono indebolire o rendere inefficace il buon coordinamento tra i diversi decisori e le parti interessate coinvolte nel processo di ristrutturazione o intralciare la partecipazione attiva degli utenti finali. L'approccio Living Lab serve a superare questi problemi, offrendo un'opportunità unica per stimolare il processo di co-progettazione creando un'innovazione aperta partecipativa in contesti di vita reale. Al fine di sperimentare una sinergia tra approccio esperienziale e transizione digitale, come driver del processo di rigenerazione sostenibile dell'ambiente ambiente costruito, inclusivo e salutare, il Living Lab è organizzato attorno a tre elementi essenziali:

- l'organismo edilizio (fisico)

- Il gemello digitale (predittivo)

- Il sistema di monitoraggio (esperienziale) che si interfaccia con il sito reale e il modello virtuale.

Lo spazio fisico del Lab è inteso come un vero e proprio luogo di sperimentazione di tecnologie e processi edilizi innovativi per il retrofit e il recupero edilizio, sostenuto dal team interdisciplinare e dal coinvolgimento proattivo degli stakeholder (dalle aziende locali agli utenti finali).

A partire dai dati di rilievo geometrico, è stato sviluppato il gemello digitale, in ambiente BIM, a partire dal 3D da implementare in 4D (tempi), 5D (costi), 6D (gestione delle strutture), 7D (sostenibilità), per la comunicazione e l'interazione con gli

stakeholder (accademici, tecnici della Pubblica Amministrazione, professionisti, operatori economici e utenti finali) coinvolti per la definizione e lo sviluppo di strategie innovative per la riqualificazione energetica degli edifici.

I dati sugli asset fisici e tecnici dell'edificio pilota/Living Lab vengono acquisiti, raccolti e modellati sul Digital Twin che, ricco di semantica, rappresenta la base per valutare le effettive prestazioni dell'edificio, ma anche per la co-progettazione e configurazione di scenari innovativi, consentendo di effettuare simulazioni dei futuri comportamenti energetici e ambientali.

Il gemello digitale, oltre alle informazioni geometriche e fisiche (materiali), contiene dati sulle prestazioni energetiche raccolte durante l'audit energetico. Il livello di sviluppo/dettaglio sia geometrico che informativo è LOD C (Livello di dettaglio corrispondente a "definite object", secondo la UNI 11337-4), livello di sviluppo necessario per il trasferimento delle informazioni per l'analisi energetica e le simulazioni energetiche come BEM (Building Energy Modeling). A tal fine, e grazie all'interoperabilità (formato gbxml), verranno effettuate simulazioni in regime dinamico utilizzando software dedicati (es. TRNSYS, Design Builder ed EnergyPlus). Supportati dal Digital Twin, gli obiettivi del pilot si possono così sintetizzare:

- valutare che l'edificio operi secondo

standard di qualità in materia di sostenibilità (es. prestazioni energetiche) e comfort (es. qualità degli ambienti interni);

- evidenziare le criticità e le lacune e pianificare la modifica dei sistemi operativi (asset fisici e tecnici, etc.) ma anche comportamenti al fine di migliorarne le prestazioni;

- per creare nuovi scenari "what if" in cui sperimentare vari mix di soluzioni tecnologiche e materiali valutandone come le diverse caratteristiche economiche, ambientali e sociali influenzino le prestazioni energetiche dell'edificio pubblico. Per connettere lo spazio fisico a quello virtuale, è stato sviluppato e installato nel Living Lab un sistema di monitoraggio composto da sensori IoT, che consente di raccogliere dati ambientali in tempo reale, sia quantitativi (come livelli di occupazione, illuminazione, temperatura, umidità, qualità dell'aria, irraggiamento solare, flussi termici) che qualitativi (feedback degli utenti finali). La disponibilità di dati in tempo reale visualizzabili sul Digital Twin, consente di ampliare il quadro conoscitivo sull'effettivo comportamento e funzionamento dell'organismo edilizio e la sua capacità di adattamento ai diversi stimoli ambientali esterni, offrendo uno strumento agile e interattivo per affrontare in modo intelligente ed efficiente la gestione e manutenzione dell'edificio.

Sfide aperte e prospettive future

Scomodando celebre affermazione di Albert Einstein "non si può risolvere un problema con la stessa mentalità che l'ha generato", il gruppo internazionale di coordinamento interdisciplinare del progetto Med-EcoSuRe ha puntato alla sperimentazione di un nuovo approccio integrato e sistemico edificio|Digital Twin|end user, offrendo la grande opportunità di condurre una ricerca scientifica sull'habitat incentrata sull'uomo in un ambiente di sperimentazione reale e in continua trasformazione spazio-temporale. Questo consente da un lato di svolgere una analisi delle funzioni fisiche, termofisiche e luminose dell'edificio e

delle sue condizioni al contorno; dall'altro di sviluppare di sperimentare le migliori pratiche di raccolta di dati ed informazioni, per monitorare in continuo e a distanza parametri ambientali, diverse modalità d'uso, comportamenti e flussi di persone. E' stato messo a punto un protocollo di monitoraggio, con una rete di sensori e un sistema cloud per l'acquisizione e la gestione dei dati in continuo. Queste informazioni dinamiche diventano input formidabili che arricchiscono il Digital Twin e consentono di ripensare, riprogettare e ricostruire lo spazio fisico tenendo conto della sua plasticità in quanto luogo e dinamicità in quanto strettamente connesso alle esperienze e all'uso consapevole degli utenti alle loro sensazioni, stimoli visivi, percettivi e termoigrometrici (IOT). L'analisi in regime dinamico del sistema edificio-impianto-utente ottenuta per mezzo della valutazione e post-processing dei dati sperimentali rilevati, permette di definire sia l'andamento temporale dei principali parametri termoigrometrici ed illuminotecnici, sia i campi di distribuzione e concentrazione di parametri utili alla valutazione della indoor air-environmental quality . In questa attività, l'espansione della funzione del Digital Twin è chiaramente strategica perché consente di arricchire i livelli informativi del modello nel tempo. E' stato di fatto costruito un Augmented Digital Twin inteso come strumento "vivo" e dinamico per la gestione e manutenzione dei complessi edilizi in cui sia possibile configurare non un solo obiettivo, ma di porre domande, anticipare una visione e condividere le molteplici percezioni di benessere.

Nell'imbarazzante confusione del sapere chiamato ad affrontare l'emergenza climatica (e in questo ultimi mesi durante l'emergenza pandemica ne abbiamo avuto riprova!) possiamo leggere una obsolescenza metodologica che ormai essere comune a tutti i saperi. Come sostiene Alessandro Baricco in Quel che stavamo cercando, a tramontare non è tanto il mito della scienza come sapere infallibile, quanto quello della scienza come sapere utile. Più la scienza rivendica la correttezza del proprio metodo, difendendone maniacalmente la necessità, più distoglie i riflettori dal vero problema: i processi, obsoleti, che reggono, come uno scheletro, il flusso di quel metodo. Saperi immensi, con accesso a quantità vertiginose di dati, riescono nell'incredibile risultato di essere scarsamente utili, o di produrre soluzioni con troppa lentezza, o porsi le domande sbagliate.

Riconoscendo la necessità di andare beyond buildings per ripensare in primo luogo gli human behaviour, la comunità scientifica del beXLab vuole stimolare la formulazione di nuove domande, semplici, snelle e utili, provando a configurare un obiettivo, a condividere una visione, una utopia, un futuro desiderabile, secondo il metodo backcasting (in opposizione a quello del forecasting), creando un ambiente di vita reale di co-apprendimento per la sperimentazione collettiva di processi innovativi per sostenere la green and digital transitions nella trasformazione dell'ambiente costruito in un'ottica eco-sistemica.

NOTE

Il paper è stato scritto congiuntamente da Antonella Trombadore e Carla Balocco.

In riferimento ai singoli capitoli, essi sono stati elaborati dagli autori come di seguito specificato:

Trombadore A.: [1 | 3 |

Balocco | 2 | Box sulla normativa|

Trombadore A. & Balocco C. |