

SUSTAINABLE TECHNOLOGIES FOR BIOREGIONALIST ARCHITECTURE

Regulatory aspects and pilot experiences

Abstract

The relationship between materials used and the cultural context is a theme that brings back the inseparable link that exists between the development of a territory and the enhancement of the resources it possesses. Over the centuries this relationship has characterized the Euro-Mediterranean regions and, in particular, the smaller centers, where the relationship between man and nature is strengthened in the primordial need for living with few means, where the territorial constraints, the climate and the resources available support a proactive material culture system. These meanings, combined with digital manufacturing and mass customization, lead to a rethinking of the technological process of architecture, respecting the local historical-cultural identity, the principles of environmental protection and Life Cycle Assessment. In this way, the bioregionalism concept presents itself as an element of technical-critical continuity with the local building traditions and, also, as a "field" oriented to the development of new technologies connected to the territory in support of new housing needs. The contribution emphasizes the importance of a design approach aimed at protecting the European material culture and local diversity over the long term, through the rational use of resources, compatibility assessment of these choices, durability and resilience, in the renovation of existing buildings. Finally, this methodology considers the importance of the life cycle analysis of materials and their certification through multi-criteria methods, as well as the possibility of identifying and using new ways of manufacturing that can optimize time and ways of assembling materials.

Keywords: Tradition, materials, certifications, Euro-Mediterranean construction, digital manufacturing

The relationship between technological innovation and bioregional culture

The bioregionalist instance is based on a very clear assumption: determining a trend reversal, creating an economy that minimizes environmental impoverishment and optimizes the use of renewable resources and creative work.

At the base of this process it is necessary to consolidate a close relationship between the industrial economy, the territory and the resources that it offers. When bioregionalism was born in the United States in the 1980s, it started from purely ecological considerations: the growth and development of advanced societies consume non-renewable resources on the planet, outlining very conflicting future

scenarios for global supply. Sharing the demands of bioregionalism does not mean closing to wards other regional and cultural realities; cultural and technological exchanges must continuously feed local growth through the importation of controlled knowledge and technologies in the direction of enhancing the resources of the territory. Bioregionalism promotes a territorial project in continuity with tradition, living at the word continuity a critical sense, with a profound content, not only formal and apparent, limited to the reproduction of constructively traditional construction solutions, but oriented

innovations that are correctly integrated into the context, in line with the principles on the protection of local diversity in support of the cultural diversity that make up the articulated mosaic of European identity. These reflections highlight the importance of assessing compatibility with respect to the cultural context in the choice and use of building materials to ensure that the criteria of appropriateness to the characteristics of the place and adequacy to the needs of contemporary living and the modern economy are long term. In this perspective, the themes of durability and resilience in the redevelopment



Fig.1- 3D printing phase of TerraPerforma Project of the IAAC (Institute of Advanced Architecture Catalonia). @iaac.net.

to the research and development of suitable technologies to new local needs through the use of easily available materials on site or recycled materials.

The objective therefore shifts from the iconographic repertoire of the archetypes to the search for new technologies, intrinsically connected to the territory, to the materials and to the forms of tradition, for the satisfaction of new needs. Therefore, an approach to the protection of material culture is understood as a response to the specific needs of living in resource economies; the placing on the market of new materials and technologies must be regulated, not impeded for the sole purpose of freezing the expressions of the architecture in a romantic traditionalism legitimized by the building regulations. A correct use of resources and technologies must be aimed at identifying

of existing buildings become important: the concept of durability, now present in the technical standards for construction, becomes a mandatory evaluation parameter not only for the structural component but also for all the components that they guarantee, as a whole, the efficiency of the construction over time, and the compliance with environmental sustainability criteria.

Environmental challenges can be managed only if the sustainability parameters are kept constant over time, so the durability of the buildings redevelopment is a condition for stabilizing the resilience of the cities; it must also be considered that the durability must not refer only to material deterioration but also as the ability to withstand the processes of obsolescence, durability, in this sense, must be designed keeping in mind that the integration of innovative technologies must not

determine design solutions of short term. From an environmental point of view, the materials must be assessed in a complete manner, considering the impacts deriving from the supply, transport and processing of construction materials as well as the possible effects on the health of the inhabitants due to emissions of harmful substances.

In the environmental impact assessment, the performance with respect to the quality of the internal environment must also be considered in terms of thermo-hygrometric, acoustic and visual comfort; in general the materials are evaluated only according to the primary base cost, neglecting the environmental and social costs coming from the entire life cycle of the building. It is now known that the environmental impact of the products must be assessed through out the life cycle of the product until it is disposed of and re-introduced into production cycles. However, it is less common to know that the building product—even if designed and built with careful attention to the material and plant activity—can produce negative impacts on the health of the occupants due to the presence of volatile particles of synthetic substances that are very common in furnishing and in the finishes that remain in the indoor environments because they are completely sealed in the name of reducing energy consumption, thus negating the design commitment aimed at controlling the environmental impact of the building. The subject of recent studies, published in the context of the Italian Network LCA Conference, is in fact the evaluation of the impact produced by the technologies and materials put in place for the realization of low emission index (nZEB) building projects, there is the risk that buildings designed to respect the environment through the containment of leaks and the adoption of passive technologies for energy saving, however, integrate technical solutions that are impacting the environment or even the health of the inhabitants (Cutaita et alii, 2018 [1]). Nevertheless it must be taken into account that there are “non-energy” indicators that are not usually taken into consideration by the most widespread evaluation methods but which can significantly affect the balance, both positively and negatively (Ardente et alii, 2017 [2]).

«The degree of sustainability with respect to the environment of a material is not its intrinsic property, but arises from the continuous cross-reference between design, composition and conformation of architecture, construction and production techniques and the material itself» (Giammetti, 2013, p. 207 [3]).

In reality the control of the environmental impact through the evaluation of the characteristics of the product and of the building process are only a part of the aspects linked to the life cycle of the artifacts; the non-obsolescence of a building is an other parameter of fundamental importance from an environmental point of view; the functions to which the buildings are destined are subject to changes over time, according to multiple variables and therefore require adjustments that are often unpredictable when assessing the life cycle of the asset; obsolescence is in fact difficult to estimate because it is linked to very heterogeneous political, social, cultural and

economic phenomena and can subvert the environmental impact forecasts made during the project or adaptation. Therefore other parameters must be considered as a corollary of the LCA, we refer to those parameters that make the building stable in its configuration and functionality so as to guarantee the maintenance over time of the conditions provided during the impact assessment; some of these parameters may also be outside the building itself, in relations with the context and in integration with the urban fabric.

Life Cycle Assessment and Environmental Certification

In environmental and sustainable design, the verification phase takes on great importance because it aims to learn about the construction quality of the building¹, i.e. the satisfaction of the classes of need for well-being and environmental protection. Currently there are no regulatory obligations in force, but different methods and approaches have spread over time; these can however be cataloged in three sets: evaluations based on the life cycle of the products; evaluations based on multi-criteria methods; evaluations based on synthetic methods (Filagrossi Ambrosino, 2009 [4]). Those concerning the life cycle of the products are methods that evaluate the environmental impacts of the production processes according to the life cycle indications. The reference standard is ISO 14040², which subdivides the analysis phases into: a) goals and objectives, or purposes, functional units, boundaries, data for evaluation and limits of representativeness of the model; b) LCI (Life Cycle Inventory) that identifies the incoming flows of matter and energy, and the consequent outflows of each process of transformation and transport of the product system, in order to construct the relative theoretical model; c) LCIA (Life Cycle Impact Assessment) which studies the environmental impact of the process to know the imbalances caused by the release of waste in the environment; d) Life Cycle Interpretation which identifies the changes to reduce the impact of the system on the environment.

Some methods are able to perform the evaluation of the entire cycle, considering the building intervention as a product system, while others perform only an inventory analysis or an impact analysis. However, LCA based methods are very complex, and require specialization in data management, but provide analytical and, therefore, extremely reliable results. The most common methods are: EDIP 2003, Eco-indicators '99; EPS 2000; BEES 4.0. Multicriteria methods are methods that evaluate quality through a multi-criteria system, i.e. based on a protocol articulated in the following phases: 1) establish a set of requirements; 2) establish the criteria for satisfying the requirements, such as indicators and threshold values; 3) evaluate the scores to be attributed to the satisfaction of the requirements, and their weights; 4) perform the evaluation and the sum of the various scores obtained. Compared to generic methods, those oriented to eco-sustainability and environmental design use criteria aimed at satisfying the requirements belonging to the classes of well-being and environmental

protection. The reference standards in this case are ISO 14020³ (ecological labels, i.e. certifications on products with a low environmental impact) and UNI 11277: 2008⁴ (indications on the criteria to adopt in the evaluation systems).

This last standard – now withdrawn without replacement – provided with a theoretical framework internally coherent but disagreeing with what was stated in the previous standards⁵, has the merit of setting the classes into individual needs; these refer to the phases of the construction life cycle and, finally, to the related requirements.

The same requirements, as many as 37 (see tab. 1), are all subject to precise definition, avoiding the generality of the norms⁶ of the 80s and 90s which has produced a marginal applicability. Environmental labels are based on multi-criteria checklist analysis systems; building evaluation systems are instead of the scoring type. In the evaluation of the environmental project it is possible to use both methods: in the first case, it is required that the project uses only materials and components with ecological labeling; in the second, that the project is estimated through a multi-criteria method for the environmental assessment of buildings (see figs. 02 and 03).



Fig.2 – Most wide spread environmental labels (Girardi, 2011 [5]).

Fig.3 - Environmental assessment systems for buildings

Synthetic methods are evaluation methods composed of quantitative indicators, ie variables. They need assessors with specific skills, and they are often based on complex models of reality interpretation.

The UNI EN ISO 14025⁷⁷ standard regulates the principles and procedures for type III labels, which also use LCA systems, introducing an Environmental Declaration on construction products, EPD (Environmental Declaration of Building Products), applicable to both materials and components, and allows you to know the performance in a more scientific and less ambiguous way than the previous environmental sustainability labels.

The Environmental Product Declaration (EPD) uses the LCA (Life Cycle Assessment) as a method for identifying and quantifying environmental impacts; the application of the LCA must be in accordance with the ISO 14040 series standards, in order to guarantee the objectivity of the information contained in the declaration.

The EPD is applicable to products or services, regardless of their use or positioning in the production chain; furthermore, a classification is made in well-defined groups so that comparisons can be made between functionally equivalent products or services; it is finally verified and validated by a certification agency that guarantees the information contained in the LCA study and in the declaration.

The certification is voluntary: the producers have no obligation to evaluate their products according to these principles; some online sources⁸ say that in 2018 in Italy the products with EPD declaration were 255, and that our country is in first place in the world; at regional level, Emilia Romagna is the first (115 declarations), followed by Lombardy (54), Veneto (35) and Abruzzo (15). Among the synthetic methods, oriented exclusively to the use of energy resources, it is also possible to include the methods for the energy certification of buildings: through the evaluation of heat loss and the efficiency of mechanical systems, they classify a building according to its annual consumption. ENEA (National Agency for Alternative Energy) provides an evaluation program, always updated with respect to legislative changes, which is available online⁹.

Possible building innovations for a sustainable future while respecting local culture

In the syntax of an architectural project, the term “construct”, refers to an action aimed at “putting together, composing, founding”. It involves placing the individual parts of the architecture and their arrangement or connections according to the use and mastery of geometric rule. Rules and syntax generate the architectural configuration that then links the shapes to the structure and the structure to the type and quantity of materials. This principle also spills over into the virtual three-dimensional space that becomes the focus of a clear process where the designer has the possibility of being able to interact and dialogue with his own intuition, reflecting on the spatial and geometric qualities of the object. While at the same time simulating the behaviors and the infinite formal and responsive variables in which the “form” can be verified in real time through simple questioning

Classe di esigenza	Esigenza	Fase del ciclo di vita	Requisito	
Salvaguardia dell'ambiente	Salvaguardia dell'ambiente	Fase produttiva fuori opera	■ Utilizzo di materiali, elementi e componenti a ridotto carico ambientale	
		Fase produttiva in opera - Esecuzione	■ Gestione ecocompatibile del cantiere	
		Fase produttiva in opera - Manutenzione	■ Riduzione degli impatti negativi nelle operazioni di manutenzione	
		Fase produttiva in opera - Demolizione	■ Gestione ecocompatibile dei rifiuti	
	Salvaguardia della salubrità dell'aria e del clima	Fase funzionale	■ Riduzione dell'emissione di inquinanti dell'aria climalteranti – gas serra	
		Fase funzionale	■ Massimizzazione della percentuale di superficie drenante	
	Salvaguardia dell'integrità del suolo e del sottosuolo	Fase funzionale	■ Contenimento dell'area di sedime degli edifici	
			■ Recupero ambientale del terreno di sbancamento	
		Salvaguardia dei sistemi naturalistici e paesaggistici	Fase funzionale	■ Protezione delle specie vegetali di particolare valore e inserimento di nuove specie vegetali
				■ Tutela e valorizzazione della diversità biologica del contesto naturalistico ■ Adeguato inserimento paesaggistico nel contesto, anche in relazione al rispetto delle visuali e alla compatibilità con la morfologia del terreno
Utilizzo razionale delle risorse	Utilizzo razionale delle risorse	Fase produttiva fuori opera	■ Utilizzo di materiali, elementi e componenti riciclati ■ Utilizzo di materiali, elementi e componenti ad elevato potenziale di riciclabilità	
		Fase produttiva in opera - Esecuzione	■ Utilizzo di tecniche costruttive che facilitino il disassemblaggio a fine vita	
	Fase produttiva in opera - Manutenzione	■ Utilizzo di materiali, elementi e componenti caratterizzati da un'elevata durabilità		
	Utilizzo razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti	Fase funzionale	■ Raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani	
			■ Riduzione del consumo di acqua potabile ■ Recupero, per usi compatibili, delle acque meteoriche	
	Utilizzo razionale delle risorse idriche	Fase funzionale	■ Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il riscaldamento	
			■ Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il raffrescamento e la ventilazione igienico-sanitaria	
■ Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per l'illuminazione ■ Isolamento termico ■ Inerzia termica per la climatizzazione				
Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche - requisiti geometrici e fisici	Fase funzionale	■ Riduzione del fabbisogno d'energia primaria e sostituzione di fonti energetiche da idrocarburi con fonti rinnovabili o assimilate		
		■ Riduzione di scambi termici radiativi tra persona e superfici circostanti in periodi di sovrariscaldamento ■ Aumento di scambi termici radiativi in periodi di sottoriscaldamento ■ Controllo degli effetti del vento dominante invernale ■ Controllo degli effetti del vento dominante estivo		
Benessere, igiene e salute dell'utente	Benessere termico degli spazi esterni	Fase funzionale	■ Controllo adattivo delle condizioni di comfort termico	
			■ Riduzione degli effetti di disturbo visivi	
	Benessere visivo degli spazi esterni	Fase funzionale	■ Illuminazione naturale	
			■ Protezione degli spazi d'attività esterni da fonti di rumore esterne agli spazi stessi	
	Benessere visivo degli spazi interni	Fase funzionale	■ Protezione degli spazi interni da fonti di rumore	
			■ Protezione degli ambienti e degli spazi esterni da variazioni del fondo elettromagnetico generato da fonti artificiali ■ Impianto elettrico e disposizione degli elettrodomestici, in modo da esporre gli utenti a valori minimi di campo elettromagnetico	
	Benessere acustico degli spazi esterni	Fase funzionale	■ Riduzione delle emissioni tossiche/nocive di materiali, elementi e componenti	
			■ Riduzione delle concentrazioni di radon	
Benessere acustico degli spazi interni	Fase funzionale	■ Riduzione delle emissioni tossiche/nocive di materiali, elementi e componenti		
		■ Riduzione delle concentrazioni di radon		

Tab.1- Criteria for evaluation systems articulated according to the standard UNI 11277:2008 (in Italian)

or overlapping. Today, architecture has new and revolutionary expressive possibilities such as modeling software and the introduction of parametric technologies that infinitely expand what can be designed. This condition has generated an inevitable geometric complexity of buildings, not always supported by real technical feasibility. Today, three-dimensional printing technologies and their continuous evolution offer new research prospects that represent one of the ways to pursue environmental sustainability.

The need to optimize natural resources allows for identifying strategies aimed at “adding” to nature and not “removing” from it. There is also a need to implement and support innovation in the production of new products and systems. While at the same time highlighting those production processes that take into account the need to limit energy consumption not only during the process itself but, also, in all subsequent phases (operation, demolition, disposal). The advantage of visualizing and manipulating architecture in its spatiality can be accomplished. Systems and technologies like Digital Fabrication, Advanced Prototyping and Mass Customization are useful for the generation and management of complex forms. The opportunity to be able to use 3D printing for the different moments and the different scales of a project, all contribute to the development of prefabricated components that can adapt to external microclimatic conditions, in order to maintain stability and energy compatibility over time. Also in relation to the structure of the building as a whole, depending on the quantity and need of people occupying it, using 3D printing allows you to re-interpret the building and the material used.

For example, ancestral mud buildings were characterized by easy availability on site. They had an ecological footprint close to zero, as well as thermal inertia, humidity and self-regulating transpiration which guaranteed long-lasting internal comfort conditions.

By combining the clay with current manufacturing technologies, it is possible to develop products that contain high bioclimatic performance and high mechanical resistance. This is what some recent experiments and achievements in the field of architectural technology have demonstrated, both within and outside the Mediterranean area. Mention is first made, for example, to eco-oriented housing modules developed by manufacturers of 3D printers and then later, or in parallel, these manufacturers were engaged in the development of large-scale on-site schemes, thanks to the collaborations with Universities and Centers of research. WASP, a leading company in the field of 3D printing founded in Italy, in 2018 proposed the first 3D printed home study using the new additive and collaborative technology Crane WASP. The natural materials used came from the surrounding area such as raw earth, cement mortars, and geopolymers¹⁰. With similar systems and construction techniques, the TerraPerforma Project¹¹ (see fig. 4) of the IAAC (Institute of Advanced Architecture Catalonia), proposes the joint use of robotic fabrication, on-site printing and natural materials such as clay (uncooked), for the production of high-performance bioclimatic buildings and their real-time monitoring during construction. These prototypes and the continuous technological updates underline the possibility of

realizing artifacts, possibly customized according to the needs of the end user, with high technical-formal aspects, and a view towards environmental sustainability and resource savings. It also emphasizes the flexibility of execution of the components (building and technology), as well as the ease of disposal of the various elements, considering the possibility to reuse the selected materials, or parts of the building itself, in the realization process of new components. There is another advantage in using these “techniques”, which is the speed of execution - more or less short - which opens new perspectives in the direction of housing emergency management.



Fig.4 - TerraPerforma Project (credit: www.needlab.org)

The objective of housing emergency management has been pursued, for example, by the US startup company ICON, which proposes printed houses of up to 75 square meters¹², at a low cost, to manage housing emergencies in the world, using their patented material that combines easily found raw materials with special additives.

Making a space-time parallelism, it is important to point out that the Neapolitan architect Fabrizio Caròla¹³ has used for his creations “raw earth” and “bricks” since the 1980s. With his simple work method (pencil, compass, squared sheet), far from the technicalities and technological of the avant-gardes, he has succeeded in generating structures for the apparently poor members of society but rich in knowledge, innovation, and tradition.



Fig.5 - Point Sahel (F. Carola, 1995), Mopti, Mali

A “parametric without knowing” it, with his “wooden compasses” and knowledge (Alini, 2016 [5]), he managed to organize the geometric shape of the dome and to model the bricks in clay according to precise movements. While managing, among other things, the relationship between the materials used and the cultural context that brings back the inseparable link that exists between the development of a territory and the enhancement of the resources it possesses (see fig. 5).

This is not trivial architecture but (i) the result of precise geometries, (ii) optimization of the relationship between structure and form with

the passage from the round to the ogive dome, (iii) simplification of site operations, (iv) energy flows and exchanges, (v) internal comfort, (vi) ease of disassembly and / or disposal and / or re-use of materials. This last activity is highlighted with the demolition, in 2014, of the Kaédi Regional Hospital in Mauritania, built between 1981 and 1985, where the local workers, previously “trained” by Caròla himself in the construction, recovered the demolished and disused materials to build, near the area itself, their new villages.

Other independent researches, such as those done by the Swiss studio Gramazio-Kohler Architects¹⁴, develop solutions for external facades and interior lining capable of restoring additional functions to the elements such as, for example, the optimization of acoustics or the flow of sunlight inside the building (see fig. 6).

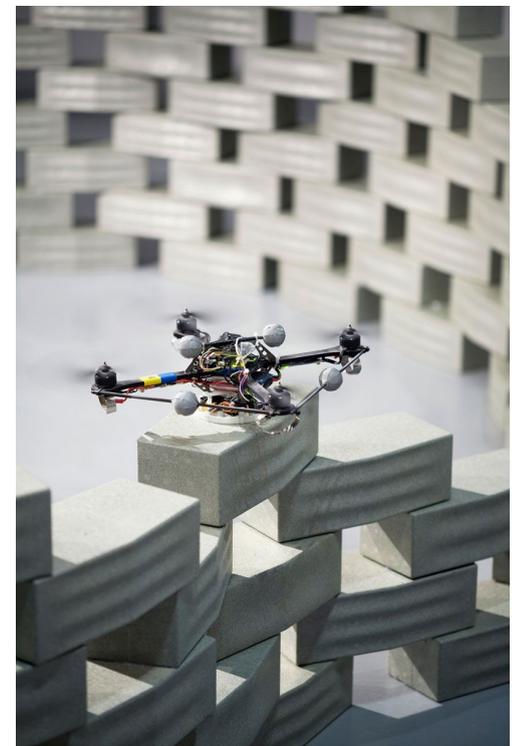


Fig.6 - Flight Assembled Architecture (2011-2012), FRAC Centre Orléans (credit: www.gramaziokohler.com)

Their achievements have inspired, among other things, the work of the Iranian architectural firm founded by HosseinNaghavi-Sstudiomm- which has developed a digital technique¹⁵ for laying bricks and a “do-it-yourself kit” for architects interested in this innovative system (see fig.7). The project intends to identify alternative on-site methods for reproducing complex formal effects, having limited budgets available and also avoiding the use of robots in the laying phase and respecting local culture and material tradition. These projects, both the prototypes and the realizations suggest that there are possible technological solutions in the direction of building envelope and the realization of technological components with additional functions with respect to the mere covering or protection function, to be used ex-novo or in retrofit during architectural interventions. In fact, the building envelope and the lining represent the convergence of a dual field of investigation that concerns the “sensitization of the surface oriented to favor new modes of tactile interaction (haptic) as well as the communicative aspect on the plane of visual interaction” (Dal Buono and Scodeller, 2016 [6]). Therefore, it is not a mere division

between internal and external, but an autonomous, almost “living” apparatus, an element of protection and mediation enriched with technological, synaesthetic or cultural aspects, “capable of producing and receiving stimuli”.



Fig.7 - Negative Precision (Sstudiomm, 2016): particolare della facciata (credit: <https://sstudiomm.wordpress.com/>)

In this sense, even if through the use of different materials, the INDELAB (Digital design and fabrication research lab)¹⁶ of the Politecnico di Milano has developed an innovative and advanced method for the rapid manufacture of elements for hi-tech architectural coatings. This system allows the production of molds for geometrically complex architectural elements at advantageous costs compared to traditional methods. Mass customization, speed of implementation and cost-effectiveness of the intervention are the characteristics of this construction method which has led, among other things, to the development of other adaptable shading and facade lining systems such as, for example, Shark and Shivers. In the field of architecture research and experimentation, digital fabrication, and industrial automation, we have witnessed in recent years a convergence of thought, production and design interests that are completely new. The innovative experimentation processes have led to the use of parametric software and anthropomorphic robots for innovative new constructions. Along with new and flexible on-site assembly methods¹⁷ (see fig. 8), new computational compositions, new unpublished functional applications, and new explorations. On the basis of the examples presented, it is evident that research, both academic and individualistic, follows a precise direction towards the development of solutions that are bioclimatic, eco-compatible, bio-regionalist, highly technological, flexible, communicative, adaptive, replicable and that give high value.

In the contemporary Euro-Mediterranean debate, this aspect reinforces the centrality of the theme of innovation by posing questions that go far beyond the architectural and urban context, precisely by virtue of the complexity inherently to

the very nature of the matter, the city, and its evolution. The need to interact at various levels and with the different disciplines investing in architectural technology, the certification of materials and components, the regulatory aspect in order to raise awareness of the world of industrial production is thus outlined more and more, promoting certified production cycles that integrating the efficiency of materials with environmental and economic

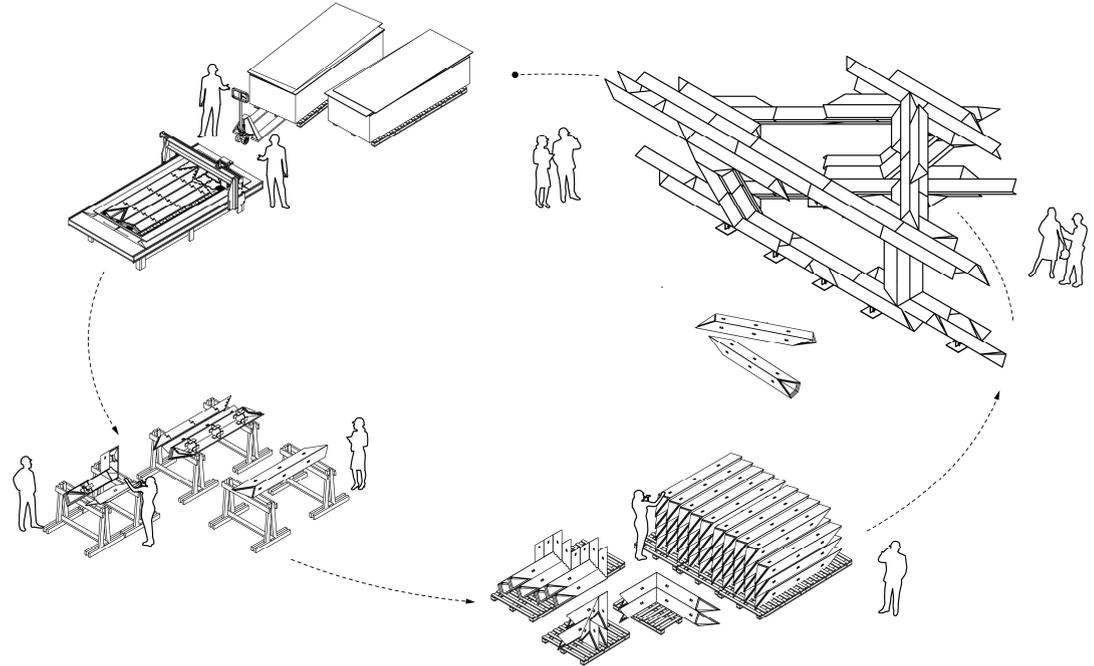


Fig.8 - Tallin Architecture (Biennale 2017): schema di montaggio/smontaggio (credit: Gilles Retain Architecture)

compatibility. As well as preserving and enhancing the ecosystems and the biological cycles of nature.

The contribution is the result of a common reflection by the Authors. Despite this, the paragraph entitled “The relationship between technological innovation and bioregional culture” is to be attributed P. De Joanna; the paragraph entitled “Life Cycle Assessment and Environmental Certification” is to be attributed to L. Buoninconti, while the paragraph entitled “Possible building innovations for a sustainable future while respecting local culture”, is to be attributed to G. Vaccaro.

REFERENCES

- [1] L. Cutaiia et al. (2018), “Comparative LCA of renovation of buildings towards the nearly Zero Energy Building”, in G. Mondello, M. Mistretta, R. Salomone, A. Dominici Loprieno, S. Cortesi, E. Mancuso (eds), *Life cycle thinking in decision-making for sustainability from public policies to private business | Proceedings of the 12th Italian LCA Network Conference, Messina, 11-12th June 2018*, ENEA Technographic Laboratory – Frascati Research Centre, Frascati, pp. 14-21.
- [2] F. Ardente et al. (2017), “Assessment of resource efficiency in a life cycle perspective: the case of reuse”, in V. Nicolucci, A. Dominici Loprieno, S. Maranghi, S. Scalbi (eds), *Resource efficiency and Sustainable Development goals: il ruolo del Life Cycle Thinking | XI Convegno della Rete Italiana LCA, Siena 22-23 giugno 2017*, ENEA, Siena, pp. 2-9.
- [3] M. Giammetti (2013), “Processi di rigenerazione urbana e riciclo dei materiali per l’edilizia provenienti da complessi urbani in dismissione”, in Scalbi, S., Reale, F. (eds), *Life cycle assessment e ottimizzazione ambientale: esempi applicativi e sviluppi metodologici | Atti del VII convegno della Rete Italiana LCA, Milano 27-28 giugno 2013*, ENEA Agenzia per le Nuove Tecnologie l’Energia e

lo Sviluppo Economico Sostenibile, Rome, pp. 207-218.

- [4] C. Filagrossi Ambrosino (2009), *Strumenti per la verifica della sostenibilità dei prodotti edilizi con materiali avanzati*, tesi di Dottorato in Tecnologia dell’Architettura, Università degli Studi di Napoli “Federico II”, Naples. [Online] Available at: www.fedoa.unina.it/4127/ [Accessed 4 December 2009].
- [5] C. Girardi, (2011), *Eco-efficienza e innovazione tecnologica nella produzione industriale per*

l’edilizia. Criteri per la selezione di prodotti per gli interventi di retrofit, Tesi di Dottorato in Tecnologia dell’Architettura, Università degli Studi di Napoli “Federico II”, Naples. [Online] Available at: www.fedoa.unina.it/8895/ [Accessed 6 December 2011].

- [6] L. Alini (2016), *Fabrizio Carola. Opere e progetti 1954-2016*, CLEAN Edizioni, Naples.
- [7] V. Dal Buono, D. Scodeller (2016), “Integumentary design. Involucri sensibili e sinestesi di superficie”, in *MD Journal*, vol. 1, pp. 166-175.

NOTES

1. Cfr. UNI 10838:1999, *Edilizia. Terminologia riferita all’utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia*, 1999.
2. Cfr. ISO 14040:2006, *Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento*, 2006.
3. Cfr. UNI EN ISO 14020:2002, *Etichette e dichiarazioni ambientali – Principi generali*, 2002.
4. Cfr. UNI 11277:2008, *Sostenibilità in edilizia – Esigenze e requisiti di ecocompatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione*, 2008. Standard withdrawn without replacement.
5. New requirements are defined, different from those included in the UNI 8290-2:1983.
6. The standards are: UNI 8289: 1981, which defines seven classes of need; the UNI 8290-1: 1981, which defines the technological system, identifies classes of technological units, technological units and classes of technical elements, and the criteria for identifying the technical elements; the UNI 8290-2: 1983, which defines 63 requirements and analysis criteria; the UNI 8290-3: 1987, which defines and analyzes the agents and actions that are exercised on the building system under operating conditions; the UNI 10838: 1999, which establishes the terminology to be adopted in relation to the end-user. The first two, closely related to the demand-performance analysis,

leave different aspects unresolved, to the detriment of operations, and in particular: classes are defined but not needs; the requirements are not attributed to the different classes (they should refer to the needs, but these have not been defined), nor to the technical and / or spatial elements.

7. Cfr. UNI EN ISO 14025:2010, *Etichette e dichiarazioni ambientali – Dichiarazioni ambientali di Tipo III – Principi e procedure*, 2010.
8. www.arpae.it/cms3/documenti/sostenibilita/EPD/EPD_2014Certificati_a_livello_mondiale_giugno_2018.pdf [Accessed June 2018].
9. See: www.docet.it/cnr.it [Accessed 1 June 2018].
10. Reference is made to the project GAIA created with natural material like raw earth, cement mortars, and geopolymers. For additional information on the project visit the link: www.3dwasp.com/stampante-3d-per-case-crane-wasp/ [Accessed 10 March 2019].
11. For additional information on the project and the developed system please visit the link: <https://iaac.net/project/terraperforma/> [Accessed 10 March 2019].
12. The American company proposes small housing which can be constructed in 12/24 hours, at a maximum cost of \$6,000. For additional information please visit the link: www.iconbuild.com/about e <https://newstorycharity.org/innovation/> [Accessed 10 March 2019].
13. «The construction technique used by Caròla is based on the use of the "compass", an instrument recovered from the ancient Nubian construction tradition [...]. A technique that allows the construction of self-supporting domes without the aid of wood centers, [...] that Caròla evolves in terms of expressive and figurative possibilities [...], indicating new possible developments in the field of parametric design» (Alini, 2016, p. 14).
14. This refers to in particular the projects: Ofenhalle, Pfungen, 2010-2012; GestaltungKuppelnBundesstrafgericht, Bellinzona, 2009-2013; FassadeWeingutGantenbein, Fläsch, Schweiz, 2006; Flight Assembled Architecture, 2011-2012. Cfr. For additional information visit the site: www.gramaziokohler.com [Accessed 26 June 2018].
15. The project is called Negative Precision and is inspired by the typical architecture of the Damavand city, in particular by the Scebeli tower which is interesting for the way the brick are laid out. Cfr. For additional information visit the site: sstudiomm.wordpress.com/ [Accessed 26 June 2018].
16. Cfr. per approfondimenti i siti web: www.indexlab.it; www.nieder.it [Accessed 28 March 2019].
17. Reference is made to the Pavilion designed by Gilles Retsin's architecture in Tallin, Estonia, in 2017, where separate blocks, such as Legos, can be assembled in a wide variety of ways. Based on the size of locally available compensation panels, it was built with a CNC machine and is mounted so that it can withstand structural loads. For further information, visit the website: www.retsin.org [Accessed 3 December 2017].

TECNOLOGIE SOSTENIBILI PER L'ARCHITETTURA BIO REGIONALISTA

Abstract

Il rapporto tra materiali impiegati e contesto culturale è un tema che riporta all'inscindibile legame che sussiste tra lo sviluppo di un territorio e la valorizzazione delle risorse che possiede. Tale rapporto ha caratterizzato nei secoli le regioni Euro-Mediterranee e, in particolare, i centri minori, laddove si rafforza il rapporto uomo-natura nella primordiale necessità dell'abitare 'con pochi mezzi', dove i vincoli territoriali, il clima e le risorse disponibili supportano un sistema di cultura materiale proattiva. Tali accezioni, unite al digital manufacturing e mass customization, portano a un ripensamento del processo

tecnologico dell'architettura, nel rispetto dell'identità storico-culturale locale, dei principi di tutela ambientale e Life Cycle Assessment.

Keywords: *Tradizione, materiali, certificazioni, edilizia euro-mediterranea, digital manufacturing.*

Il rapporto tra innovazione tecnologica e cultura bioregionalista

L'istanza bioregionalista si basa su di un assunto molto chiaro: determinare un'inversione di tendenza, creare un'economia che minimizzi l'impoverimento ambientale e ottimizzi l'impiego delle risorse rinnovabili e del lavoro creativo. Alla base di questo processo si deve consolidare uno stretto rapporto tra l'economia industriale, il territorio e le risorse che offre. Quando negli Stati Uniti nacque il bioregionalismo, negli anni '80, partiva da considerazioni prettamente ecologiche: la crescita e lo sviluppo delle società avanzate consumano risorse del pianeta non rinnovabili delineando scenari futuri molto conflittuali per l'approvvigionamento globale. Condividere le istanze del bioregionalismo non significa però chiusura verso altre realtà regionali e culturali; gli scambi culturali e tecnologici devono alimentare continuamente la crescita locale attraverso l'importazione di saperi e tecnologie controllate nella direzione della valorizzazione delle risorse del territorio.

Il bioregionalismo promuove un progetto del territorio in continuità con la tradizione, dando alla parola continuità un senso critico, di contenuto profondo, non solamente formale e apparente, limitato alla riproduzione di soluzioni costruttive fintamente tradizionali, ma orientato alla ricerca e allo sviluppo di tecnologie adatte alle nuove esigenze locali attraverso l'uso di materiali facilmente reperibili in loco o materiali di recupero. L'obiettivo quindi si sposta dal repertorio iconografico degli archetipi alla ricerca di nuove tecnologie, intrinsecamente connesse al territorio, ai materiali e alle forme della tradizione, per il soddisfacimento di nuovi bisogni. Si afferma quindi, un approccio alla tutela della cultura materiale intesa come risposta a bisogni specifici dell'abitare in economie di risorse; l'immissione sul mercato di nuovi materiali e tecnologie deve essere regolamentata, non impedita al solo scopo di congelare le espressioni dell'architettura in un romantico tradizionalismo legittimato dai regolamenti edilizi. Un uso corretto delle risorse e delle tecnologie deve essere teso a individuare innovazioni correttamente integrate al contesto, in linea con i principi sulla tutela delle diversità locali a sostegno delle diversità culturali che compongono l'articolato mosaico dell'identità europea. Queste riflessioni portano in evidenza l'importanza della valutazione di compatibilità rispetto al contesto culturale nella scelta e nell'impiego dei materiali da costruzione affinché verifichino a lungo termine criteri di appropriatezza alle caratteristiche del luogo e adeguatezza alle esigenze dell'abitare contemporaneo e della moderna economia. In questa ottica acquistano rilevanza i temi della durabilità e resilienza nella riqualificazione degli edifici esistenti: il concetto di durabilità, oramai presente nelle norme tecniche per le costruzioni, diventa un parametro di valutazione obbligatorio non soltanto per la componente strutturale ma anche per tutte le componenti che garantiscono, nel loro insieme, l'efficienza della costruzione nel tempo, e la rispondenza ai criteri di sostenibilità ambientale. Le sfide ambientali possono essere gestite solo se i parametri di sostenibilità sono mantenuti costanti nel tempo, quindi la durabilità degli interventi di riqualificazione degli edifici è condizione per stabilizzare la resilienza delle città; va altresì considerato che la durabilità non deve essere riferita al solo deperimento materiale ma anche come capacità di resistere ai processi di obsolescenza, la durabilità, in questo senso, va progettata tenendo conto che l'integrazione di tecnologie innovative non deve determinare soluzioni progettuali di breve termine. Sotto il profilo ambientale i materiali devono essere valutati in maniera completa, considerando gli impatti derivanti dall'approvvigionamento, il trasporto e la lavorazione dei materiali da costruzione nonché le

possibili ricadute sulla salute degli abitanti dovute a emissioni di sostanze nocive. Nella valutazione di impatto ambientale devono altresì essere considerate le prestazioni rispetto alla qualità dell'ambiente interno in termini di comfort termo-igrometrico, acustico e visivo; in genere i materiali sono valutati solo secondo il costo di base primario, trascurando i costi ambientali e sociali provenienti dall'intero ciclo di vita del manufatto. È oramai noto che l'impatto ambientale dei prodotti vada valutato per tutto il ciclo di vita del manufatto fino alla dismissione e re-immissione nei cicli produttivi. Meno diffusa tuttavia è la consapevolezza che il prodotto edilizio – ancorché progettato e realizzato con attenzione all'impattività dei materiali e degli impianti – possa produrre impatti negativi sulla salute degli occupanti a causa della presenza di particelle volatili di sostanze di sintesi molto diffuse nell'arredamento e nelle finiture che permangono negli ambienti indoor sigillati all'insegna del contenimento dei consumi energetici, vanificando così l'impegno progettuale rivolto al controllo dell'impatto ambientale della costruzione. Oggetto di studi recenti, pubblicati nell'ambito del Convegno della Rete Italiana LCA è infatti la valutazione dell'impatto prodotto dalle tecnologie e dai materiali messi in opera per la realizzazione dei progetti di edifici a basso indice di emissioni (nZEB), si configura appunto il rischio che edifici progettati per rispettare l'ambiente attraverso il contenimento delle dispersioni e l'adozione di tecnologie passive per il risparmio energetico integrino però soluzioni tecniche impattive per l'ambiente o anche per la salute degli abitanti (Cutaia et alii, 2018 [1]). Nondimeno va tenuto in considerazione che vi sono indicatori "non energetici" che non vengono di solito presi in considerazione dai più diffusi metodi di valutazione ma che possono significativamente incidere sul bilancio, sia positivamente che negativamente (Ardente et alii, 2017 [3]). "Il grado di sostenibilità rispetto all'ambiente di un materiale non è una sua proprietà intrinseca, ma scaturisce dal continuo rimando tra progetto, composizione e conformazione dell'architettura, tecniche di realizzazione e produzione ed il materiale stesso" (Giammetti, 2013, p. 207 [2]). In realtà il controllo dell'impatto ambientale attraverso la valutazione delle caratteristiche del prodotto e del processo edilizio sono solo una parte degli aspetti legati al ciclo di vita dei manufatti; la non obsolescenza di un edificio è un altro parametro di fondamentale importanza dal punto di vista ambientale; le funzioni a cui sono destinati gli edifici sono soggette a cambiamenti nel tempo, secondo variabili molteplici e pertanto richiedono adeguamenti spesso imprevedibili in sede di valutazione del ciclo di vita del bene; l'obsolescenza è infatti difficilmente stimabile perché è legata a fenomeni molto eterogenei di tipo politico, sociale, culturale ed economico e può sovvertire le previsioni di impatto ambientale fatte in sede di progetto o di adeguamento. Quindi vanno considerati altri parametri a corollario della LCA, ci riferiamo a quei parametri che rendono l'edificio stabile nella sua configurazione e funzionalità così da garantire il mantenimento nel tempo delle condizioni previste durante la valutazione di impatto; alcuni di questi parametri possono essere anche al di fuori dell'edificio stesso, nelle relazioni col contesto e nell'integrazione con il tessuto urbano.

Life Cycle Assessment e Certificazioni ambientali

Nella progettazione ambientale e sostenibile, la fase di verifica assume una grande importanza in quanto ha lo scopo di conoscere la Qualità edilizia della costruzione¹, e cioè il soddisfacimento delle classi di esigenza del benessere e della salvaguardia dell'ambiente. Attualmente non sono in vigore obblighi normativi, ma nel tempo si sono diffusi metodi e approcci diversi che possono essere però catalogati in tre grandi insiemi: valutazioni basate sul ciclo di vita dei prodotti; valutazioni basate sui metodi a multicriteri; valutazioni basate su metodi sintetici (Filagrossi Ambrosino, 2009 [4]). Quelli riguardanti il ciclo di vita dei prodotti sono metodi che valutano gli impatti ambientali dei processi produttivi secondo le indicazioni del ciclo di vita.

La normativa di riferimento è la ISO 14040₂, che suddivide le fasi di analisi in: a) scopi e obiettivi, ovvero finalità, unità funzionali, confini, dati per la valutazione e limiti di rappresentatività del modello; b) LCI (Life Cycle Inventory – analisi di inventario) che individua i flussi in entrata di materia ed energia, e i conseguenti flussi in uscita di ogni processo di trasformazione e trasporto del sistema di prodotto, al fine di costruire il modello teorico relativo; c) LCIA (Life Cycle Impact Assessment – analisi degli impatti) che studia l'impatto ambientale del processo per conoscere i disequilibri provocati dal rilascio in ambiente dei rifiuti; d) Life Cycle Interpretation (interpretazione e miglioramento) che individua le modifiche per ridurre l'impatto del sistema sull'ambiente. Alcuni metodi sono in grado di effettuare la valutazione dell'intero ciclo, considerando l'intervento edilizio come un sistema di prodotto, mentre altri compiono esclusivamente un'analisi di inventario o un'analisi degli impatti. Ad ogni modo, i metodi LCA based sono molto complessi, e richiedono una particolare specializzazione nella gestione dei dati, ma forniscono risultati analitici e, di conseguenza, estremamente affidabili. I metodi più diffusi sono: EDIP 2003; Eco-indicators '99; EPS 2000; BEES 4.0. I metodi multicriteria sono metodi che valutano la qualità attraverso un sistema multicriteriale, e cioè che si basa su un protocollo articolato nelle seguenti fasi: 1) stabilire un insieme di requisiti da soddisfare; 2) fissare i criteri di soddisfacimento dei requisiti, quali gli indicatori e i valori-soglia; 3) valutare i punteggi da attribuire al soddisfacimento dei requisiti e i pesi ponderali degli stessi; 4) eseguire la valutazione e la somma tra i diversi punteggi ottenuti. Rispetto ai generici metodi, quelli orientati verso l'eco-sostenibilità e la progettazione ambientale utilizzano criteri orientati al soddisfacimento dei requisiti appartenenti alle classi del benessere e della salvaguardia dell'ambiente. Le norme di riferimento in tal caso sono la ISO 14020³ (etichette ecologiche, cioè certificazioni su prodotti a contenuto impatto ambientale) e la UNI 11277:2008⁴ (indicazioni sui criteri da adottare nei sistemi di valutazione). Quest'ultima norma – oggi ritirata senza sostituzione – munita di un quadro teorico internamente coerente ma discorde con quanto affermato nei precedenti standard⁵, ha comunque il merito di declinare le classi nelle singole esigenze; queste ultime a loro volta sono riferite alle fasi del ciclo di vita della costruzione e, infine ai relativi requisiti. Gli stessi requisiti, ben 37 (Tab. 1), sono tutti soggetti a puntuale definizione, evitando la generalità delle norme⁶ degli anni '80 e '90 che ne ha prodotto una marginale applicabilità. Le etichette ambientali si basano su sistemi di analisi multicriteria del tipo a check list, mentre i sistemi di valutazione della costruzione sono del tipo a punteggio. Nella valutazione del progetto ambientale è possibile utilizzare entrambi i metodi: nel primo caso, si richiede che il progetto impieghi solo materiali e componenti con etichettatura ecologica; nel secondo, che il progetto venga stimato attraverso un metodo multicriteria per la valutazione ambientale degli edifici (Figg. 1 e 2). I metodi sintetici sono i metodi di valutazione composti da indicatori di tipo quantitativo, cioè da variabili. Necessitano di competenze di settore da parte del valutatore, e spesso si basano su modelli complessi di interpretazione della realtà. La norma UNI EN ISO 14025⁷ regolamenta i principi e le procedure per le etichette di tipo III, che utilizzano anche sistemi provenienti dal mondo LCA, introducendo una Dichiarazione ambientale sui prodotti da costruzione, EPD (Environmental Declaration of Building Products), applicabile tanto ai materiali quanto ai componenti, e permette di avere assicurazioni più scientifiche e meno ambigue rispetto ai precedenti marchi di sostenibilità ambientale. La Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD) utilizza l'LCA (Life Cycle Assessment) come metodologia per l'identificazione e la quantificazione degli impatti ambientali; l'applicazione della LCA deve essere in accordo con quanto previsto dalle norme della serie ISO 14040, in modo da garantire l'oggettività delle informazioni contenute nella

dichiarazione. La EPD è applicabile a tutti i prodotti o servizi, indipendentemente dal loro uso o posizionamento nella catena produttiva; inoltre, viene effettuata una classificazione in gruppi ben definiti in modo da poter effettuare confronti tra prodotti o servizi funzionalmente equivalenti; viene infine verificata e convalidata da un organismo indipendente che garantisce la credibilità e veridicità delle informazioni contenute nello studio LCA e nella dichiarazione.

La certificazione è volontaria: i produttori non hanno alcun obbligo nel valutare secondo questi principi i loro prodotti; secondo alcuni⁸ nel 2018 in Italia i prodotti con dichiarazione EPD erano 255, il nostro Paese è al primo posto a scala mondiale; a livello regionale, l'Emilia Romagna risulta prima (115 dichiarazioni), seguita da Lombardia (54), Veneto (35) e Abruzzo (15). Tra i metodi sintetici, orientati esclusivamente all'impiego di risorse energetiche, è possibile annoverare anche i metodi per la certificazione energetica degli edifici: attraverso la valutazione delle dispersioni termiche e l'efficienza degli impianti, classificano una unità immobiliare in funzione dei suoi consumi annui. L'ENEA (Ente Nazionale per le Energie Alternative) mette a disposizione un programma di valutazione, sempre aggiornato rispetto alle modifiche legislative, che è disponibile in rete⁹.

Innovazioni possibili per un futuro sostenibile degli edifici nel rispetto della cultura locale

Nella sintassi del progetto architettonico, il termine "costruire", quale azione atta a "mettere insieme, comporre, fondare", prevede la collocazione delle singole parti dell'architettura e la loro disposizione e/o collegamento secondo l'uso e la padronanza della "regola" geometrica. Regola e sintassi generano, di fatto, la configurazione architettonica che lega la forma alla struttura e la struttura alla tipologia e quantità di materiali. Tale principio si riversa, anche, nello spazio tridimensionale virtuale che diviene il fulcro di un processo chiaro col quale, il progettista, ha la possibilità di poter interagire e dialogare con la propria intuizione, riflettendo sulle qualità spaziali e geometriche dell'oggetto, simulando i comportamenti e le infinite variabili formali e responsive in cui la "forma" può essere verificata e discretizzata in tempo reale attraverso una semplice interrogazione e/o sovrapposizione. L'architettura dispone oggi di nuove e rivoluzionarie possibilità espressive quali i software di modellazione e l'introduzione di tecnologie parametriche che ampliano infinitamente tutto ciò che poteva essere disegnato. Questa condizione ha generato un'inevitabile complessità geometrica degli edifici e della loro pelle, non sempre supportata da una reale fattibilità tecnica. Oggi, le tecnologie di stampa tridimensionale e la loro continua evoluzione, offrono orizzonti di indagine sempre nuovi che rappresentano, di fatto, una delle strade da perseguire verso la sostenibilità ambientale.

La necessità di ottimizzare le risorse naturali, individuando strategie atte ad "aggiungere" alla natura e non "sottrarre" ad essa, attuando e sostenendo l'innovazione nella produzione di prodotti/sistemi nuovi ed evidenziando quei processi produttivi che tengano conto, tra l'altro, della necessità di limitare i consumi energetici non solo nell'ambito del processo stesso ma, anche, in tutte le fasi successive (esercizio, demolizione, dismissione). Il vantaggio di visualizzare e manipolare l'architettura nella sua spazialità; i sistemi e le tecnologie di Digital Fabrication, Advanced Prototyping e Mass Customization utili alla generazione e gestione di forme complesse; l'opportunità di poter utilizzare il 3D printing per i diversi momenti e le diverse scale del progetto, tutti, concorrono allo sviluppo di componenti prefabbricati in grado di adattarsi in maniera flessibile alle condizioni microclimatiche esterne, al fine di mantenere nel tempo la stabilità e la compatibilità energetica, anche in relazione alla struttura stessa dell'edificio nel suo complesso, in funzione della quantità e necessità di persone che lo occupano, re-interpretando la tradizione costruttiva e materica locale.

Ad esempio, le costruzioni ancestrali in fango, erano caratterizzate dalla facile reperibilità sul posto, un'impronta ecologica prossima allo zero, nonché da inerzia termica, umidità e traspirazione autoregolante che garantivano condizioni di comfort interno di lunga durata.

Associando il materiale – argilla – alle attuali tecnologie realizzative, è possibile sviluppare componenti dalle alte prestazioni bioclimatiche e di alta resistenza meccanica. È ciò che dimostrano alcune recenti sperimentazioni e realizzazioni nel campo della tecnologia dell'architettura, sia in area mediterranea che extra mediterranea. Si fa riferimento, ad esempio, ai moduli abitativi eco-orientati sviluppati da aziende produttrici, prima, di stampanti 3D e, poi o parallelamente, impegnate nello sviluppo di sistemi on-site, di grandi dimensioni, scaturite anche da collaborazioni con Università e Centri di Ricerca. La WASP, azienda leader nel settore della stampa 3D made in Italy, nel 2018 propone il primo studio di casa stampata in 3D attraverso la nuova tecnologia additiva e collaborativa Crane WASP "con materiali naturali provenienti dal territorio circostante" quali, terra cruda, malte cementizie, geopolimeri¹⁰. Con sistemi e tecniche costruttive simili, il TerraPerforma Project¹¹ (Fig. 3) dell'IAAC (Institute of Advanced Architecture Catalonia), propone l'utilizzo congiunto di robotic fabrication, on-site printing e materiali naturali come l'argilla (non cotta), per la produzione di edifici ad alte prestazioni bioclimatiche e il loro monitoraggio in tempo reale durante la costruzione.

Tali prototipi, e i continui aggiornamenti tecnologici, sottolineano la possibilità di realizzare manufatti, eventualmente personalizzati in base alle esigenze dell'utente finale, con elevate caratteristiche tecnico-formali, nell'ottica della sostenibilità ambientale e del risparmio delle risorse. Pone, inoltre, l'accento sulla flessibilità di esecuzione dei componenti (edilizi e tecnologici), nonché sulla facilità di dismissione dei vari elementi ipotizzando, tra l'altro, di riutilizzare i materiali selezionati, o parti del manufatto stesso, nel processo di realizzazione di nuovi componenti. Esiste un altro vantaggio nell'utilizzo di queste "tecniche" ovvero, la velocità di esecuzione – più o meno breve – che apre prospettive nuove anche nella direzione della gestione dell'emergenza abitativa. Obiettivo quest'ultimo perseguito, ad esempio, dalla startup statunitense ICON, la quale propone case stampate con quadrature fino a 75 mq¹², ad un costo contenuto, per gestire le emergenze abitative nel mondo, utilizzando un loro materiale brevettato che unisce materie prime di facile reperibilità con particolari additivi. Effettuando un parallelismo spazio-temporale, è doveroso sottolineare che la "terra cruda" e il "mattoncino" sono stati la materia e il materiale che l'architetto napoletano Fabrizio Caròla¹³ ha utilizzato nelle sue realizzazioni già dagli anni '80. Con la sua semplicità di elaborazione (matita, compasso, foglio a quadretti), lontana dai tecnicismi e avanguardie tecnologiche, è riuscito a generare forme per il sociale apparentemente povere ma ricche di conoscenza, innovazione e tradizione. Un "parametricosaperlo", con il suo "compasso ligneo" e la sua conoscenza (Alini, 2016 [5]), riusciva a organizzare la forma geometrica della cupola e a modellare i mattoni in terra cruda secondo precisi movimenti gestendo, tra l'altro, quel rapporto tra i materiali impiegati ed il contesto culturale che riporta all'inscindibile legame che sussiste tra lo sviluppo di un territorio e la valorizzazione delle risorse che possiede (Fig. 4). Non banali architetture ma (i) risultato di precise geometrie, (ii) ottimizzazione del rapporto struttura forma con il passaggio dalla cupola a tutto sesto a quella a ogiva, (iii) semplificazione delle operazioni di cantiere, (iv) flussi e scambi energetici, (v) comfort interno, (vi) facilità di disassemblaggio e/o dismissione e/o riutilizzo dei materiali. Quest'ultima attività è evidenziata con l'abbattimento, nel 2014, dell'Ospedale Regionale Kaédi in Mauritania (Fig. 5), realizzato tra 1981 e il 1985, dove le maestranze locali, precedentemente "addestrate" dallo stesso Caròla nell'edificazione dei manufatti, recuperano i materiali

demoliti e dismessi per edificare, in prossimità dell'area stessa, i loro nuovi villaggi.

Altre ricerche indipendenti, come quelle dello studio svizzero Gramazio-Kohler Architects¹⁴, sviluppano soluzioni di facciata esterna e di rivestimento interno in grado di restituire agli elementi funzionali aggiuntive come, ad esempio, l'ottimizzazione dell'acustica o l'afflusso di luce solare all'interno dell'edificio (Fig. 6). Le loro realizzazioni hanno ispirato, tra l'altro, il lavoro dello studio di architettura iraniano fondato da HosseinNaghavi – Sstudiomm – il quale ha sviluppato una tecnica digitale¹⁵ di posa dei mattoni in laterizio e un "kit fai da te" (Fig. 7) per architetti interessati a questo innovativo sistema (Fig. 8). Il progetto intende individuare metodi alternativi on-site per riprodurre effetti formali complessi, avendo a disposizione budget limitati evitando, inoltre, l'impiego di robot in fase di posa e rispettando la cultura e tradizione materica e costruttiva locale. Questi progetti, prototipi e realizzazioni suggeriscono, di fatto, soluzioni tecnologiche possibili nella direzione della caratterizzazione dell'involucro edilizio e della realizzazione di componenti tecnologici con funzioni aggiuntive rispetto alla mera funzione di rivestimento/protezione, da utilizzare ex-novo o in interventi di retrofit architettonico. Infatti, l'involucro edilizio ed il rivestimento rappresentano la convergenza di un duplice campo di indagine che riguarda la "sensibilizzazione della superficie orientata a favorire nuove modalità di interazione tattile (aptica) nonché l'aspetto comunicativo sul piano dell'interazione visiva" (Dal Buono and Scodeller, 2016 [6]). Quindi, non mera divisione tra interno ed esterno, ma apparato autonomo, quasi "vivente", elemento di protezione e mediazione arricchito di aspetti tecnologici, sinestetici o culturali, "capace di produrre e ricevere stimoli".

In tal senso, seppure attraverso l'utilizzo di materiali differenti, l'INDEXLAB (Digital design and fabricationresearch lab)¹⁶ del Politecnico di Milano ha messo a punto un metodo innovativo e avanzato per la fabbricazione rapida di elementi per rivestimenti architettonici hi-tech.

Tale sistema consente la produzione di stampi per elementi architettonici geometricamente complessi a costi vantaggiosi rispetto ai metodi tradizionali. Mass customization, velocità di realizzazione ed economicità dell'intervento sono le caratteristiche di questo metodo realizzativo che ha portato, tra l'altro, allo sviluppo di altri sistemi adattivi controllabili di ombreggiamento e rivestimento di facciata come, ad esempio, Shark e Shivers, (Fig. 9).

Nel campo della ricerca e della sperimentazione per l'architettura, della fabbricazione digitale e dell'automazione industriale, si è quindi assistito negli ultimi anni ad una convergenza di interessi accademici, produttivi e progettuali del tutto inediti.

Gli innovativi processi di sperimentazione portano all'impiego di software parametrici e robot antropomorfi per costruzioni formalmente innovative, per nuove e flessibili modalità di assemblaggio in loco¹⁷(Fig. 10), per nuove composizioni computazionali, per nuove applicazioni funzionali inedite e nuove esplorazioni.

Sulla base degli esempi rappresentati, si evidenzia come la ricerca, accademica e individualista, segua una direzione precisa nello sviluppo di soluzioni bioclimatiche, eco-compatibili e bio-regionaliste, altamente tecnologiche, flessibili, comunicative, adattive, replicabili e ad alto valore aggiunto. Nel dibattito euro-mediterraneo contemporaneo, tale aspetto rafforza la centralità del tema dell'innovazione ponendo questioni che vanno ben oltre l'ambito architettonico ed urbano, proprio in virtù della complessità intrinseca alla natura stessa della materia, della città e della sua evoluzione.

Si delinea così, sempre di più, la necessità di interagire a vari livelli e con le differenti discipline che investono la tecnologia dell'architettura, la certificazione dei materiali e dei componenti, l'aspetto normativo al fine di sensibilizzare il mondo della produzione industriale a promuovere cicli produttivi certificati, che integrino l'efficienza dei materiali con la compatibilità

ambientale ed economica, preservando e valorizzando gli ecosistemi e i cicli biologici della natura.

Il contributo è il risultato di una comune riflessione degli Autori. Nonostante ciò il paragrafo dal titolo "Il rapporto tra innovazione tecnologica e cultura bioregionalista" è da attribuire a P. De Joanna; il paragrafo dal titolo "Life Cycle Assessment e Certificazioni ambientali" è da attribuire a L. Buoninconti mentre, il paragrafo dal titolo "Innovazioni possibili per un futuro sostenibile degli edifici, nel rispetto della cultura locale", è da attribuire a G. Vaccaro.

REFERENZE

- [1] L. Cutaia et al. (2018), "Comparative LCA of renovation of buildings towards the nearly Zero Energy Building", in G. Mondello, M. Mistretta, R. Salomone, A. Dominici Loprieno, S. Cortesi, E. Mancuso (eds), *Life cycle thinking in decision – making for sustainability from public policies to private business | Proceedings of the 12th Italian LCA Network Conference, Messina, 11-12th June 2018, ENEA Technographic Laboratory – Frascati Research Centre, Frascati, pp. 14-21.*
- [2] F. Ardente et al. (2017), "Assessment of resource efficiency in a life cycle perspective: the case of reuse", in V. Niccolucci, A. Dominici Loprieno, S. Maranghi, S. Scalbi (eds), *Resource efficiency and Sustainable Development goals: il ruolo del Life Cycle Thinking | XI Convegno della Rete Italiana LCA, Siena 22-23 giugno 2017, ENEA, Siena, pp. 2-9.*
- [3] M. Giammetti (2013), "Processi di rigenerazione urbana e riciclo dei materiali per l'edilizia provenienti da complessi urbani in dismissione", in Scalbi, S., Reale, F. (eds), *Life cycle assessment e ottimizzazione ambientale: esempi applicativi e sviluppi metodologici | Atti del VII convegno della Rete Italiana LCA, Milano 27-28 giugno 2013, ENEA Agenzia per le Nuove Tecnologie l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, Roma, pp. 207-218.*
- [4] C. Filagrossi Ambrosino (2009), *Strumenti per la verifica della sostenibilità dei prodotti edilizi con materiali avanzati, tesi di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Naples. [Online] Available at: www.fedoa.unina.it/4127/ [Accessed 4 December 2009].*
- [5] C. Girardi, (2011), *Eco-efficienza e innovazione tecnologica nella produzione industriale per l'edilizia. Criteri per la selezione di prodotti per gli interventi di retrofit, Tesi di Dottorato in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Napoli. [Online] Available at: www.fedoa.unina.it/8895/ [Accessed 6 December 2011].*
- [6] L. Alini (2016), *Fabrizio Carola. Opere e progetti 1954-2016, CLEAN Edizioni, Naples.*
- [7] V. Dal Buono, D. Scodeller (2016), "Integumentary design. Involucri sensibili e sinestesi di superficie", in *MD Journal*, vol. 1, pp. 166-175.

NOTE

1. Cfr. UNI 10838:1999, *Edilizia. Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia, 1999.*
2. Cfr. ISO 14040:2006, *Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita – Principi e quadro di riferimento, 2006.*
3. Cfr. UNI EN ISO 14020:2002, *Etichette e dichiarazioni ambientali – Principi generali, 2002.*
4. Cfr. UNI 11277:2008, *Sostenibilità in edilizia – Esigenze e requisiti di ecocompatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione, 2008. Norma ritirata senza sostituzione.*
5. Vengono definiti nuovi requisiti, diversi da quelli inseriti nella UNI 8290-2:1983.
6. Le norme sono: la UNI 8289:1981, che definisce sette classi di esigenza; la UNI 8290-1:1981, che definisce il sistema tecnologico, individua classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche e classi di elementi tecnici, ed i criteri per l'individuazione degli elementi tecnici; la UNI 8290-2:1983, che definisce 63 requisiti ed i criteri di analisi; la UNI 8290-3:1987, che definisce e

analizza gli agenti e le azioni che in condizioni di esercizio si esercitano sul sistema edilizio; la UNI 10838:1999, che stabilisce la terminologia da adottare in relazione all'utenza finale. Le prime due, strettamente legate all'analisi esigenziale-prestazionale, lasciano in sospeso differenti aspetti, a discapito dell'operatività, ed in particolare: vengono definite le classi ma non le esigenze; i requisiti non vengono attribuiti né alle diverse classi (in realtà dovrebbero essere riferiti alle esigenze, ma queste non sono state definite), né agli elementi tecnici e/o spaziali.

7. Cfr. UNI EN ISO 14025:2010, *Etichette e dichiarazioni ambientali – Dichiarazioni ambientali di Tipo III – Principi e procedure, 2010.*
8. Cfr. per approfondimenti il sito web: www.arpae.it/cms3/documenti/sostenibilita/EPD/EPD_2014Certificati_a_livello_mondiale_giugno2018.pdf [Accessed June 2018].
9. Cfr. per approfondimenti il sito www.docet.it/cnr.it [Accessed 1 June 2018].
10. Si fa riferimento al progetto GAIA sviluppata con l'utilizzo di materiali naturali a base di terra cruda, malte cementizie, geopolimeri. Per un approfondimento puntuale sul progetto si rimanda al link: www.3dwaspp.com/stampante-3d-per-case-crane-wasp/ [Accessed 10 March 2019].
11. Per un approfondimento puntuale sul progetto di ricerca e sul sistema sviluppato si rimanda alle fonti presenti sul sito web: <https://iaac.net/project/terraperforma/> [Accessed 10 March 2019].
12. La società americana propone piccoli nuclei abitativi, realizzati in 12/24 ore, ad un costo massimo di circa 6.000,00 \$. Per un approfondimento puntuale, si rimanda ai siti <https://www.iconbuild.com/about> e <https://newstorycharity.org/innovation/> [Accessed 10 March 2019].
13. «La tecnica costruttiva alla quale Caròla ricorre si fonda sull'uso del "compasso", uno strumento recuperato dalla antica tradizione costruttiva nubiana [...]. Una tecnica che consente di costruire cupole autoportanti senza l'ausilio di centine, [...] che Caròla evolve sul piano delle possibilità espressive e figurative [...], indicandoci nuovi possibili sviluppi nell'ambito della progettazione parametrica» (Alini, 2016, p. 14 [5]).
14. Si fa riferimento, in particolare, ai progetti: Ofenhalle, Pfungen, 2010-2012; Gestaltung Kuppeln Bundesstrafgericht, Bellinzona, 2009-2013; Fassade Weingut Gartenbein, Fläsch, Schweiz, 2006; Flight Assembled Architecture, 2011-2012. Cfr. per approfondimento il sito web: www.gramaziokohler.com [Accessed 26 June 2018].
15. Il progetto è denominato Negative Precision e prende ispirazione dalle architetture tipiche della città di Damavand, in particolare dalla torre Scabeli interessante per la particolare struttura e disposizione dei mattoni. Cfr. per approfondimento il sito web: <https://sstudiomm.wordpress.com/> [Accessed 26 June 2018].
16. Cfr. per approfondimenti i siti web: www.indexlab.it; www.nieder.it [Accessed 28 March 2019].
17. Si fa riferimento al Padiglione disegnato da Gilles Retsin Architecture a Tallin, in Estonia, nel 2017, dove blocchi separati, come i Lego, possono essere assemblati in una grande varietà di modi. Basati sulla dimensione di pannelli di compensato disponibili localmente, ogni foglio è tagliato con una macchina CNC ed è montato in modo da poter sopportare carichi strutturali. Per approfondimenti consulta il sito web: www.retsin.org [Accessed 3 December 2017].