

Rosa Romano<sup>1</sup>, Thaleia Konstantinou<sup>2</sup>, Francesco Fiorito<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italia

<sup>2</sup> Facoltà di Architettura e Ambiente Costruito, TU Delft, Olanda

<sup>3</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica, Politecnico di Bari, Italia

rosa.romano@unifi.it

t.konstantinou@tudelft.nl

francesco.fiorito@poliba.it

**Abstract.** Partendo da alcuni dei risultati della ricerca COST RESTORE l'articolo è finalizzato a promuovere l'adozione di un nuovo approccio metodologico al progetto sostenibile, in grado di garantire l'efficienza energetica dell'edificio ed il benessere psicologico e la salute dei suoi utenti tramite una ritrovata armonia con la natura. Nel dettaglio saranno presentate alcune delle più innovative soluzioni tecnologiche d'involucro e d'impianto utilizzabili per realizzare ambienti riparativi, individuando le connessioni esistenti tra progettazione e realizzazione di sistemi edilizi rigenerativi con l'obiettivo di definire un'idea di progetto caratterizzata da contaminazioni tipologiche e morfologiche di matrice ambientale.

**Parole chiave:** Progettazione riparativa; Progettazione biofilica; Progettazione rigenerativa; Innovazione tecnologica; Salutogenesis.

## Introduzione

La crisi climatica in atto e la recente pandemia mondiale possono essere considerate, secondo numerosi scienziati, come il risultato della devastante azione umana sulla natura e rappresentano la sua incapacità di evolversi nel rispetto della biodiversità e delle risorse naturali (Manzanedo and Manning, 2020; Caldas *et al.*, 2020; Di Marco *et al.*, 2020). Siamo di fronte ad una svolta epocale, che speriamo possa favorire una nuova rivoluzione industriale, caratterizzata da processi di ibridazione ed innovazione tecnologica che travolgeranno e trasformeranno positivamente i settori produttivi ed il nostro stile di vita. È quindi evidente la necessità di sviluppare nuovi approcci progettuali capaci di andare oltre il concetto stesso di sostenibilità, ed in grado di promuovere innovativi modelli dell'abitare attenti alla salute dell'uomo, che possano rigenerare, migliorandolo, l'ambiente con l'obiettivo di ripristinare in chiave ecologica gli "habitat umani" di cui facciamo parte.

Tale paradigma comportamentale è intrinsecamente connesso

Beyond sustainability.  
Regenerative  
technologies for a  
restorative indoor  
environment

**Abstract.** Starting from the results of the COST RESTORE research, the paper promotes the adoption of a new methodological approach to sustainable design capable of ensuring the energy efficiency of a building and the psychological well-being and health of its users by re-establishing harmony with nature. More specifically, it presents some of the most innovative technological envelope and system solutions used to create restorative environments, identifying existing connections between the design and implementation of regenerative building systems. The aim is to define a project idea that increasingly features typological and morphological contaminations of the environment.

**Keywords:** Restorative design; Biophilic design; Regenerative design; Technology innovation; Salutogenesis.

all'istanza promossa dai nuovi modelli progettuali associati ai concetti di *biophilic*, *regenerative* e *restorative design*, considerati settori epistemologici emergenti della ricerca architettonica contemporanea, al cui interno ripensare il ruolo della Tecnologia nel rapporto tra Cultura e Natura, e rispetto ai quali gli attori del processo edilizio sono incoraggiati ad interagire con saperi collocati oltre i confini delle loro specializzazioni tematiche tradizionali, quali l'ecologia, la medicina, la biologia, la fisiologia e la psicologia, nell'ottica dell'ibridazione culturale permanente, ma pur sempre all'interno di un approccio rigoroso in grado di legittimare le scelte operate.

Partendo da queste premesse, l'articolo presenta alcuni dei risultati della ricerca europea *COST Rethinking Sustainability Towards a Regenerative Economy* (COST RESTORE) che ha proprio l'obiettivo di fornire nuovi strumenti e conoscenze, favorendo lo scambio di buone pratiche a livello internazionale e influenzando i processi normativi europei attraverso la promozione di un nuovo concetto d'innovazione tecnologica, finalizzata a migliorare l'esperienza degli utenti, il comfort, la salute, il benessere all'interno e all'esterno degli edifici e in sintonia con l'ecosistema urbano e naturale (Brown *et al.*, 2018).

Nel dettaglio lo studio descritto in queste pagine è stato finalizzato a mappare e parametrizzare, attraverso l'utilizzo di indicatori prestazionali dedicati, alcune delle più innovative soluzioni tecnologiche d'involucro e d'impianto utilizzabili, singolarmente o in gruppo, per realizzare ambienti riparativi. Con questo obiettivo, si individueranno le connessioni esistenti tra la progettazione e la realizzazione di sistemi tecnologici rigenerativi e

## Introduction

Many scientists claim that the current climate crisis and the recent global pandemic can be considered the outcome of the devastating action of humans on nature and represent their inability to evolve with respect for biodiversity and natural resources (Manzanedo and Manning, 2020; Caldas *et al.*, 2020; Di Marco *et al.*, 2020). We are at an epoch-making turning point, which we hope will bring about a new industrial revolution marked by hybridization processes and technological innovation. This will overwhelm and transform the production sectors and our lifestyles in a positive way. There is, therefore, a clear need to develop new design approaches capable of going beyond the concept of sustainability and of promoting innovative models of living that are attentive to human health; models studied

to regenerate the natural environment, while also improving it, with the aim of restoring the "original human habitats".

This behavioral paradigm is intrinsically linked to the theme promoted by new design models associated with biophilic, regenerative and restorative design concepts considered to be emerging epistemological sectors of contemporary architectural research within which the role of technology can be redefined in the relationship between culture and nature. In this regard, actors in the building process are encouraged to interact by drawing on knowledge outside the range of their traditional thematic specializations, such as ecology, medicine, biology, physiology and psychology, with a view to permanent cultural hybridization, but always as part of a rigorous approach that can justify the choices made.

la rivoluzione digitale che ha investito il settore dell'architettura nell'ultimo decennio, generando importanti cambiamenti nelle dinamiche di gestione e validazione dei processi creativi e produttivi, rispetto ai quali si delinea un'idea di progetto sempre più caratterizzata da contaminazioni tipologiche e morfologiche di matrice ambientale.

**Restorative design e nuovi paradigmi progettuali**

Come precedentemente ricordato, negli ultimi anni l'architettura bioclimatica è stata caratterizzata dall'adozione di nuovi modelli progettuali di matrice biofilica, rigenerativa e riparativa che, in egual misura e spesso sovrapponendosi, hanno promosso un approccio *human center*, finalizzato a instaurare in modo più o meno evidente un ritrovato equilibrio con la natura (Fig. 1).

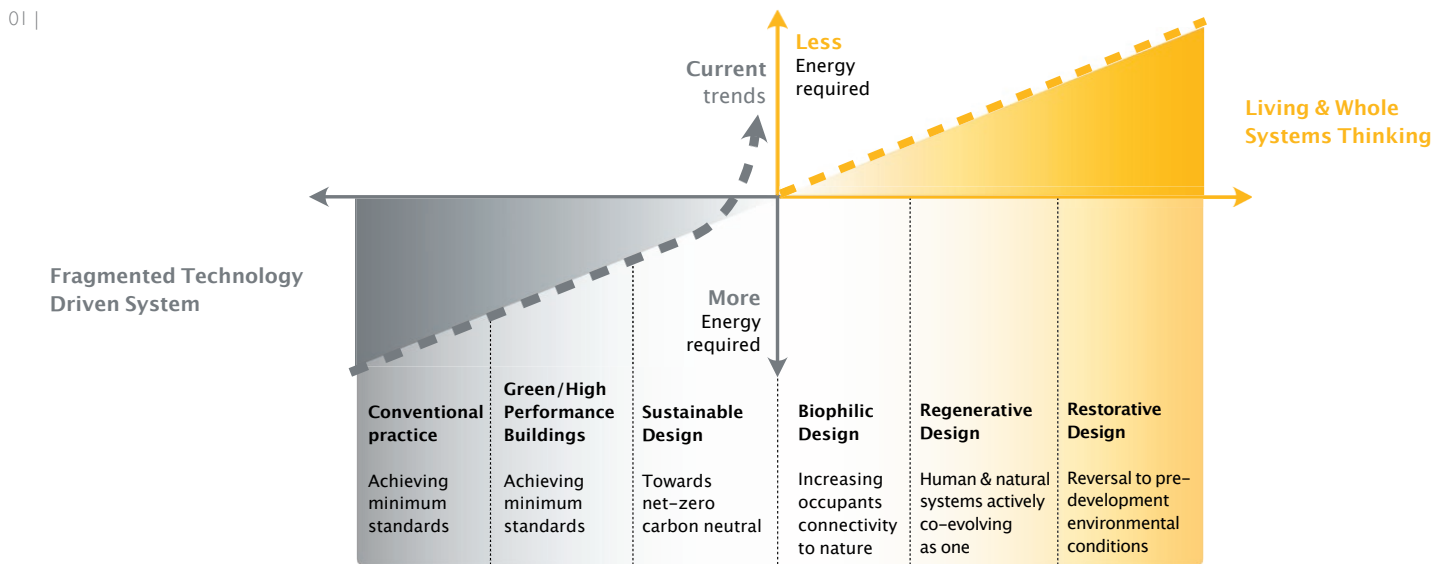
Se il *biophilic design* è stato connotato dall'esaltazione del richiamo formale al mondo naturale come elemento capace di incidere positivamente sull'ambiente e sul benessere psicologico umano (Wilson, 1984), il *regenerative design* ha promosso l'adozione di modelli eco-sistemici evoluti e adattivi, in grado di ripristinarsi, rinnovarsi e rivitalizzarsi attraverso la creazione di relazioni positive tra i bisogni sociali, ambientali ed economici della società e della natura (Cole, 2012; Trombetta, 2018).

Il *restorative design*, invece, partendo dal riconoscimento del danno ambientale causato dalle attività umane ha cercato di proporre un nuovo modello di sviluppo, particolarmente attento al concetto di salute degli utenti. L'obiettivo è, infatti, proprio quello di "riparare" i danni causati dall'attività antropica, promuovendo modelli architettonici e comportamentali sostenibili ed ecologici, basati sull'adozione di un approccio che può essere

considerato al contempo biofilico e rigenerativo, capace cioè di migliorare la salute fisica e mentale, oltre che il benessere delle persone (Aksamija, 2015; Gambato and Zerbi, 2019).

Rispetto a tale visione l'edificio deve essere concepito come un organismo biologico in grado di relazionarsi in modo sistemico e variabile con tutte le specie viventi con cui entra in relazione (umane, animali, vegetali) durante tutto il suo ciclo di vita. Si tratta quindi di configurare modelli spaziali tridimensionali caratterizzati dalla presenza di soluzioni tecnologiche di involucro e di impianto con proprietà rigenerative, riparative e adattive capaci, talora, di produrre cibo ed energia, ma anche di assorbire anidride carbonica e recuperare acqua piovana, contribuendo alla riqualificazione dell'intero tessuto urbano, con lo scopo di promuovere una bonifica ambientale ad ampio impatto sociale (Kaplan and Kaplan, 1989). L'ambizione è, quindi, quella di progettare e realizzare edifici "intelligenti" ispirati alla natura, non solo dal punto di vista estetico-compositivo ma, anche e soprattutto, nella dimensione tecnologico-funzionale, capaci di enfatizzare il legame tra l'individuo-utente ed il mondo circostante in un reciproco scambio di interazioni emozionali positive, facilitate da scelte formali e dimensionali di ispirazione biomimetica (Kellert et al., 2011).

È evidente come tale risultato possa ottenersi solo attraverso l'adozione di un approccio olistico al progetto che, superando la dimensione formale, conduca alla definizione di nuovi modelli di sviluppo cognitivo e costruttivo basati sull'adozione di tecnologie differenti per grado di evoluzione e funzionamento, ma ugualmente efficaci nella capacità di replicare all'interno del sistema edilizio la ricettività e la variabilità caratterizzanti il mondo naturale. Se "ogni persona è un timone", come ci ricorda



R. Buckminster Fuller (2018), il design rigenerativo può, quindi indicare la rotta rispetto alla quale l'uso intelligente di tecnologie e strategie proattive, risulti indispensabile per promuovere una visione aggiornata del futuro.

### Metodologia adottata

Uno degli obiettivi della ricerca COST RESTORE è stato quello

di individuare soluzioni tecnologiche in grado di minimizzare l'impatto ambientale dell'edificio durante il suo intero ciclo di vita, garantendo al contempo la realizzazione di ambienti riparativi, attraverso l'adozione di strategie finalizzate ad incrementare il comfort igrotermico, visivo ed acustico oltre che la qualità dell'aria interna, e favorendo l'interazione con l'ambiente naturale circostante (Lollini *et al.*, 2020).

La necessità di individuare un modello progettuale sulla base del quale valutare l'impatto della scelta di soluzioni tecnologiche rigenerative ci ha portato, quindi, a definire degli indicatori prestazionali misurabili, relativi a cinque parametri ambientali, desunti dalle norme tecniche internazionali ma integrati rispetto a valori soglia necessari a descrivere in chiave "salutogenica" (Vinje *et al.*, 2017) e biofilica dodici funzioni indispensabili a garantire il *restorative comfort* negli edifici per uffici, nuovi e/o oggetto di ristrutturazione (Tab. 1).

È evidente come l'obiettivo non sia stato quello di annullare o dimenticare i riferimenti normativi vigenti, ma di individuare tra essi quelli strettamente connessi alla necessità di assicurare il benessere psico-fisico dell'utente, attraverso scelte tecniche e formali appropriate. Per questo motivo tra gli aspetti ambientali parametrizzabili è stata inserita la categoria *Human Nature Environment*, che enfatizza la necessità di recuperare una stret-

On this basis, the article presents some of the results of the European research *COST Rethinking Sustainability Towards a Regenerative Economy* (COST RESTORE). The COST Action aims at providing operators in the construction sector with new tools and knowledge, encouraging the exchange of good practices at an international level. Moreover, an additional goal of the Action is to influence European regulatory processes by promoting a new concept of technological innovation aimed at improving the experience, comfort, health and well-being of users inside and outside buildings, and in harmony with the urban and natural ecosystem (Brown *et al.*, 2018).

More specifically, the study described here, developed by one of the international work groups established during the research itself, sought to map and parameterize, with dedicated perfor-

mance indicators, some of the most innovative technologies and systems used, either individually or as a group, to create restorative environments. With this objective in mind, existing connections will be identified between the design and implementation of regenerative technological systems and the digital revolution that has affected the architectural sector in the last decade. This has led to significant changes in the dynamics of management and validation of the creative and productive processes used to define a project idea increasingly characterized by typological and morphological contaminations of the environmental.

### Restorative design and new design paradigms

As previously mentioned, in recent years bioclimatic architecture has been characterized by the adoption of new

ta connessione tra l'edificio e la natura circostante, attraverso il rapporto visivo e/o l'adozione di strategie biofiliche, in grado di attivare meccanismi metabolici positivi.

Parallelamente, abbiamo deciso di analizzare tali prestazioni ambientali sia attraverso parametri oggettivi (che possono essere monitorati con strumentazione specifica) che parametri soggettivi (quali la percentuale di persone soddisfatte, calcolabile in fase analitica con software dedicati o attraverso strumenti d'indagine *post occupancy evaluation*).

Trattandosi di uno studio centrato sulla progettazione di edifici per uffici, particolare attenzione è stata posta ai requisiti relativi alla qualità dell'aria interna, individuando i limiti di concentrazione di formaldeide e PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> tollerabili in un ambiente circoscritto, con l'obiettivo di ridurre gli effetti nocivi per l'apparato respiratorio umano.

Successivamente alla definizione degli indicatori fisico-ambientali, necessari a determinare il reale impatto dell'approccio riparativo alla scala del progetto edilizio, sono state individuate delle funzioni prevalenti rispetto alle quali catalogare le soluzioni tecnologiche che è possibile utilizzare, singolarmente o in gruppo, per migliorare le prestazioni ambientali degli edifici per uffici.

Tali funzioni possono essere riassunte nella capacità di:

- controllare la qualità dell'aria: rimuovendo o assorbendo le sostanze inquinanti; garantendo adeguati ricambi d'aria; misurando e riducendo la concentrazione di batteri e contaminanti;
- regolare l'ambiente igrotermico, attraverso l'adozione di strategie attive e passive capaci di incidere positivamente sui valori di temperatura e umidità relativa e superficiale;

biophilic, regenerative and restorative design models that, in equal and often overlapping measure, have promoted a human-centered approach to establish a new-found balance with nature (Fig. 1). The biophilic design is characterized by enhancement of the formal appeal to the natural world as an element capable of positively affecting the environment and human psychological well-being (Wilson, 1984). Similarly, regenerative design promotes the adoption of innovative and adaptive eco-systemic models, capable of restoring themselves through the generation of positive relationships between the social, environmental, and economic needs of society and nature (Cole, 2012; Trombetta, 2018).

Instead, restorative design presents a new development model focused on the concept of users' health, starting from the recognition of damage

caused by human activities to the environment.

The aim is to "repair" the damage caused by anthropic activity, promoting sustainable and ecological behavioral and architectural models based on the adoption of a biophilic and regenerative approach capable of improving mental and physical health, in addition to the well-being of people (Aksamija, 2015; Gambato and Zerbi, 2019).

With this vision in mind, the building must be conceived as a biological organism capable of forging relationships in a systemic and variable way with all the living species it comes into contact with (humans, animals, plants) throughout its life cycle. As such, innovative three-dimensional spatial models need to be designed to overcome the concept of a rationalist living machine and to incorporate technological solutions with regenerative, restorative and

Tab.01 | Analisi delle relazioni riparative esistenti tra: aspetti ambientali, prestazioni, indicatori di prestazione specifica, funzioni riparative dell'edificio e tecnologie rigenerative (rielaborazione da Lollini et al., 2020)

The restorative relationship between environmental aspects, performance sub-aspects, KPIs, restorative building functions and regenerative technologies (Edited by Lollini et al., 2020)

Tab.01 |

| ENVIRONMENTAL ASPECT         | SUB-ASPECT                     | KEY PERFORMANCE INDICATORS  | RESTORATIVE VALUES   | FUNCTION  | REGENERATIVE TECHNOLOGIES   |
|------------------------------|--------------------------------|---|--|---|---|
| 1. Air quality environment   | Contaminants                   | 1. Formaldehyde   | ≤ 0.1 mg m <sup>-3</sup> [30 min]  | 1. Remove/absorb pollutants<br>2. Change air  | Green Walls<br>Dynamic Ceiling<br>BMS<br>Smart materials<br>Adaptive envelope (Etc.)  |
|                              | Outdoor/Indoor                 | 2. Particulate matter: PM10, PM2.5  | < 150 µg m <sup>-3</sup> [24h]<br>< 12 µg m <sup>-3</sup> [1yr]  |   |   |
|                              | Occupant satisfaction          | 3. % satisfied people   | 80 %*  |   |   |
| 2. Hygro-thermal environment | Temperature/humidity/air speed | 4. Implementation of ASHRAE 55  | ASHRAE 55 + evaluation of air movement   | 3. Control U and Δt<br>4. Control indoor comfort (T <sub>a</sub> , H.R., A <sub>v</sub> )<br>5. Optimization of passive building performances | Green Walls<br>Dynamic Ceiling<br>BMS<br>Smart materials<br>Adaptive envelope (Etc.)  |
|                              | Occupant satisfaction          | 5. % satisfied people   | 80 %*  |   |   |
| 3. Visual environment        | Daylight                       | 6. Useful Daylight Illuminance  | 300 – 3000 lux   | 6. Allow light and solar radiation<br>7. Block light and solar radiation<br>8. Reduction of glare phenomena                                   | Dynamic Ceiling<br>BMS<br>Adaptive envelope<br>Solar tube and or shed window<br>Solar Shelf (Etc.)  |
|                              | Circadian Rhythms              | 7. Equivalent Melanopic Lux   | ≥ 200 (9am-1pm) **   |   |   |
|                              | Occupant satisfaction          | 8. % satisfied people   | 80 %*  |   |   |
| 4. Acoustic environment      | Background noise level         | 9. Noise criteria   | ≤ 30 / ≤ 40 ***  | 9. Reduce reverberation effect<br>10. Absorb noise  | Green Walls<br>Acoustic Panel<br>Adaptive envelope<br>Sound-absorbing 3d-printed panels (Etc.)  |
|                              | Occupant satisfaction          | 10. % satisfied people  | 80 %*  |   |   |
| 5. Human-nature environment  | Right to light                 | 11. % with windows access to daylight   | 100 % of inhabitants   | 11. Allow view towards the outside<br>12. Include natural elements in the indoor space (plants, water, sounds, patterns, colors, etc.)        | Water Walls<br>Green Walls<br>Use of natural sounds and murals inspired by nature<br>Rammed earth façade elements<br>Solar Greenhouse<br>Air inlet through green façade/ green house (Etc.) |
|                              | Connectivity to Nature         | 12. Intentional indoor design interventions that bridge the gap between natural and built environments. | 1. Biophilic Design Workshop held prior to design<br>2. Biophilic Interventions incorporated: Biophilic Patterns<br>3. Connectivity with Nature satisfaction |   |   |

Tasso di risposta che rappresenti almeno un quarto del numero totale di utenti dell'edificio/ambiente interno. Anche se un valore del 100% è auspicabile, e in alcuni casi come per il comfort igrotermico è raggiungibile con l'uso di soluzioni individuali, siamo consapevoli che ci sarà sempre una percentuale di persone che nonostante tutti gli sforzi non sarà mai soddisfatta. Per questo motivo, il valore limite scelto è pari o superiore all'80%.

*Response rate representing at least one quarter of the total number of building/indoor environment users. Although a value of 100% is desirable, and in some cases like hygro-thermal comfort is achievable with the use of personal comfort systems, we are aware that there will always be a percentage of people that despite all efforts may never be satisfied. For this reason, we aim at a value that is 80% or higher.*

\*\* Per 75% o più postazioni di lavoro

\*\* For 75 % or more workstations.

\*\*\* Uffici singoli o open spaces

\*\*\* Enclosed/open offices.

adaptive properties. Furthermore, the technological solutions implemented in buildings should, sometimes, be capable of producing food and energy, but also of absorbing carbon dioxide and of recovering rainwater, thus contributing to urban redevelopment with the goal of promoting environmental remediation with a broad social impact (Kaplan and Kaplan, 1989). Therefore, the ambition is to design and create “smart” buildings inspired by nature, not only from an aesthetic-compositional perspective but also and above all in their functional dimension. These buildings will emphasize the link between the individual-user and the surrounding world in a mu-

tual exchange of positive emotional interactions, facilitated by formal and dimensional choices inspired by biomimetic design (Kellert, Heerwagen and Mador, 2011). It is clear how this result can only be obtained by adopting a holistic approach to the project. Overcoming the formal dimension, it leads to the definition of new cognitive and constructive development models based on the selection of technologies that, despite differences in terms of degree of evolution and function, are equally efficient in their capacity to replicate the receptivity and variability found in the natural world inside the building system. Therefore, if <<each person is a rud-

der>>, as R. B. Fuller (2018) reminds us, regenerative design can indicate the route along which the intelligent use of proactive technologies and strategies is essential to promote an updated vision of the future.

#### Research methodology

One of the objectives of the COST RESTORE research was to identify technological solutions capable of minimizing the building's environmental impact during its entire life cycle, while concomitantly ensuring the creation of restorative environments capable of promoting health and well-being. This will be done by adopting strategies aimed at increasing hygro-

thermal, visual and acoustic comfort as well as the quality of indoor air and encouraging interaction with the surrounding natural environment (Lollini et al., 2020). Hence, the need to identify a design model to be used as reference to assess the impact of the choice of regenerative technological solutions led us to define measurable performance indicators. These KPIs are related to five environmental parameters taken from international technical standards but integrated with the threshold values necessary to describe, from a salutogenic (Vinje et al., 2017) and biophilic perspective, twelve essential functions for ensuring restorative comfort in

- gestire il comfort visivo mediante il controllo attivo (schermatura o filtraggio) della radiazione solare incidente;
- intercettare e assorbire suono e rumore, limitando fenomeni di trasmissione e riverbero che potrebbero causare stress psicosomatico;
- incrementare il valore umano dell'ambiente costruito, attraverso l'integrazione di elementi naturali all'interno dell'edificio o la possibilità di realizzare connessioni visive con il paesaggio esterno.

Infine, sulla base degli aspetti e dei sub aspetti ambientali e delle relative funzioni prevalenti abbiamo analizzato circa cinquanta soluzioni tecnologiche innovative presenti sul mercato e riconducibili al *restorative design*, raggruppandole in tre macrocategorie: 1. Sistemi di involucro; 2. Partizioni e finiture interne; 3. Soluzioni impiantistiche (Tab. 2).

Come precedentemente ricordato, la scelta delle soluzioni tecnologiche rigenerative è stata fatta sulla base degli indicatori prestazionali, dei parametri ambientali e dei requisiti funzionali individuati nella prima fase della ricerca, ed è stata volutamente focalizzata sulla selezione di requisiti e prestazioni necessari a garantire la realizzazione di sistemi ambientali progettati per essere intrinsecamente rigenerativi. L'obiettivo era quello di definire processi di innovazione fortemente caratterizzati dall'utilizzo di nuovi materiali e componenti, capaci di orientare la conoscenza del progettista verso strumenti tecnici e cognitivi complessi ispirati dai modelli di perfezione e armonica organicità tipici dell'approccio biofilico.

new offices buildings or ones subject to renovation (Tab. 1). It is evident that the goal was not to nullify or forget the regulatory references in force, but to identify, among them, those which are closely linked to the need to ensure the user's psychophysical well-being through appropriate technical and formal choices. This is why the *Human Nature Environment* category was included among the environmental aspects that can be parameterized. Moreover, this new category emphasizes the need to restore, within the indoor space, a close connection with the surrounding nature through a visual relationship and/or the adoption of biophilic strategies capable of triggering positive metabolic mechanisms. In parallel, we decided to analyze these environmental performances through both objective parameters (which can be monitored with specific instru-

ments) and subjective parameters (such as the percentage of satisfied people, calculated in the analytical phase with dedicated software or using post-occupancy evaluation investigation tools). As this study centers on the design of office buildings, particular attention was paid to indoor air quality requirements, identifying the tolerable concentration limits for formaldehyde, PM10 and PM2.5 in a confined environment, with the aim of reducing harmful effects on the human respiratory system. Once the physical-environmental indicators were defined – essential to determine the actual impact of the restorative approach at building project scale – the prevailing functions were identified concerning technological solutions that can be used either individually or as a group to improve the environmental performance of office buildings.

## Soluzioni tecnologiche rigenerative

L'analisi delle tecnologie innovative attualmente presenti sul mercato o in fase di prototipazione preindustriale ha rilevato come le soluzioni di involucro e partizione interna che più di altre riescono a coniugare quasi tutti i requisiti ambientali previsti dalla matrice di valutazione riparatrice, incarnando il paradigma della progettazione rigenerativa finalizzata a portare l'ambiente naturale all'interno dell'edificio, siano le pareti verdi ed i tetti giardino. Si tratta, infatti, di sistemi tecnologici di varia dimensione e complessità stratigrafica che, grazie alla presenza di elementi vegetali e di substrato terroso dallo spessore variabile, garantiscono buone prestazioni termoisolative ed acustiche sia all'interno che all'esterno dell'edificio, favorendo la riduzione della presenza di sostanze inquinanti climalteranti e nocive per la salute umana e migliorando considerevolmente il comfort acustico dello spazio confinato.

Piante e superfici verdi diventano così oggetto di sperimentazioni progettuali finalizzate a promuovere l'integrazione di elementi vegetali alla scala dell'involucro o del componente edilizio destinato all'arredo interno. È questo il caso della Fabbrica dell'Aria di PNAT (spin-off dell'Università di Firenze co-fondata dal prof. S. Mancuso), realizzata con moduli trasparenti progettati dagli architetti A. Girardi e C. Favretto per integrare in un sistema di facciata doppia pelle un filtro vegetale ed uno spettrometro di massa, in grado di assorbire gli inquinanti dell'aria passante, riducendoli del 98%, e di monitorare in tempo reale la qualità e la quantità dei composti volatili presenti all'interno dell'intercapedine (Fig. 2).

These functions can be summarized as their capacity to:

- control air quality: removing or absorbing polluting substances; guaranteeing adequate air changes; measuring and reducing the concentration of bacteria and contaminants;
- regulate the hygrothermal environment by adopting active and passive strategies capable of having a positive impact on the relative and surface temperature and humidity values;
- manage visual comfort by actively controlling (shielding or filtering) incident solar radiation;
- intercept and absorb sound and noise, limiting transmission and reverberation that could cause psychosomatic stress;
- increase the human value of the built environment by either integrating

natural elements into indoor spaces or creating visual connections with the external landscape.

Finally, taking into account environmental aspects and sub-aspects, and the relative prevailing functions, we analyzed around fifty innovative technological solutions found on the market and referable to restorative design. Consequently, we grouped them into three macro-categories: 1. Envelope systems; 2. Partitions and internal finishes; 3. Active building systems (Tab. 2).

As previously mentioned, the regenerative technological solutions were chosen on the basis of performance indicators, environmental parameters and functional requirements identified in the first phase of the research. There was deliberate focus on the selection of features and performance required to ensure implementation of

Tab. 02 | Analisi delle caratteristiche di alcune soluzioni tecnologiche innovative in relazione agli aspetti ambientali ed alle funzioni riparative  
 Overview of some innovative technologies analyzed in terms of environmental aspects and restorative functions

Tab. 02 |

|                                     | 1. Air quality environment                  |               | 2. Hygro-thermal environment     |                           |  | 3. Visual environment              |                                    | 4. Acoustic environment         |                                | 5. Human-nature environment |                                    |  |
|-------------------------------------|---|---------------|----------------------------------|---------------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--|
|                                     | 1. Remove/absorb pollutants                 | 2. Change air | 3. Control U and Thermal inertia | 4. Control indoor comfort | 5. Optimization of passive building performances | 6. Allow light and solar radiation | 7. Block light and solar radiation | 8. Reduction of glare phenomena | 9. Reduce reverberation effect | 10. Absorb noise            | 11. Allow view towards the outside | 12. Include natural elements in the indoor space |
| 1. ENVELOPE SYSTEMS                 | Green wall                                  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Vertical garden                             |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Florafelt System                            |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Living garden                               |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Green roof                                  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | High-tech shading-systems                   |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Operable windows                            |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Smart envelope                              |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Double skin facades                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Photocatalytic coating                      |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Straw bale building envelope                |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Rammed-earth facade                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Ecological -Materials                       |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Thermally activated glass facade            |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Regenerative PCM-Facades                    |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Solar tube                                  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Shed window                                 |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Wind tower                                  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| Wind directional chimney            |   |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| Solar Green house                   |   |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| 2. PARTITIONS AND INTERNAL FINISHES | Green wall                                  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Water wall/Fountain                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Operable windows                            |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Natural Materials                           |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Photoactive coating                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Recycled material                           |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Internal shading devices                    |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Solar Shelf                                 |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Drapes/Curtains/Shades/Blinds               |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Responsive Coatings                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Antibacterial TiO2 coating                  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Smart Plasterboards                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Smart ceiling                               |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Heliostats and fixed mirrors                |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| 3d Acoustic system                  |   |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| 3. ACTIVE BUILDING SYSTEMS          | Ventilation systems with heat recovery      |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Smart envelope                              |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Air inlet through/green façade/green house  |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Fresh air preheating (e.g., earth duct air) |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Turbine ventilation fan                     |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Night cooling systems                       |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Solar panels for heating and cooling        |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Seed oil fueled CHP                         |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Bio-hydrogen energy systems                 |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | PV with hydrogen storage + heat pump        |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Stand-Alone Photovoltaic Systems            |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Smart digital ceiling                       |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Building Management Systems (BMS)           |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
|                                     | Sound masking solutions                     |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| Sound diffusion system              |   |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |
| Light system for chromotherapy      |   |               |                                  |                           |  |                                    |                                    |                                 |                                |                             |                                    |  |



Come le piante, anche l'acqua può essere considerata un elemento indispensabile alla creazione di un ambiente riparativo. La sua presenza all'interno di uno spazio, infatti, riduce lo stress, abbassa la frequenza cardiaca e la pressione del sangue, aumenta la sensazione di tranquillità, la reattività emotiva, migliorando la concentrazione degli utenti. Per queste ragioni negli ultimi anni si assiste alla crescente diffusione all'interno di edifici per uffici e/o commerciali di fontane, cascate e muri d'acqua, progettati alla stregua di complementi di arredo, per essere facilmente integrati in spazi comuni o ambienti di lavoro (Fig. 3). Parallelamente, materiali innovativi (quali: vernici fotocatalitiche; *coating* additivati con nano-particelle di  $TiO_2$ ; materiali a cambiamento di fase; *Transparent Insulation Materials*; ecc..)

environmental systems designed to be intrinsically regenerative. The aim was to define innovative processes strongly characterized by the use of new materials and components capable of guiding the designer's knowledge towards complex technical and cognitive instruments inspired by models of perfection and harmonic organicity typical of the biophilic approach.

#### **Innovative restorative technological solutions**

The analysis of the innovative technologies currently found on the market or in the pre-industrial prototyping phase revealed how, at present, the envelope and interior partition solutions that most successfully combine almost all environmental requirements laid down in the restorative assessment matrix are green walls and roof gardens. The assessment embodies the

paradigm of regenerative design aimed at bringing the natural environment inside the building. These technological systems vary in size and stratigraphic complexity and, thanks to the presence of plant elements and the earthy substrate's variable thickness, they ensure good thermo-hygrometric and acoustic performance both inside and outside the building. Hence, they favor the reduced presence of polluting and climate-altering substances that are harmful to human health, considerably improving the acoustic comfort of the confined space.

Plants and green surfaces thereby become the focus of design experiments aimed at promoting the integration of plant elements into the envelope or building component intended as interior furnishing. This is the case of the *Fabbrica dell'aria* by PNAT (a spin-off of the University of Florence, co-

sono utilizzati sempre più spesso per la realizzazione di sistemi di chiusura verticale a comportamento dinamico e rigenerativo, capaci di regolare in modo adattivo i flussi energetici passanti e di garantire una buona qualità dell'aria interna attraverso l'abbattimento delle sostanze inquinanti provenienti dall'esterno o che si trovano abitualmente all'interno dell'edificio.

Tra i sistemi di finitura a comportamento attivo si rileva la diffusione crescente sia di vernici fotocatalitiche che di composti tradizionali a base di calce o gesso. In entrambi i casi si tratta di materiali capaci di assorbire e/o convertire particelle organiche e inorganiche nocive presenti nell'aria, attraverso processi di ossidazione o assorbimento, trasformandole in composti assolutamente innocui per l'essere umano. A questa categoria di prodotti

funded by S. Mancuso). It was created with transparent modules designed by architects A. Girardi and C. Favretto to integrate, into a double skin façade system, a plant filter and a mass spectrometer capable of absorbing pollutants present in circulating air to reduce levels by 98%, and of collecting real time data on the quality and quantity of volatile compounds present in the buffer zone (Fig. 2).

Like plants, water can also be considered an essential element in the creation of a restorative environment. Its presence inside a space actually reduces stress, lowers heart rate and blood pressure, increases the feeling of calm and positive emotional reactivity, and improves user concentration. This is why the use of fountains, waterfalls and walls of water in office and/or commercial buildings has spread in recent years, designed as furnishing

accessories so that they can be easily integrated into communal areas or work environments (Fig. 3).

Moreover, innovative materials (such as photocatalytic paints; coatings with added  $TiO_2$  nanoparticles; Phase Change Materials; Transparent Insulation Materials; etc.) are increasingly used to create vertical closure systems that behave in a dynamic and regenerative way. They are capable of adaptively adjusting the circulating energy flows and of ensuring good indoor air quality by either lowering penetration of polluting substances from the outside or levels of those usually found inside the building.

Among finishing systems with active behavior, the research highlighted the increasing use of both photocatalytic paints and traditional lime or gypsum-based composites. In both cases, these materials are capable of absorbing and/



or converting harmful organic and inorganic particles present in the air through oxidation or absorption processes, transforming them into compounds that are completely harmless to humans. This category of products can also include plasterboard panels made of graphite, which can even absorb electromagnetic radiation produced by the digital equipment extensively found in everyday environments. The research also pointed out how the spread of technological systems for envelopes and regenerative plants in the construction sector has been strongly influenced by the possibility of using new Building Information and Building Energy modeling and verification tools as early as the design phase. Such tools are capable of interacting with digital production systems. The aim of the latter activity is to control not only the building's dimensional and per-

formance characteristics but also and above all its environmental impact in terms of Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost. The purpose is to maximize product customization, starting by defining the characteristics of the material, recycled or recyclable, to then ensure total product reversibility, while also controlling performance in terms of the emission of harmful substances for humans and the environment, besides reproducing formal solutions clearly inspired by fractal geometric patterns. This is the case of two interesting prototypes developed at the University of Delft:

1. the Double face 2.0 translucent façade system (Fig. 4). This envelope was created using additive 3D printing processes as a contemporary interpretation of the functioning of the Trombe wall, thanks to the capacity of the biomimetic spiral-

shaped elements (filled with aerogel and Phase Change Materials) to accumulate and release heat in a dynamic way throughout the day (Tenpierik *et al.*, 2018);

2. the ADAM acoustic panel (Fig. 5). This technological component was designed with a parametric modeling software by applying the theory of destructive passive interference (effective at satisfactorily reducing reverberation in a room), and implemented using 3D printing processes, which means the surface (consisting of hollow tubes made of composite material) can be sized to fit the acoustic characteristics of the space and the designer's formal requirements (Setaki, Tenpierik *et al.* 2016). Envelope solutions that can be prefabricated and have low environmental impact must necessarily include raw earth infill systems. These can be creat-

ed using additive manufacturing processes that, once integrated with natural insulation materials (such as straw or cork) and radiant heating systems, create healthy rooms with low environmental impact that are unequivocally inspired by the natural world in terms of shape and color (Fig. 6). Furthermore, it must be said that the need to replicate comfort conditions similar to those of a natural environment within the restorative environment leads to the adoption of complex technical systems. These must be capable of ensuring variable thermal conditions even when air quality is excellent, and of replicating light and sound variations typical of the natural world. In other words, a technical system in a restorative building must be designed as a heterogeneous system integrated with an electronic control device for home automation so that the various areas



possiamo ricondurre anche i pannelli di cartongesso realizzati utilizzando grafite, capaci addirittura di assorbire le radiazioni elettromagnetiche prodotte dalle apparecchiature digitali sempre più diffuse all'interno degli ambienti di vita quotidiana.

La ricerca ha, inoltre, evidenziato come la diffusione nel settore delle costruzioni di sistemi tecnologici di involucro e di impianto rigenerativi, sia stata influenzata dalla possibilità di utilizzare già nella fase progettuale nuovi strumenti di modellazione e verifica *Building Information e Building Energy*, in grado di interagire con sistemi di produzione digitale, con l'obiettivo di controllare non solo le peculiarità dimensionali e prestazionali del manufatto edilizio ma anche e soprattutto il suo impatto ambientale in termini *Life Cycle Assessment e Life Cycle Cost*. Lo scopo è quello di massimizzare la customizzazione del prodotto, partendo dalla definizione delle caratteristiche del materiale, riciclato o riciclabile, e garantendo la totale reversibilità del manufatto, controllandone al contempo le prestazioni in termini di emissioni di sostanze nocive per l'uomo e per l'ambiente e riproducendo soluzioni formali chiaramente ispirate a configurazioni geometriche di matrice frattale.

È questo il caso di due interessanti prototipi sviluppati presso l'Università di Delft:

1. il sistema di facciata traslucente Double face 2.0 (Fig. 4), realizzato mediante processi di stampa additiva tridimensionale e finalizzato alla riproposizione in chiave contemporanea del funzionamento del muro di Trombe, grazie alla capacità degli elementi spiraliformi (caricati con aereogel e materiali a cambiamento di fase) di accumulare e rilasciare calore in modo dinamico durante tutto l'arco della giornata (Tenpierik et al., 2018);

can be managed differently, not only on the basis of the type of user but also and above all on the type of stress (thermal, light, acoustic) the user must be exposed to throughout the day. Hence, the air conditioning system must be integrated and hybrid, powered by renewable energy sources and managed by a Building Management System (BMS) that offers the user varying degrees of control. It must be linked to both the formal architectural choices (the presence of windows with sections that open, adjustable internal screens, etc.) and the integration of local regulation systems (switches, management panels, digital monitoring screens, etc.).

Among all the most interesting technical systems experimentally developed in the last decade, and analyzed as part of the COST RESTORE research, the digital ceilings developed by Cisco and C. Ratti (Fig. 7) deserve special men-

tion. Both cases involve modular system components that can be applied in place of a traditional false ceiling, equipped with a range of sensors that can detect movement, occupation, the user's temperature and the carbon dioxide level in a room. The sensors can "learn" the daily habits of the occupants and automatically adjust the regulation and operation settings of the air conditioning, lighting and mechanical ventilation system, even in the absence of the user.

#### Conclusions

The above discussion clearly indicates that the development of restorative projects, products, processes and systems is necessarily influenced by the adoption of a biophilic and regenerative approach, which leads us to think «not about what we can take from nature, but what we can learn from it»

2. il pannello acustico ADAM (Fig. 5), progettato utilizzando un software di modellazione parametrica basato sull'applicazione della teoria dell'interferenza passiva distruttiva (efficace per ridurre in modo soddisfacente i fenomeni di riverbero all'interno di un ambiente) e realizzato con processi di stampa 3D, che consentono di dimensionarne la superficie (costituita da tubi cavi realizzati in materiale composito) rispetto alle caratteristiche acustiche dello spazio e delle esigenze formali del progettista (Setaki et al., 2016).

Tra le soluzioni di involucro di matrice biofilica, prefabbricabili e a basso impatto ambientale non possiamo, inoltre, dimenticare i sistemi di tamponamento in terra cruda, realizzabili attraverso processi di *additive manufacturing*, che integrati con materiali isolanti naturali (quali ad esempio paglia o sughero) e sistemi di riscaldamento radiante, permettono di realizzare ambienti salubri ed ecocompatibili, ispirati inequivocabilmente, per forma e cromatismo al mondo naturale (Fig. 6).

È, infine, importante ricordare come la necessità di replicare all'interno dell'ambiente riparativo condizioni di comfort simili a quelle di un ambiente naturale conduce all'adozione di sistemi impiantistici complessi che devono essere in grado di garantire condizioni termiche variabili, seppur in presenza di qualità dell'aria elevata, e di replicare variazioni luminose e sonore tipiche del mondo naturale. In altre parole, l'impianto a servizio di un edificio riparativo deve essere progettato come un sistema eterogeneo ed integrato da un apparato di controllo elettronico, di tipo domotico, per gestire in modo differenziato diverse zone ambientali, non solo in relazione al tipo di utenza ma, anche e soprattutto, al tipo di sollecitazione (termica, luminosa, acustica) a cui tale utenza deve essere sottoposta nell'arco della gior-

(Benyus, 2011). The aim is to manage the esthetic and/or functional artificialization of modular elements in the built environment (parts of buildings, neighborhoods, or cities), finding inspiration in the forms and functions of biological systems to create innovative sustainable design solutions capable of generating "minimum inventory" and "maximum diversity" (Pearce, 1978). Finally, the research conducted worldwide indicates the aspiration to develop sophisticated architectural systems in which the regenerative technological solutions analyzed in the context of COST RESTORE research can be integrated either individually or in groups to promote the concepts of health and environmental protection, while also responding to challenges imposed by the digital era.

In this scenario, restorative design and its culture are a privileged place for the

intersection of new and ancient knowledge, traditional techniques and digital methods, transfer and inspiration from other sectors capable of helping us imagine new anthropic scenarios. Based on these, architectural models will no longer be developed on a self-referential basis but will become the stakeholders of complex social and cultural issues essential for promoting an updated vision of architectural research inspired by the environment.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is based on work from COST Action RESTORE CA16114, supported by COST (European Cooperation in Science and Technology). The authors thank all participants of the "Working Group 4" who contributed to the definition of performance indicators and to the study of restorative technologies presented in this paper.

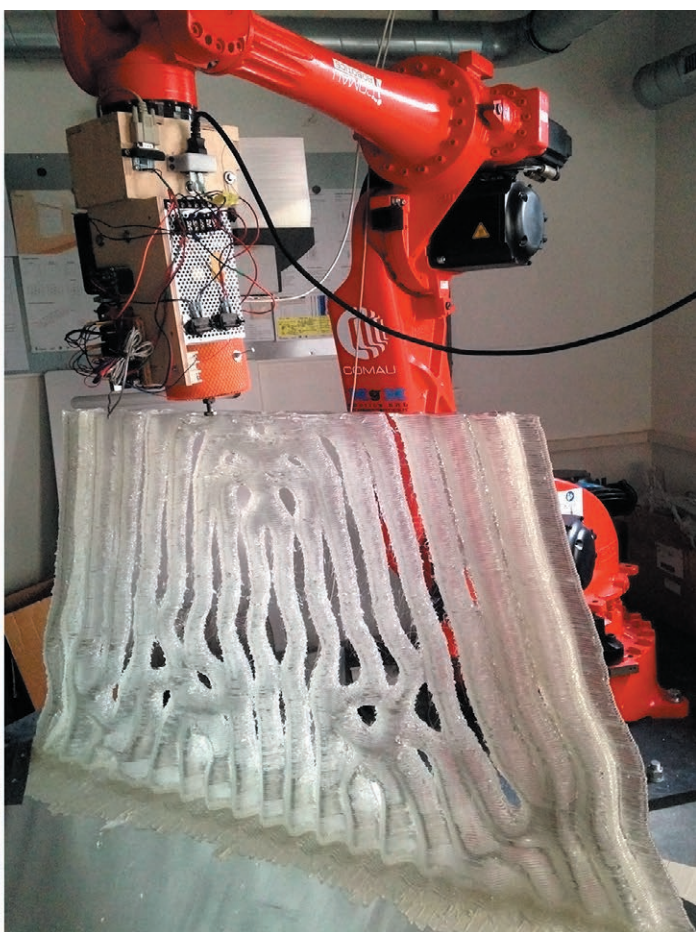
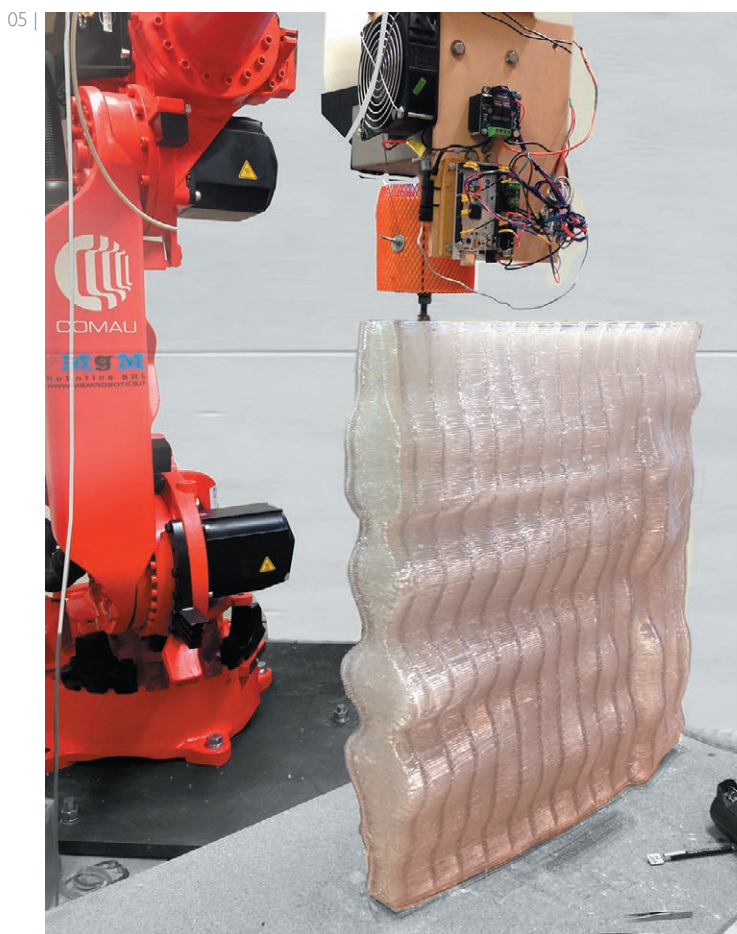
nata. L'impianto di climatizzazione, quindi, di tipo integrato e ibrido, alimentato da fonti energetiche rinnovabili e gestito da un sistema di Building Management System (BMS) che lasci una certa libertà di gestione all'utente, attraverso gradi di controllo variabili e connessi sia a scelte architettoniche di tipo formale (presenza di finestre con ante apribili, schermature interne regolabili, ecc.) che all'integrazione di sistemi di regolazione locale (interruttori, quadri di gestione, schermi digitali di monitoraggio, ecc.).

Tra le sperimentazioni impiantistiche più interessanti sviluppate nell'ultima decade, ed analizzate nell'ambito della ricerca COST RESTORE, meritano una menzione speciale i controsoffitti digitali progettati da Cisco e da Carlo Ratti (Fig. 7). In entrambi i casi si tratta di componenti impiantistiche modulari applicabili al posto di un controsoffitto tradizionale, anche in interventi di riqualificazione. Dotati di una varietà di sensori in grado di rilevare movimento, occupazione, temperatura dell'utente e livelli di anidride carbonica all'interno di un ambiente, questi sistemi

possono "apprendere" le abitudini quotidiane degli occupanti e regolare automaticamente le impostazioni di funzionamento dell'impianto di climatizzazione, illuminazione e ventilazione meccanica, anche in assenza dell'utente.

## Conclusioni

Dai paragrafi precedenti si evince come lo sviluppo di progetti, prodotti, processi e sistemi riparativi sia necessariamente influenzato dall'adozione di una metodologica biofilica e rigenerativa che ci induce a riflettere «non su cosa possiamo estrarre dalla natura, ma su cosa possiamo imparare da essa» (Benyus, 2011). L'obiettivo è quello di gestire l'artificializzazione, formale e/o funzionale, degli elementi modulari presenti nell'ambiente costruito (siano essi parti di edificio, quartieri o città) ispirandoci alle basi funzionali delle forme e dei sistemi biologici per produrre soluzioni sostenibili innovative, capaci di generare "minimum inventory" e "maximum diversity" (Pearce, 1978). La ricerca in atto a scala globale indica, infine, l'aspirazione a



06 | Esempio di sistema edilizio in terra cruda realizzato attraverso processi di additive manufacturing: il modulo abitativo TECLA (WASP e MCA, 2019). Fonte: © WASP  
Example of a raw earth building system made through additive manufacturing processes: the TECLA housing module (WASP and MCA, 2019). Source: © WASP

07 | Controsoffitto digitale progettato da Carlo Ratti per l'intervento di riqualificazione edilizia della fondazione Agnelli di Torino (2017). Fonte: <https://www.dezeen.com/2017/05/11/video-carlo-ratti-reduce-energy-use-personalised-heating-cooling-buildings-movie>  
Digital ceiling designed by Carlo Ratti for the renovation of Fondazione Agnelli in Turin (2017). Source: <https://www.dezeen.com/2017/05/11/video-carlo-ratti-reduce-energy-use-personalised-heating-cooling-buildings-movie>



| 06



| 07

sviluppare sistemi architettonici sofisticati, nei quali le soluzioni tecnologiche rigenerative analizzate nell'ambito della ricerca COST RESTORE possano essere integrate singolarmente o in gruppo, con l'obiettivo di promuovere i concetti di salute e salvaguardia ambientale, rispondendo alle sfide imposte dall'era digitale. In questo scenario, il progetto riparativo e la sua cultura rappresentano un luogo privilegiato di intersezione di nuovi e antichi saperi, di tecniche tradizionali e metodi digitali, di trasferimenti e ispirazioni provenienti da altri settori, capaci di aiutarci a immaginare nuovi scenari antropici, rispetto ai quali i modelli architettonici non saranno più sviluppati su base auto-referenziale ma si faranno portatori di istanze sociali e culturali complesse indispensabili a promuovere una visione aggiornata della ricerca architettonica di ispirazione ambientale.

#### RINGRAZIAMENTI

La ricerca COST Action CA16114 RESTORE: REthinking Sustainability TOwards a Regenerative Economy, è stata finanziata dalla Comunità Europea nell'ambito del programma COST-European Cooperation in Science and Technology Program. Gli autori ringraziano tutti i partecipanti al Gruppo di Lavoro 4, che hanno contribuito alla definizione degli indicatori prestazionali ed allo studio delle tecnologie riparative presentate in questo articolo.

#### REFERENCES

Aksamija, A. (2015), "Regenerative Design of Existing Buildings for Net-Zero Energy Use", *Procedia Engineering*, n. 118, pp. 72-80.

Brown, M., Haselsteiner, E., Apr., D., Kopeva, D., Luca, E., Pulkkinen, K. and Vula Rizvanolli, B., (2018), "Sustainability, Restorative to Regenerative", *COST Action CA16114 RESTORE, Working Group One Report: Restorative Sustainability*, available at: <https://www.eurestore.eu/wp-content/uploads/2018/04/Sustainability-Restorative-to-Regenerative.pdf> (accessed 18 January 2021).

Benyus, J.M. (2011), "A biomimicry primer", available at: [https://biomimicry.net/b38files/A\\_Biomimicry\\_Primer\\_Janine\\_Benyus.pdf](https://biomimicry.net/b38files/A_Biomimicry_Primer_Janine_Benyus.pdf) (accessed 18 January 2021).

Caldas, P.C.A., Cleetus, A. et al. (2020), "Compound climate risks in the COVID-19 pandemic", *Nature Climate Change*, n. 10, pp. 586-588.

Cole, R.J. (2012), "Transitioning from green to regenerative design", *Building Research and Information*, Vol. 40, n. 1, pp. 39-53.

Craft, W., Ding, L., Prasad, D., Partridge, L. and Else, D. (2017), "Development of a Regenerative Design Model for Building Retrofits", *Procedia Engineering*, Vol. 180, pp. 658-668.

Di Marco, M., Baker, M.L., Daszak, P. et al. (2020), "Opinion: Sustainable development must account for pandemic risk", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1 Vol. 17(8), pp. 3888-3892.

Fuller, R.B. (2018), *Manuale operativo per Nave Spaziale Terra*, Il Saggiatore, Milano.

Gambato, C. and Zerbi, S. (2019), "The regenerative building: A concept of total sustainability", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 323.

Kaplan, R. and Kaplan, S. (1989), *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*, Cambridge University Press, Cambridge.

Kellert, S.R., Heerwagen, J. and Mador, M. (2011), *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*, Jon Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.

Lollini, R., Pasut, W. et al (2020), "Regenerative technologies for the indoor environment: Inspirational guidelines for practitioners", *COST Action CA16114 RESTORE, Working Group Four Report*, available at: [https://www.eurestore.eu/wp-content/uploads/2020/06/WG4\\_Final-Book\\_Regenerative-technologies-for-the-indoor-environment.pdf](https://www.eurestore.eu/wp-content/uploads/2020/06/WG4_Final-Book_Regenerative-technologies-for-the-indoor-environment.pdf) (accessed 18 January 2021).

Manzanedo, R.D. and Manning, P. (2020), "COVID-19: Lessons for the climate change emergency", *Science of The Total Environment*, Vol. 742.

Pearce, P. (1978), *Structure in Nature is a Strategy for Design*, MIT Press, Cambridge.

Setaki, F., Tenpierik, M., van Timmeren, A. and Turrin, M. (2016), "New Sound Absorption Materials: Using Additive Manufacturing for Compact Size, Broadband Sound Absorption at Low Frequencies", in Kropp, W. (Ed.), *Proceedings of the 45th International Congress on Noise Control Engineering: Inter-Noise 2016*, German Acoustical Society (DEGA), pp. 4073-4078.

Tenpierik, M., Turrin, M., Watzel, Y., Cosmatu, T. and Tsafou, S. (2018), "Double Face 2.0: A lightweight translucent adaptable Trombe wall", *SPO-OL*, n. 5, p. 2.

Trombetta, C. (2018), "L'esperienza del Regenerative Design nel dibattito su ambiente costruito e resilienza", *Techne, Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 15, Firenze University Press, pp. 143-152.

Vinje, H.F., Langeland, E. and Bull, T. (2017), "Aaron Antonovsky's Development of Salutogenesis, 1979 to 1994", in Mittelmark, M.B., Sagy, S., Eriksson, M. et al. (Eds.), *The Handbook of Salutogenesis*, Springer.

Wilson, E.O. (1984), *Biophilia*, Harvard University Press.