

# Sustainable technologies for the enhancement of the natural landscape and of the built environment

*Tecnologie sostenibili per la valorizzazione  
del paesaggio naturale e del costruito*

a cura di / editors

**Paola De Joanna e Antonio Passaro**

**LUCIANOEDITORE**





**Sustainable technologies for the enhancement of the natural landscape  
and of the built environment**

*Tecnologie sostenibili per la valorizzazione del paesaggio naturale  
e del costruito*

a cura di

**Paola De Joanna e Antonio Passaro**

**LUCIANOEDITORE**



*Realizzato nell'ambito degli studi promossi dal*  
**CITTAM** - Centro Interdipartimentale di ricerca per lo studio  
delle Tecniche Tradizionali dell'Area Mediterranea  
Università degli Studi di Napoli Federico II

© **LUCIANOEDITORE**  
Via P. Francesco Denza, 7 - 80138 Napoli

info@lucianoeditore.net  
<http://www.lucianoeditore.net>

Tutti i diritti sono riservati:  
nessuna parte può essere riprodotta  
senza il permesso della Casa Editrice

ISBN 978-88-6026-254-7  
Finito di stampare \_\_\_\_\_ 2019

Stampa: [www.darcoprint.it](http://www.darcoprint.it)

# INDEX / INDICE

	<b>Introduction / Introduzione</b> .....	7
<b>Parte I</b>	<b>La tematica della valorizzazione del paesaggio</b> .....	17
Giorgio Giallocosta	Valorizzazione e valori .....	19
Francisco Pérez Gallego	The cultural landscape of the age of enlightenment: tools for its recognition, fruition and valorization / El paisaje cultural de la ilustración: Instrumentos para su reconocimiento, disfrute y valoración .....	27
Rosamaria Giusto	Cultural heritage and integrated conservation. The landscape oasis of Vendicari / Cultural heritage e conservazione integrata. L'Oasi paesaggistica di Vendicari. ....	81
Gigliola Ausiello	Innovation in the field of Cultural Heritage. Towards a conservative approach more and more sustainable / L'innovazione nel campo dei Beni Culturali. Verso un approccio conservativo sempre più sostenibile .....	103
<b>Parte II</b>	<b>Strategies for sustainable enhancement / Strategie per la valorizzazione sostenibile</b> .....	129
Salvatore Visone	Re-designing cities through a sustainable approach and a 'green, smart' planning. / Riprogettare le città' attraverso un approccio sostenibile ed una pianificazione "green e smart" .....	131
Aldo Aveta	Conservation, development and environmental sustainability: strategic choices for the territories of the bay of naples / Conservazione, sviluppo e sostenibilità ambientale: scelte strategiche per i territori della baia di Napoli. ....	141
Dora Francese	Valorisation of urban paths: sustainable technologies and reused materials .	149
Claudia Aveta	L'isola di Ischia: una sostenibilità per la politica di difesa e valorizzazione delle risorse ambientali .....	181

Giuseppe Vaccaro	Policies and strategies for the support of European cultural heritage / Politiche e strategie per il sostegno del patrimonio culturale europeo. . . . .	189
Cidália F. Silva	Gleaning: making with what is found . . . . .	205
<b>Parte III</b>	<b>Methodologies, Technologies and Materials / Metodologie Tecnologie, e Materiali . . . . .</b>	<b>225</b>
Giancarlo Priori	L'interpretazione dei luoghi come metodologia progettuale . . . . .	227
Anna Rosa Candura, Orio de Paoli	L'analisi cartografica come metodo per una progettazione sostenibile . . . . .	233
Khalid Rkha Chaham	La terre crue dans l'architecture méditerranéenne; exemple du Maroc . . . . .	265
Elisabetta Bronzino Luca Buoninconti	Environmental analysis for sustainable design / L'analisi ambientale per la progettazione sostenibile . . . . .	275
Luca Buoninconti Paola De Joanna	From metadesign to evaluation: guidelines for sustainable design of buildings / Dalla metaprogettazione alla valutazione: linee guida per la progettazione sostenibile degli edifici . . . . .	305
Giacomo Chiesa	Optimisation of envelope insulation levels and resilience to climate changes / Ottimizzazione dei livelli di isolamento e loro resilienza rispetto al cambiamento climatico . . . . .	339
Raffaele Amore	Il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio della Baia di Napoli. . . . .	373
Lujain Hadba, Paulo Mendonca Ligia Torres Silva	Functional Conditioning Systems for Urban Environments - Regarding Hygrothermal Comfort, Air and Noise Pollution . . . . .	385
<b>Parte IV</b>	<b>Case studies: design and proposals / Casi studio: progetti e proposte . . . . .</b>	<b>417</b>
Gianluigi De Martino Alessia Fusciello	The case study of the church of saint Francesca Saverio Cabrini: from abandonment to reuse / Il caso studio della chiesa di santa Francesca Saverio Cabrini: dall'abbandono al riuso. . . . .	419

Federica Visconti	Urban design and procedures for the enhancement of the authorship public residential district / Progetto urbano e procedure per la valorizzazione dei quartieri d'edilizia pubblica d'autore . . . . .	455
Renato Capozzi	RESEARCH PON METRICS. The demonstration case of Palazzo Testa Pelosi in Frigento within artifice and Nature / Ricerca PON Metrics. Il caso dimostratore di Palazzo Testa Pelosi a Frigento tra artificio e natura. . . . .	467
Belen Zevallos, Cidalia Silva	The Transformation of a noWHERE into nowHERE: a Story about Köpi Wasteland . . . . .	495
Lia Maria Papa, Saverio D'Auria	Enhancement and fruition of hisotical architecture using digital photogrammetry / Valorizzazione e fruizione di architetture storiche mediante fotogrammetria digitale . . . . .	509

# Innovation in the field of Cultural Heritage. Towards a conservative approach more and more sustainable.

*Gigliola Ausiello\**

## Introduction

Giving to the future generations the cultural heritage of Italy is a moral imperative to which we cannot escape. Deepening the role of innovation today is an important starting point for measuring the interventions in the historic buildings.

The innovation fit between past and future with materials and technologies that step by step enter the operational practices to manage the aim of preserving the cultural heritage in a new way. The common diffidence towards the new and the congenital delay of industrialization accesses in the construction site compromise the safeguarding of cultural heritage. In fact, what is new modifies the conservative approach and directs it towards greater sustainability. And then the methodology of approach is updated.

Only the knowledge of the new can help us to correct the attitude of mistrust and skepticism towards the new, so that it is not predetermined. We must read and reread to analyze and understand, evaluate and determine innovation, both in terms of material and construction technique and to note that sustainability is more than a general goal. As Marcel Proust would say "Le seul, le vrai, l'unique voyage, c'est de changer de regard". So, what we need is "having new eyes" to live an experience of understanding the new, seamless between past and future.

To pursue the objectives of conservation and fruition of the great cultural heritage in an even more rigorous and sustainable way, new performance is expected from the new materials. It is almost as we are waiting for something prodigious, in response to the difficult task of proposing intervention solutions where there is a maximum respect for the cultural heritage. But this is not a scientific point of view.

In contrast, there is an awareness that none of the new materials, even the intelligent ones, can fully guarantee the preservation, but each one can contribute to ensure its fruition. They will outline new approaches differently reckonable in terms of interaction and impact, both substantial and perceptible, projecting the cultural heritage to the present day.

There is no innovative material able to fully guarantee neither the conservation, nor the reversibility of the conservatively act. But, beyond the theoretical concept, the purpose of conservation and reversibility of the action of intervention [1] in their real operation, includes the transformation, perceptible or not, but effective and concrete. And when the action occurs at a much smaller scale of the visible, the modification may be perceptible or not. In this scenario the real innovation, the more advanced one, uses perceptually hidden dimen-

---

\* Gigliola Ausiello is Professor of Technical Architecture at the Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering of the Federico II University of Naples.

<sup>1</sup> Rava A., La reversibilità, utopia necessaria, in *Reversibilità? Concezione e interpretazione del restauro. Memorie del Convegno, Politecnico di Torino: UTET, (2002).*

sion, with consequent higher potential of new functions and awarding of exceptional performance of matter, in the face of modifications micrometric and nanometric, which regenerate conservation and sustainability concept. The so-called "science of the small" also manages to regenerate old materials and increasing their effectiveness, as well as conveying new materials and technologies, discovered several decades ago, to the reality of the construction.

Engineering has by now entered the project of materials [2] till changing the physical and chemical structure of materials. It also adds an active behavior, which lies in the ability of new materials to change their status depending to the changeability of external environment and men stimuli. Even the modification is "hidden" and influences the traditional principles of conservation, beyond the sphere of the visible. Therefore, the quality of the approach to the cultural heritage requires a rewriting of parameters which relies on conservation measurement: reversibility, compatibility and appropriateness. Their theoretical irrefutably value identifies the methodological assumption size [3], while the action that materializes the intervention loses or gains a high degree of freedom? And should sustainability and durability be added to the basic conservation criteria?

### ***A conscious methodological approach towards a sustainable innovation***

The culture of conservation has developed towards the cultural heritage an approach expressed more and more in terms of defense compared to the culture of the new often considered destructive and deleting.

The mistrust towards the targets that science reaches day by day arises from the fear that the value of the cultural heritage can be underestimated and above all that the value of the historical long-established testimony can be compromised.

This protective attitude, which stiffens conservation, arises from massive and irreversible practices perpetrated in the eighties of the twentieth century, to the detriment of an outstanding cultural heritage from the point of view of material and technology, which had been able to overcome the hardest challenges of the time.

Nowadays, despite some irreducible skeptics, the culture of innovation finds again the irreplaceable role of tradition, without losing sight of the deeper meaning of progress, which is rather fed and regenerated by different cultures, to paraphrase the words of Renzo Piano [4].

Gradually innovation takes place along the evolutionary path of history and scientific progress, which today

---

<sup>2</sup> D'Agostino S., Il contributo dell'Ingegneria per i Beni Culturali alla Conservazione del Patrimonio Costruito, nel Seminario Internazionale "Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli", Ed. Moderna, Bologna, vol. 3, (2005), pp. 1073-1077.

<sup>3</sup> Brandi C. (1963), Teoria del restauro. Lezioni raccolte da L. Vlad Borrelli, J. Raspi Serra e G. Urbani, Roma - Edizioni di Storia e Letteratura, Collana Piccola Biblioteca, Einaudi, Torino, (1977).

<sup>4</sup> Renzo Piano notes that "in nome della modernità si rincorrono altri modelli che non ci appartengono" with a tension towards innovation that does not always pay off. In the awareness of the irreplaceable value of tradition, he affirms that the deeper meaning of the progress is must to be conceived "in termini di fertilizzazione tra culture, da rispettare e da riattivare, o nei termini posti dai grandi temi della vita". Cfr. Renzo Piano La responsabilità dell'architetto. Conversazione con Renzo Cassigoli, Passigli ed., Firenze, 2000, p.51.

tends to be increasingly linear and tradition-oriented. And now, often, we find a more balanced relationship between the culture of the past and the culture of the new, ordered on the principles of integration between the different techniques, on the performance enhancement and on the revised and updated repetition of past techniques.

Therefore, only knowledge can make us understand the ways in which innovation enters the procedure of what is now building and what is has already been built.

For that reason, a conservative approach must be able to look seamless at both the tradition and the new, but above all, it has to evaluate the uses of any material solution in full awareness [5].

It is believed that modern technology is very different from any other precedent because it is based on modern time exact sciences. But even the famous German philosopher Heidegger emphasizes that modern technology is "unveiling" as the *techné* (τέχνη) of the ancient Greece. And in this revealing, the knowledge openness is totally expressed [6].

Knowledge continues to be a practice looking at the cultural asset from a material preservation point of view, but at the same time it must deepen the "new", not so much in terms of promised potentialities, as for the motivations that sustain them. And this experience must be extended to develop an awareness of the actions and interactions between innovation and pre-existence.

Far from performing acts of faith that are neither scientific nor rewarding [7], it is possible to analyze the active mechanisms and behaviors of

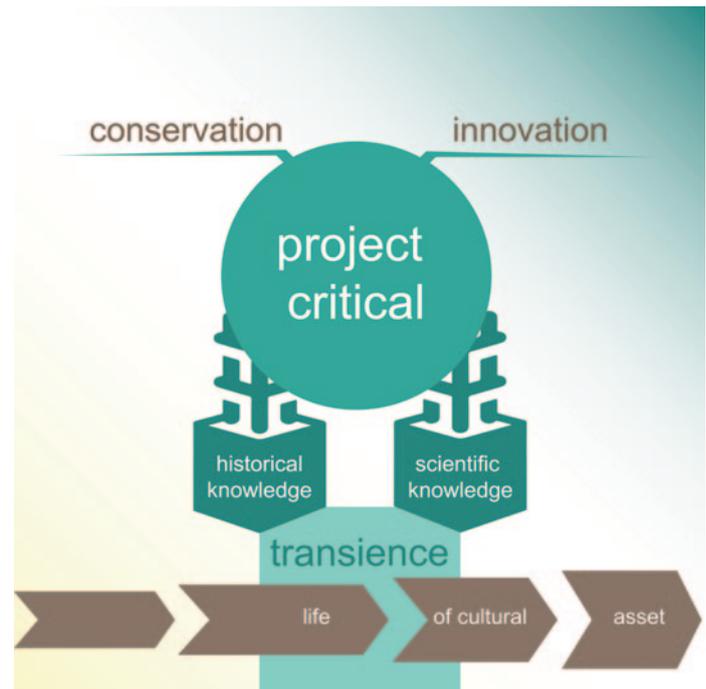


Figure 1. The approach to the project of conservation of cultural heritage / L'approccio al progetto di conservazione del patrimonio culturale

5. Bruno A. (1996), *Comprensione, conservazione e manutenzione*, in Mastropiero M. *Oltre il restauro. Architetture tra conservazione e riuso: progetti e realizzazioni di Andrea Bruno (1960 -1995)*, Lybra Immagine, Milano.

6. Martin Heidegger notes that there is continuity between ancient and modern construction techniques. In fact, both are unveiling. So, he notes: "Cos'è la tecnica moderna? Anch'essa è disvelamento. Solo quando fermiamo il nostro sguardo su questo tratto fondamentale ci si manifesta quel che vi è di nuovo nella tecnica moderna". And unveiling involves knowing in the broadest sense. "Il conoscere dà apertura. In quanto aprente, esso è un disvelamento". Cfr.. Heidegger M. (1976), *Saggi e discorsi*, Mursia, Milano, pp.10 e 11.

7. D'Agostino S., Cairolì Giuliani F., Conforto M.L. Guidoboni E., *Raccomandazioni per la redazione di progetti e l'esecuzione di interventi per la conservazione del costruito storico*, Cuzzolin Ed., Napoli, (2009).

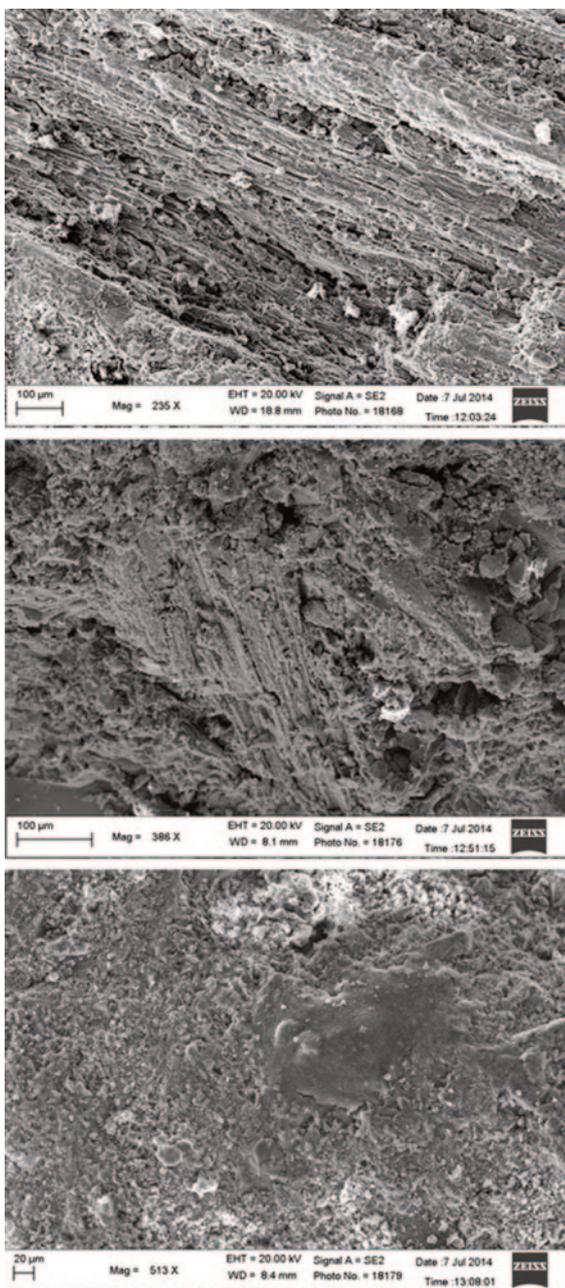


Figure 2. SEM images of specimens in green tuff: a) untreated sample, b) sample with lime water, c) sample with siloxane resin / Caratterizzazioni al SEM di provini in tufo verde: a) provino tal quale, b) provino trattato con acqua di calce, c) provino trattato con resina solissanica

some innovative materials in a rational and thoughtful way. The true conservative act displays, therefore, in a critical development. It must be based on both historical and scientific knowledge, being well aware of its transience with the life of cultural asset (Fig. 1). Therefore, it must know how to combine a conscious conservation with an innovative valorisation. Only in this way we can seize the continuity that orders the entire history of construction and discover a dimension of contemporaneity, sensitive to the fascination of what is new and modern, but capable of incorporating it into an active form together with the past[8].

### ***Innovation looking to the past between compatibility, appropriateness and sustainability***

One of the most particular, and above all more significant, way in which innovation manifests itself is that of improving the behavior of materials already tested by time and history. This is a conscious re-proposition in which the small dimension manages to trigger more effective actions, in the face of compatibility and durability with pre-existing buildings. The lesson of the past is totally implemented, in the awareness that the micrometric and nanometric dimensions of the proposed materials make them more exceptional from a perfor-

<sup>8</sup> Ausiello G., The new and the old in the perception of cultural heritage. The language of innovative materials between conservation, protection and enjoyment, in Atti del XII Forum Internazionale di Studi Le Vie dei Mercanti Heritage and Technology. Mind Knowledge Experience, La Scuola di Pitagora Ed., Napoli, (2015), pp.174-180.

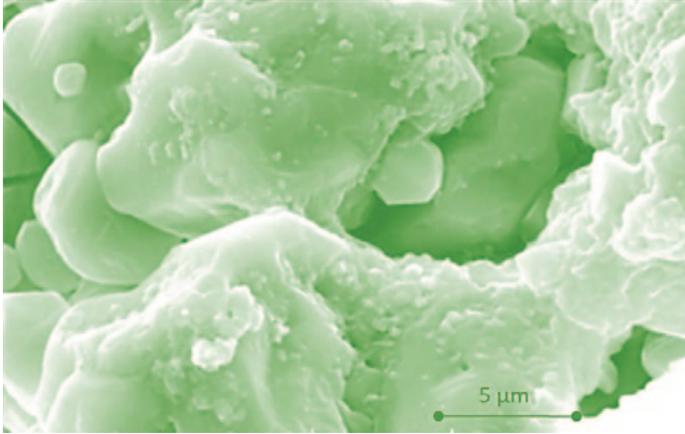


Figure 3. Hexagonal nanoparticles of lime, examined by TEM (transmission electron microscope) in a micrometric pore / Nanoparticelle esagonali di calce, al TEM (microscopio elettronico a trasmissione) in un poro micrometrico

tective material, also called surface consolidating, which originates from the repetition of limewater. The difference is in its dimensions that are generally between 50 and 400 nanometers, which make the particles much more active, because they're infinitesimal, and they have a regular shape (Fig. 3).

9. Fernandez F., Nanotecnologie e nanomateriali: una rivoluzione trasversale, Progetto Restauro 35, (2005) pp. 24-28.

10. Felekoğlu B., Türkel S., Kalyoncu H., Optimization of fineness to maximize the strength activity of high-calcium ground fly ash – Portland cement composites, Construction and Building Materials (May, 2009).

11. Rahul V., Sashidhar C., Guru Jawahar J., Pavan Kumar, Study of macro level properties of scc using silica fume and fly ash by using robosand, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 8, (<http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp>), Issue 2, February, (2017), pp. 182–189.

12. Ausiello G., Materiali innovativi e conservazione. pp.465-522. in AA.VV. Ingegneria e Beni Culturali, (2017), pp. 465 522.

ming point of view [9]. For example fly ash, microsilica, nanosilica and other fillers, as industrial waste, are used in the packaging of self compacting concrete [10] [11]. Their action is similar to that of the pozzolana of the Romans, but much more effective because, as the particles of micrometric dimensions have a larger specific surface, they are much more reactive [12]. And therefore the concretes in which they are present are also sustainable. In fact, they are called eco-concretes. In order of proposing it in the field of Cultural Heritage, the example of the nanolime is even more emblematic, in how much innovation is expressed in the nano size that empowers its actions and performances (Fig. 2). This product today is a pro-

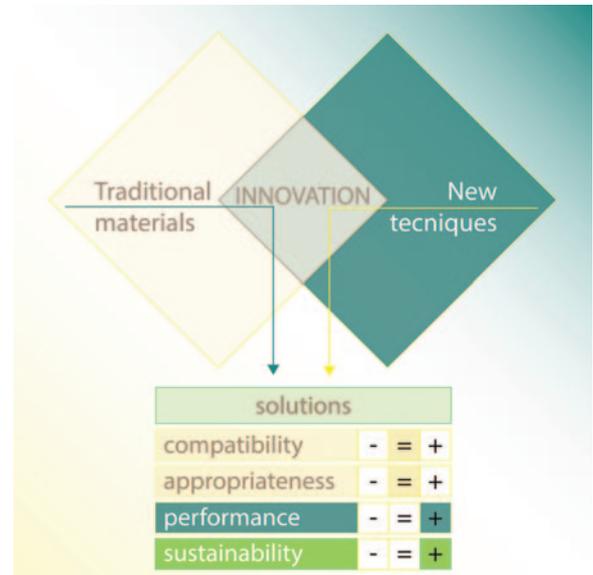


Figure 4. Innovation looking to the past in relation to the basic principles of conservation / L'innovazione che guarda al passato in relazione ai principi di base della conservazione

Therefore, the traditional precipitation from calcium hydroxide to calcium carbonate is not only revived, but strengthened, being the nanometer particles much more reactive. In fact, the larger surface-to-volume ratio reinforces the chemical reaction and allows exceeding the limits of conventional lime based treatments. Also the calcium carbonate that is formed has submicron dimensions, adding, to these advantages, the capacity of reducing the porosity without completely occluding the pores. Compatibility is assured, being these materials already used in the past and thanks to their compatibility with the masonry support, but sustainability is an added value, since it is a waste.

The example of the church of "Santa Maria della Strada" in Matrice (CB) returns a priceless masterpiece of Romanesque style. Also the Colonnade of Bernini in Piazza S. Pietro in Rome uses nanolime for the consolidation of very porous travertine that materializes columns and statues.

One more appliance sphere for nanolime particles is that of micro-mortars, where they act synergistically with micro particles of pozzolanic fillers and ultrafine sands with a maximum size of 100 micrometers. To the effect of the small scale of the nano binder, it is added that of the pozzolanic filler, which stabilizes the lime by acting as hydrating agent for the compound. In this way, we have a guarantee of durability, but also a compatibility with ancient mortars and stone [12].

Another application is the consolidation with silica nanoparticles in gel that boasts short times of construction site. The material restoration of Pisa tower of has seen interventions on columns and capitals in white marble. The erosion and disintegration phenomena required the consolidation of the surface, which was done by immersion in the nanosilica gel. It was also worked at night to not restrict access to visitors.

In the use of always-existing materials, a form of hidden innovation is pictured, which allows uses in the field of cultural heritage [13] [14] in the name of continuity with pre-existing walls and mortars. But innovation is also deeper because it is susceptible to more performing behaviors (Fig.4). As Mario Botta would say "every new one has its own antiquity".

Also the vegetable and animal textile fibers, which have always been used as anti-cracking reinforcement in plaster and mixtures, today can be used in a similar way, as they are natural fibers of micrometric dimensions. Also the solution of the barley fiber micro rebars regenerates, in an innovative and sustainable way, the historical technique of the clay plaster. It triggers natural cyclical processes of hygrometric thermoregulation that is able to gather and release excess and inadequate environment moisture. This is today a sustainable solution, also boasts infinitely recyclable clay and energy saving.

Repeated today for the absolutely natural and rather prolonged antibacterial action, the use of natural nano particles of noble materials, such as silver and gold, which boasts millennia of applications, accompanied by a certain awareness of both the effects and the action at a scale dimensional imperceptible to the naked eye.

---

13. Della Mura C., Simonato E., *Architettura e nanotecnologie*, libreriauniversitaria.it Ed. Padova, (2012).

14. Khandve P. V., *Nanotechnology for Building Material*, International Journal of Basic and Applied Research, Vol. 4. 146-151, (2014).

The use, at the time of the Romans, on the invisible scale, is well known for creating glasses sensitive to different light effects.

Today, the laying of coating [15] containing nano particles of metal oxides on the surface of existing glass sheets is possible very quickly with the use of films to be applied from inside or outside on normal glass. With a minimum impact and maximum efficiency with regard to solar control, transparent films, produced using the most modern nanotechnologies, transform normal glass into selective glasses. They are composite materials formed by ten layers of precious metals, such as gold and silver in the form of nano particles, which, combining high visibility diffused transparency and high sun protection, allow the transformation of the old float glasses into low-emissivity glasses, this could allow several intervention in pre-existing buildings. The sheets get a reduced emissivity, and so they become capable of selecting the solar radiation on specific wavelengths, in order to exert a high transmission of the visible radiation and a filtering action only against infrared or ultraviolet radiation.

The guarantee of an effective solar control action, with very low transmittance values, allows you to gain energy savings and internal comfort, even if, in the historical building, there are no particularly restrictive regulations.

### ***Smart technologies and dynamic performance between reversibility and minimal invasiveness***

When innovation looks ahead, new material and technological frontiers get access to the field of construction and are manifested in many ways. These are advanced materials, as projected looking at the exceptional potential for growth of the characteristic properties of common materials. One of the most attractive ways in which innovation is presented is that of materials and "smart" technologies, which characterize a type of approach to what already exists as intelligent solutions. In these cases, once again the small dimension plays an important role, which is expressed both in significantly reducing the visual impact and, in some more virtuous solutions, in entrusting the "intelligent" action to natural mechanisms. And sustainability is often the basis of smart behavior.

The installation with dry technologies, which characterizes some applications, adds reversibility [16]. While, active behavior, which refers to intelligence, tracing some existing processes in nature, constitutes, in a way, a guarantee over time. Moreover, in accelerating the dynamics of natural processes, it reveals performances that are even more performing and sustainable, in line with Leonardo's assumption "inventing does not mean nothing but knowing how to reproduce" [17].

For example, a certain "intelligence", as autonomy of variable behavior, can be introduced into a range of materials or functional layers and then extended to the entire construction system to which it belongs, with phase

---

15. Orori Mosiori C., Kamande Njoroge W., *Optical Coating*, Lap Lambert Academic Publishing, (2014).

16. Imperadori M., (a cura di) *Costruire sul costruito. Tecnologie leggere nel recupero edilizio*, Carocci, Roma, (2001).

17. Galluzzi P. (1996), *Gli ingegneri del Rinascimento da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*, (a cura di), catalogo della mostra tenutasi a Firenze, a Palazzo Strozzi giugno 1996-gennaio 1997, Giunti, Firenze, p.51.

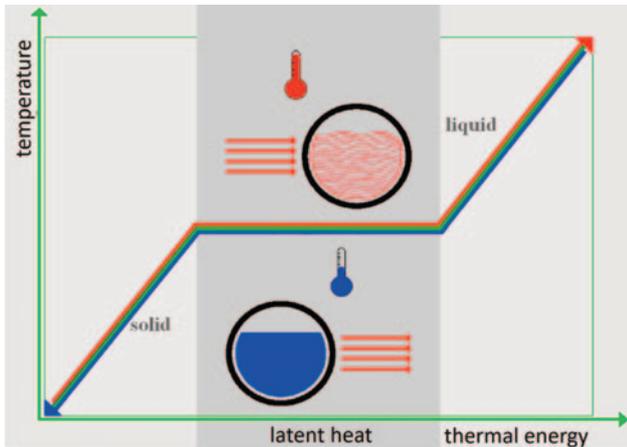


Figure 5. The accumulation and release of thermal energy in phase change materials PCM / Capacità di accumulo e di rilascio di energia termica nei materiali a cambiamento di fase (PCM)

performance efficiency in relation to external, environmental and human stimuli, comparable to intelligence, so that inertia becomes programmable too.

Dynamism is no longer an external quality of technology, but an endemic characteristic of the matter (Fig. 6).

The achievement of the aim of energy saving and together with an improved levels of comfort and environmental benefits can be translated into dynamic performance to be added in the field of cultural heritage, using solutions that range from the packaging of plasters with PCM microcapsules, to the construction of inter-liners, partition walls and false ceilings with plasterboard panels or reinforced plaster, preferring more and more dry technologies to the wet ones [18].

18. Kosny J., PCM-Enhanced Building Components: An Application of Phase Change Materials in Building Envelopes and Internal Structures, Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland, (2016).

change materials, using micrometric capsules that are nothing more than micro containers of nanometric particles, characterized by exceptional capacity to store thermal energy by using latent mechanisms.

Inertia, traditionally entrusted to the mass of thick walls, becomes independent; so much that it can be concentrated in very small quantities of matter. Even inertia loses much of its physicality and becomes an added value that can be included in any construction solution, even light and not very massive.

The accumulation capacity of thermal energy, both natural and artificial, in the transition from solid to liquid, when the temperature reaches a threshold limit value, manages to climatize the environment by subtracting heat. At this loading phase, when the temperature drops, the inverse phase change occurs, in which the accumulated thermal energy is released (Fig. 5). An intrinsically active and dynamic behavior is prefigured, in

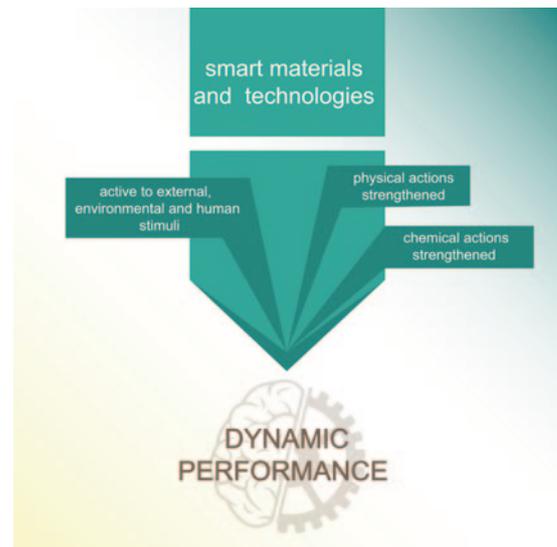


Figure 6. Smart technologies and dynamic performance / Tecnologie intelligenti e prestazioni dinamiche

The resulting invasiveness is so reduced as to benefit very much the reversibility.

The accumulation and release mechanism is already existing in nature and was well known also in the past, in relation to the water change of phase from liquid to steam for which, when the boiling temperature is reached, it begins to release the heat in a latent way and continues until the state passage is completed, remaining at constant temperature. In the transition from liquid to solid and vice versa, water follows the same phases of loading and unloading (Fig. 7).

Much more known is the action of titanium dioxide nano particles that transfer the self-cleaning and anti-pollution effect in the construction material itself in order to activate it, and

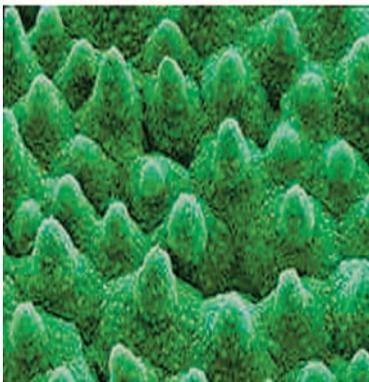


Figure 8. Water drops on lotus leaf and bristles enlargement / Gocce d'acqua sulla foglia di loto e ingrandimento delle setole

therefore that is smart, to the advantage of a performance increasing variable over time, depending on the variation of an external factor such as light. Nanometer crystals of this semiconductor [19], due to the absorption of light energy, trigger photochemical reactions, behaving like photoactive particles amplified a thousand times. Photocatalysis, which leads the anti-pollution effect [20], triggers a strong oxidation process that support, in a faster way than in nature, the decomposition of harmful organic and inorganic substances into absolutely harmless compounds.

Also the self-cleaning effect is called "lotus effect", in relation to the natural behavior of the leaves of this plant. Immersed in muddy waters, they are always shiny and clean (Fig. 8). Therefore, titanium dioxide acts as an accelerator of processes that already exist in nature. After the interactive tie with cement, in relation to uses with cementitious products cast in place, such as paints, mortars and concretes, or already on the market, such as flooring, the white nanometric pigment also opens to other building materials, to become

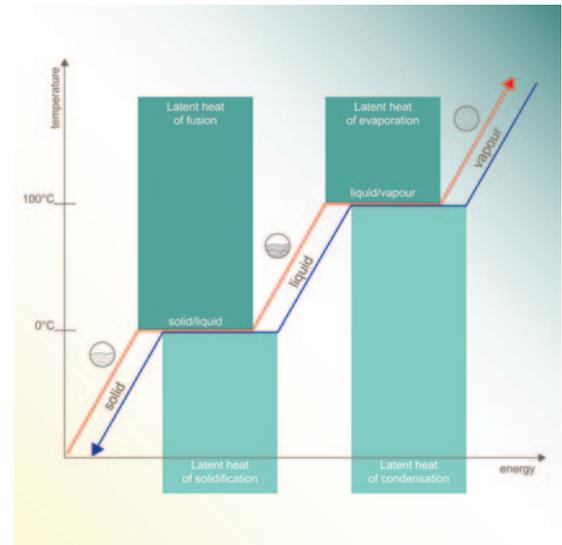


Figure 7. The accumulation and release mechanism in water changes of phase / Il meccanismo di accumulo e rilascio nei cambi d'acqua della fase

19. Khataee A., Mansoori G. A., Nanostructured Titanium Dioxide Materials, World Scientific Publishing, (2011).

20. Tongini Folli R., Fotocatalisi antimog, in Modulo, n. 330, (2007), pp.325-329.

coating of natural stone materials, flooring for exteriors and interiors areas of any kind, glass and paints, so to activate them, under sunlight, both in self-cleaning and air purifying treatments.

This broader application horizon opens a way for photocatalytic technologies to cultural heritage [21], significantly revising the concept of minimal invasiveness, on which is based the reversible approach. In fact, these coatings are not visible to the naked eye and they have a nanometric material consistency, but they make the support very reactive to UV radiation.

And here the coating with dioxide de titane application on the roof of the Milan Cathedral is certainly emblematic, especially considering that in Italy the conservative approach is almost closed to innovation. The intervention is a field experiment that employs a sol gel with titanium dioxide nanoparticles, put en place with a low pressure spraying system. The goal is to verify passive air purification action and self-cleaning properties. The installation was also extended to Cathedral baseboard.

Another famous application with gel put in place by brush was made in an Tower of Pisa arch which is in an incline. The goal was to counteract the unsightly black crusts due to the continuous stagnation of rainwater.

Without saying that innovation tends to get another step, when the research aims to increase titanium dioxide with plasma treatments, so as to make it active even with visible light. It follows the possibility of considerably increasing the self-cleaning and purifying activity of the air, both outdoors and indoors, to the advantage of the conservation of historical and valuable architectural surfaces [22].

### ***High performance and reversibility***

Another way of introduce itself for innovation is to structure original formulations, in which the small dimension is a quality that presides over the exceptional performance. The identification of a "high performance" class makes it possible to design reliability, thanks to the speed of production processes and the instruments with which they are structured, so to be able to boast, through performance control activities, predictions on behavior over time.

And even if there could be some skepticism to be resolved with regard to durability, it can be considered that the dry technologies, which characterize the uses in construction of some materials of this type, show a negligible invasion towards the cultural heritage and, therefore, even if their performances should, they would not compromise the life of the cultural asset itself, but they only might see reduced the performance acted in response to a specific function. And between reversibility and durability, the examples are a lot and, among these, the potentialities of application in the historical building begin to come in succession.

For example, silica aerogel, or silicon dioxide, is currently not only the only insulating material capable of conducting light, but is characterized by very high thermal resistance parameters.

---

21. Gherardi F., Colombo A., D'Arienzo M., Di Credico B., Goidanich S., Morazzoni F., Simonutti R., Toniolo L., Efficient self-cleaning treatments for built heritage based on highly photo-active and well-dispersible TiO<sub>2</sub> nanocrystals, *Microchemical Journal*, 126, (2015).

22. Sierra-Fernández, A., Gómez-Villalba, L.S., Rabanal, M.E., Fort, R., New nanomaterials for applications in conservation and restoration of stony materials, *Materiales de Construcción*, (<http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.07616>), Vol. 67, (2017).

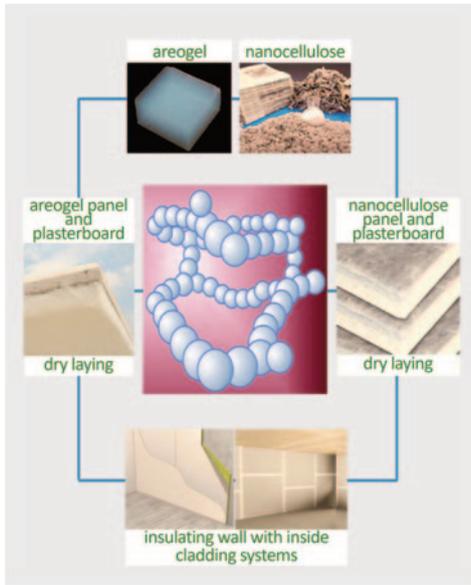


Figure 9. The aerogel and the nanocellulose in the insulating wall with inside cladding systems / L'aerogel e la nanocellulosa nei sistemi di isolamento a cappotto interno

Obtained by dehydration of a gel composed of colloidal silica, it has such a high porosity that it can boast the lowest possible density for a solid material, consisting of 99.80% of air and 0.2% of siliceous skeleton. The extreme lightness and also its form of solid foam are due to a chemical structure with numerous nanopores, which alternate very few spherical nano particles of 1-8 nanometers, organized according to an acquired dendritic structure. Lighter than air, this nanos foam is capable of supporting loads 2000 times greater than its weight. It is precisely the nanoporosity that guarantees this mechanical resistance and makes the aerogel a good inhibitor of convective motions, because the air cannot circulate inside the siliceous lattice, making the characteristics of insulation exceptional. Therefore it is the most effective and thinnest nanoporous insulator existing.

Today, innovation places the silica aerogel in interaction with a polymeric reinforcement [23] which increases its stiffness and resistance and manages to reach thicknesses ten times thinner than other insulators, up to reveal new production potentials in very flexible films. Perfect for insulating, ultra light and flexible coatings, after the first propositions in other highly technological fields, aerogel not only enters the building field, but it also applies in the field of cultural heritage, where the logic of economy and efficiency energy are still too far, due to the significant insulation capacity with very reduced thicknesses. In this way, it is possible to combine a better management

of energy consumption with environmental sustainability.

This is therefore, a more virtuous energy behavior, which is an added value for cultural heritage, the average between project durability and reversibility in the execution of the intervention (Fig. 9).

Another new generation thermal insulation with exceptional characteristics compared to the others is cellular glass. First of all it is a sustainable and ecological material, as it is produced from recycled glass.

With one million cells with closed cells per cubic centimeter, it has a very low thermal conductivity and an exceptional lightness, as well as some other very performing and unusual characteristics for a thermal insulation, such as absolute impermeability and the relevant mechanical resistance. The incombustibility, the non-toxicity and the resistance to frost are other characteristics that make it more performing in some specific applications.

23. Sachithanadam M., Joshi S.C., Silica Aerogel Composites: Novel Fabrication Methods, Springer Publishing, (2017).

The production is oriented towards artificial aggregates, insulating waterproof products, very resistant to compression, which gain the denomination "foam glass gravel", for its affinity with the natural gravel, compared to which they are at least ten times lighter. But continuous slab panels are also produced depending on the fields of use.

One of the most important applications of foam glass gravel is the creation of the roof covering of non-practicable flat roofs, which is undoubtedly one of the most feasible applications in historic buildings. Made up of just three functional layers, the solution is simple and quick to set up. They follow each other

from the bottom to the top: the slope screed, a typical functional layer for channeling rainwater to the plumbing, a waterproofing layer, with the function of keeping rainwater, and finally a layer of foam glass gravel on the top that performs simultaneously various functions. The granulate mainly acts as a thermal insulator, then to protect the waterproofing from the action of aging induced by atmospheric events, an ideal substitution of the gravel, and finally it acts as a ballast of the waterproofing against the wind. Another interesting application to the scale of pre-existing buildings is the use of foam glass gravel as a material for filling the abutments of the masonry vaults in, due to the lightness and mechanical resistance of the fill material compared to the loads on the floor [12]. The layers of geotextile, placed below and above the granulate, are used to make the lightweight aggregate independent and thermal insulating.

At the scale of the historical building, foam glass gains other possible applications, which allow solving problems at critical points and improving some behavior. For example, for the insulation of underground or basement walls it is possible to use the gravel marketed in bales, which are placed side by side without removing the wrap in geotextile with which they are transported. The fast and easy laying, the impermeability, the inalterability, the frost resistance, the resistance to mold and fungus and the lightness are all characteristics that allow to solve existing problems with an ecological and performing material. Instead of the granulate it is possible to use a foam glass sheet, which, thanks to its impermeability characteristics, adds a further defense against infiltrations. The important effect is reducing environmental pollution, which should not be overlooked in high value contexts (Fig. 10).

The use of foam glass sheets as acoustic insulation in countertops adds special properties being resistant to



Figure 10. Applications with the foam glass: a) hot drainage system, b) flat roof insulation, c) light material for filling of the masonry vaults / Applicazioni con il vetro cellulare: a) sistema di drenaggio a caldo, b) isolamento del tetto piano, c) materiale leggero per il riempimento delle volte in muratura

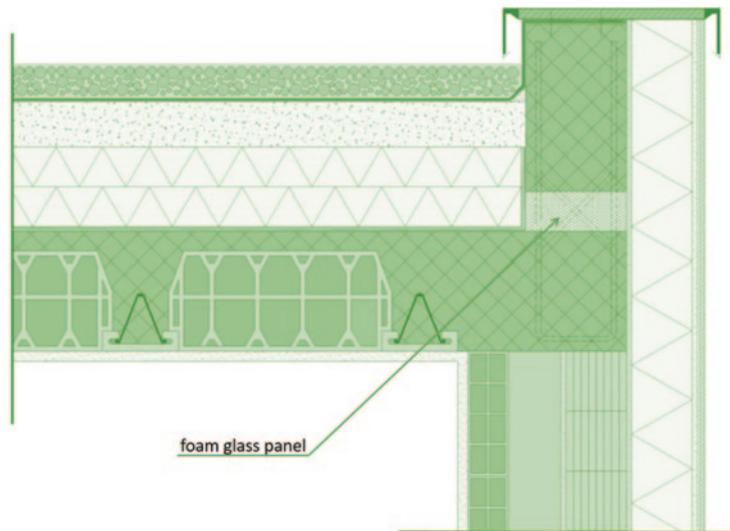


Figure 11. Resolution of the roof existing thermal bridges with foam glass panel / Risoluzione del ponte termico esistente in copertura con pannello in vetro cellulare

moisture, rodents, bacteria, fungi, acids and fire. And these peculiarities, in pre-existing buildings with changes of intended use, susceptible to overcrowding, can constitute a guarantee of hygiene, which makes green buildings.

Even in singular points that constitute thermal bridges, due to the way of connecting the fixtures to the wall, it is possible to intervene with thermal break solutions, where the imputrescibility of the foam glass panel neutralizes the effects of a possible water seepage (Fig. 11).

But there are still many examples, such as ultra-light insulators, based on nanocellulose, with extraordinary insulating and flame retardant properties, which are not toxic, as they do not contain additives for fire protection.

Or the heat-reflecting ceramic nanospheres, formulated to be added to normal paints and make them insulating in an innovative way, without limiting transpiration, to the full advantage of winter and summer air conditioning. Through the examples, the various forms of innovation mentioned achieve just a demonstrative value, revealing an access in the field of cultural heritage that announces revisions and clarifications of the parameters used to "measure" conservation.

The elements that unite these examples are the nanotechnological matrix that makes them highly performing and the dry laying that fully meets the reversibility requirement.

### ***Minimal impact and recognisability***

While the culture of the ruins, regenerated in the last thirty years as a reaction to the invasiveness of the cementing actions, continues to be a "doctrine" for someone, we are gradually gaining ground, a different awareness of the current scientific progress, which opens up to a perceptually hidden innovation, making its atomic and molecular dimension its strength. The concept of designing performance has crept into matter and in a more hidden way, the more exceptional from the performing point of view. So, some materials are innovative in the deepest sense of the term, as designing their performance level means intervening on the chemical and physical set-up of the micrometric and nanometric scale.

On that scale, physical and chemical actions are strengthened and, in some cases, even subverted. In fact, on

the small scale, gravity too begins influencing not so much the surface tension and the chemical bonds themselves [24].

On these assumptions a new and more dynamic culture of conservation is founded. The new loses; therefore, it's wrong meaning of "contradiction" with respect to the matter language of the past and offers to the cultural heritage the possibility of belonging to the present in a more respectful way of the strategies and guidelines that manage the approach to the building.

Today the culture of conservation continues to be based on the principle of minimum intervention which, in turn, interprets the respect of the original constructive conception of the cultural heritage, with new technological possibilities. Having established that the aim of conservation is to preserve the maximum integrity of the monument-document, both for its historical and scientific value, it is necessary to follow the process of innovation, so that we can distinguish the aspects potentially capable of enriching the cultural and cultural heritage. Make it participate in the sense of contemporaneity.

In fact, the current technical culture has new materials and technical solutions capable of declining compatibility reversibility and durability, in a new and different way in the light of sustainability.

All the basic criteria that conservation relies on gain more active roles, in the sense of the measurability of the impact both perceptive and substantial. And in this measurability, the modification, which is inherent in the



Figure 12. Between conservation and innovation, the project in relation to the basic principles / Tra conservazione e innovazione, il progetto in relazione ai principi di base

conservative act, tends to be less and less perceptible and negligible, but more sustainable.

The minimal impact resulting puts in crisis the recognizability that every restoration intervention must pursue, with a differentiation that avoids the risk of forgery. But, in fact, many new solutions, due to a negligible modification, do not create a wrong reading of the work, but contribute to the action of preservation.

Therefore, the quality of the approach to cultural heritage is regenerated, but above all the criteria of reversibility, appropriateness and compatibility are rewritten, which acquire greater potential and require an update in terms of guidelines and regulatory codes, especially in relation to the objectives of environmental sustainability, which today must look at every level of design at the construction scale(Fig. 12).

---

24. Pacheco-Torgal F., Diamanti M. V., Nazari A., Goran-Granqvist C., Nanotechnology in Eco-Efficient Construction, Woodhead Publishing, (2013).

## *L'innovazione nel campo dei Beni Culturali. Verso un approccio conservativo sempre più sostenibile.*

### **Introduzione**

Consegnare alle future generazioni il patrimonio di beni culturali è un imperativo morale al quale non possiamo sottrarci. Approfondire il ruolo dell'innovazione oggi è un punto di partenza importante per misurare gli interventi nel costruito storico.

L'innovazione si inserisce tra passato e futuro con materiali e tecnologie che, a piccoli passi, cercano di insinuarsi nelle pratiche operative che gestiscono la conservazione del patrimonio costruito, in un'atmosfera di generale diffidenza verso il nuovo. Questo atteggiamento, insieme al ritardo congenito con cui l'industrializzazione accede al cantiere, compromette la salvaguardia dei beni culturali. Infatti, il nuovo modifica l'approccio conservativo e lo orienta verso una maggiore sostenibilità. E quindi la metodologia di approccio si aggiorna.

Soltanto la conoscenza del nuovo ci può aiutare a correggere l'atteggiamento di diffidenza e di scetticismo nei confronti del nuovo, in maniera che non sia preconcepito. Dobbiamo leggere e rileggere per analizzare e capire, valutare e misurare l'innovazione, sia in termini di materiale, che di tecnica costruttiva, e constatare in cui la sostenibilità è più di un obiettivo comune.

Come direbbe Marcel Proust "Le seul, le vrai, l'unique voyage, c'est de changer de regard". Quindi bisogna "avere nuovi occhi" per vivere un'esperienza di conoscenza del nuovo, nella consapevolezza che si fonda sempre di più su concetti pertinenti alla bioedilizia.

Per perseguire in maniera ancor più stringente e sostenibile gli obiettivi della conservazione e della fruizione del grandissimo patrimonio culturale, ci si aspetta dai nuovi materiali prestazioni sempre maggiori. Si delinea quasi un'aspettativa di qualcosa di prodigioso, in risposta al difficile compito di proporre soluzioni di intervento di massimo rispetto del bene culturale. Ma questa non è una visione di scienza.

Di contro, una visione più realistica si fonda sulla consapevolezza che nessuno dei materiali nuovi, neppure quelli intelligenti, può garantire appieno la conservazione, ma che tutti possono contribuire a garantire la fruizione, delineando approcci nuovi e diversamente misurabili in termini di interazione e di impatto, sia sostanziale che percettivo, che proiettano il bene culturale nella realtà odierna.

Non esiste materiale innovativo in grado di garantire pienamente la conservazione, tantomeno la reversibilità dell'atto conservativo. Ma, al di là del concetto teorico, l'obiettivo della conservazione e della reversibilità dell'azione di intervento [1], nella loro operatività reale, include la trasformazione, percettibile o meno, ma efficace e concreta. E quando l'azione avviene a una scala molto più piccola del visibile, la modificazione può essere percettibile o meno.

In questo scenario la vera innovazione, quella più avanzata, si avvale di una dimensione percettivamente nascosta, con conseguenti maggiori potenzialità di rifunzionalizzazione e di conferimento di prestazioni materiche

eccezionali, a fronte di modificazioni alla scala micrometrica e nanometrica, che rigenerano il concetto di conservazione e di sostenibilità. La cosiddetta “scienza del piccolo” riesce a rigenerare vecchi materiali e ottimizzarne l’efficacia, oltre a traghettare nuovi materiali e tecnologie, scoperte già da alcuni decenni, nella realtà del costruito.

L’ingegnerizzazione è ormai entrata nel progetto della materia [2], fino a modificare la struttura fisica e chimica di materiali. Inoltre aggiunge un comportamento attivo, che risiede nella capacità dei nuovi materiali di mutare il loro stato al variare degli stimoli esterni dell’ambiente e della volontà dell’uomo. Anche la modificazione è “nascosta” e condiziona i tradizionali principi della conservazione, oltre la sfera del visibile. E la qualità dell’approccio al bene culturale richiede una ridefinizione/riscrittura dei parametri cui si affida la misura della conservazione: reversibilità, compatibilità e minimo intervento.

Il loro valore teorico inconfutabile individua la dimensione dell’assunto metodologico [3], mentre l’azione che materializza l’intervento perde o guadagna un altro grado di libertà? E ai criteri di base della conservazione si dovrebbero aggiungere anche sostenibilità e durabilità?

### ***Un approccio metodologico consapevole verso un’innovazione sostenibile***

La cultura della conservazione ha sviluppato nei confronti del patrimonio culturale un approccio espresso sempre più in termini di difesa rispetto alla cultura del nuovo considerata spesso demolitrice e artefice di cancellazioni.

La diffidenza nei confronti dei traguardi che la scienza raggiunge giorno per giorno nasce dalla paura che il valore del patrimonio culturale possa essere sottovalutato e soprattutto possa essere compromesso il valore di testimonianza storica consolidato dal tempo.

Questo atteggiamento protettivo, che irrigidisce la conservazione, nasce da pratiche massicce e irreversibili perpetrate negli anni Ottanta del Novecento, a danno di un patrimonio culturale di autentica eccezionalità dal punto di vista materico-tecnologico, che era stato capace di superare le difficili sfide del tempo.

Oggi, malgrado alcuni irriducibili scettici, la cultura del nuovo riscopre il ruolo insostituibile della tradizione, senza perdere di vista il senso più profondo del progresso, che è piuttosto alimentato e rigenerato da culture diverse, parafrasando le parole di Renzo Piano [4].

Gradualmente l’innovazione si dispone lungo il percorso evolutivo della storia e del progresso scientifico, che oggi tende ad essere sempre più lineare e orientato sulla scia della tradizione. E sempre più spesso tra cultura del passato e cultura del nuovo si crea un rapporto più equilibrato, ordinato su principi di integrazione tra le tecniche, sul potenziamento prestazionale e sulla riproposizione, riveduta e aggiornata, di tecniche del passato. Pertanto, la conoscenza è la sola che possa far comprendere i modi con cui il nuovo si colloca nella realtà dei modi di costruire e del costruito.

Un approccio conservativo, dunque, deve saper guardare sia alla tradizione che al nuovo senza soluzione di continuità, ma soprattutto, valutare gli impieghi di qualsiasi soluzione materica in piena consapevolezza. Quindi, più che coltivare diffidenza verso il nuovo, in quanto frontiera appena raggiunta, ma non ancora storicizzata,

sarebbe opportuno sviluppare una metodologia di approccio, maturata su una profonda conoscenza delle varie forme con cui l'innovazione si disvela e, soprattutto, coltivare e direzionare la conoscenza del nuovo in modo da "misurarne" gli impatti. [5].

Si ritiene che la tecnica moderna sia incomparabilmente diversa da ogni altra precedente perché si fonda sulle moderne scienze esatte. Ma anche il celebre filosofo tedesco Heidegger sottolinea che la tecnica moderna è "disvelamento" quanto la techné (τέχνη) dell'antica Grecia. E in questo rivelare c'è, il conoscere in tutta la sua esperienza di apertura [6].

La conoscenza continua ad essere un'esperienza che guarda al bene culturale sotto il profilo della conservazione materiale, ma parallelamente deve approfondire il "nuovo", non tanto in termini di potenzialità promesse, quanto per le motivazioni che le sostengono. E questa esperienza deve essere protratta fino a sviluppare una consapevolezza delle azioni e delle interazioni tra innovazione e preesistenza.

Lungi dal compiere atti di fede, che non sono scientifici, né ripaganti, [7] è possibile analizzare i meccanismi attivi e i comportamenti di alcuni materiali innovativi in maniera ragionata e profonda.

Il vero atto conservativo si manifesta, quindi, in un progetto critico [8]. Esso deve essere fondato sia sulla conoscenza storica, sia su quella scientifica, avendo coscienza della sua transitorietà nella vita del bene culturale (Fig. 1). Pertanto, deve saper coniugare una conservazione consapevole con una valorizzazione innovativa. Solo così si può cogliere la continuità che ordina l'intera storia del costruire e scoprire una dimensione della contemporaneità, sensibile al fascino del nuovo e della modernità, ma capace di inglobarlo in forma attiva insieme al passato [8].

### ***L'innovazione che guarda al passato tra compatibilità, appropriatezza e sostenibilità***

Uno dei modi più singolari, e soprattutto più sostanziali, con cui l'innovazione si manifesta è quello di potenziare comportamenti di materiali già collaudati dal tempo e dalla storia.

Si tratta di una riproposizione consapevole in cui la piccola dimensione riesce ad innescare azioni più efficaci, a fronte di una compatibilità e di una durabilità con le preesistenze edilizie. La lezione del passato viene recepita oltremisura, nella consapevolezza che la dimensione micrometrica e nanometrica dei materiali riproposti li rende più eccezionali dal punto di vista performante [9].

Ad esempio cenere volante, microsilice, nanosilice ed altri filler, in quanto rifiuti industriali, sono impiegati nel confezionamento dei self compacting concrete [10] [11]. La loro azione è simile a quella della pozzolana dei romani, ma molto più efficace perché le particelle di dimensioni micrometriche avendo una maggiore superficie specifica, sono molto più reattive nota [12]. E quindi sono anche sostenibili i composti in cui sono presenti. Infatti, sono denominati eco-malte e eco-calcestruzzi.

Per la proponibilità nel campo dei Beni Culturali, l'esempio della nanocalce è ancor più emblematico, in quanto l'innovazione si esplicita nella nanodimensione, che potenzia le azioni e le prestazioni. Questo prodotto, oggi è un protettivo, definito anche consolidante superficiale, che ha origine dalla riproposizione dell'acqua di calce (Fig. 2). La differenza è nelle dimensioni generalmente comprese tra 50 e 400 nanometri, che rendono le par-

ticelle molto più attive, in quanto infinitesimali, e di forma regolare (Fig. 3). Pertanto, la tradizionale precipitazione da idrossido di calcio a carbonato di calcio non solo viene riproposta, ma potenziata, essendo le particelle nanometriche molto più reattive. Infatti, il maggior rapporto superficie/volume rafforza la reazione chimica e consente di superare i limiti dei trattamenti convenzionali a base di calce.

Anche il carbonato di calcio che si forma, presenta dimensioni submicrometriche, per cui, a questi vantaggi, si sommano anche quello di ridurre la porosità senza occludere completamente i pori. La compatibilità è una certezza, trattandosi di materiali già impiegati in passato e con affinità nei confronti del supporto murario, ma la sostenibilità è un valore aggiunto, trattandosi di un rifiuto.

L'esempio della chiesa di Santa Maria della Strada a Matrice (CB) nel Molise restituisce un capolavoro romanico di valore inestimabile. Anche il Colonnato del Bernini di piazza S. Pietro a Roma si avvale della nanocalce per il consolidamento del travertino poroso che lo materializza.

Altra sfera applicativa per le particelle di nanocalce è quella delle micromalte, in cui entra in sinergia con le microparticelle di filler pozzolanico e sabbie ultrafini delle dimensioni massime di 100 micrometri. All'effetto della piccola scala del nanolegante, si aggiunge quello del filler pozzolanico, che stabilizza la calce idraulicizzando il composto. In tal modo, si ottiene non solo garanzia di durabilità, ma anche di compatibilità con le malte antiche e con la pietra [12].

Segue il consolidamento con nanoparticelle di silice in forma di gel che vanta tempi brevi di cantierizzazione. Il restauro materico della torre di Pisa ha visto interventi su colonne e capitelli in marmo bianco. La posa è avvenuta per immersione nel gel di nanosilice. I fenomeni di erosione e di disgregazioni richiedevano un intervento di consolidamento superficiale. Si è lavorato anche di notte per non limitare l'accesso ai visitatori.

Si prefigura, nell'uso di materiali di sempre, una forma di innovazione nascosta, che consente impieghi nel campo dei beni culturali [13] [14] all'insegna della continuità con le murature e le malte preesistenti. Ma l'innovazione è anche profonda perché suscettibile di comportamenti più performanti (Fig. 4). Come direbbe Mario Botta "ogni nuovo ha una propria antichità".

Anche le fibre tessili vegetali e animali, da sempre impiegate come armatura con funzione antifessurativa negli intonaci e nelle miscele, oggi riscoprono analoghe possibilità applicative, in quanto fibre naturali di dimensioni micrometriche. Anche la soluzione della microarmatura con fibre di orzo rigenera, in maniera innovativa e più sostenibile, la tecnica storica dell'intonaco in argilla. Essa innesca meccanismi ciclici naturali di termoregolazione igrometrica, con capacità di accumulo e di rilascio dell'umidità ambiente in eccesso e in difetto. Soluzione oggi sostenibile, vanta anche riciclabilità all'infinito dell'argilla e risparmio energetico.

Riproposto oggi per l'azione antibatterica assolutamente naturale e piuttosto prolungata, l'impiego di nanoparticelle naturali di materiali nobili, quali argento e oro, che vanta millenni di applicazioni, accompagnate da una certa consapevolezza sia degli effetti, sia dell'azione ad una scala dimensionale impercettibile ad occhio nudo. L'impiego, al tempo dei romani, alla scala non visibile, è ben noto per creare vetri sensibili ad effetti di luce diversa.

Oggi la posa di coating [15] contenente nanoparticelle di ossidi metallici sulla superficie di lastre di vetro esi-

stenti è possibile in maniera molto veloce con l'impiego di pellicole da applicare dall'interno o dall'esterno su vetri normali. Di minimo impatto e di massima efficacia per quanto attiene al controllo solare, le pellicole trasparenti, che si producono con l'utilizzo delle più moderne nanotecnologie trasformano i vetri normali in vetri selettivi. Sono materiali compositi formati da dieci strati di metalli pregiati, come l'oro e l'argento in forma di nanoparticelle, che, coniugando alta trasparenza diffusa nel visibile ed elevata protezione solare, consentono di trasformare i vecchi vetri float in vetri basso-emissivi, con numerose potenzialità di intervento nelle preesistenze edilizie. Le lastre acquistano un'emissività ridotta e cioè divengono capaci di selezionare la radiazione solare su particolari lunghezze d'onda, in modo da esercitare un'elevata trasmissione della radiazione visibile ed un'azione di filtraggio soltanto nei confronti delle radiazioni infrarosse o ultraviolette.

La garanzia di un'efficace azione di controllo solare, con valori di trasmittanza molto contenuti, consente di poter guadagnare risparmio energetico e comfort interno, per quanto, nell'edilizia storica, non ci siano normative particolarmente limitanti.

### ***Tecnologie intelligenti e prestazioni dinamiche tra reversibilità e minima invasività***

Ma quando l'innovazione guarda avanti, nuove frontiere materiche e tecnologiche guadagnano l'accesso nel campo del costruire e si palesano in svariati modi. Si tratta di materiali avanzati, in quanto proiettati in avanti in relazione alle eccezionali potenzialità di accrescimento delle proprietà caratteristiche dei materiali comuni. Uno dei modi maggiormente allettanti con cui l'innovazione si presenta è quella dei materiali e delle tecnologie "smart", che caratterizzano un tipo di approccio all'esistente in termini di soluzioni intelligenti. In questi casi ancora una volta la piccola dimensione riveste un ruolo importante, che si estrinseca sia nel ridurre significativamente l'impatto visivo e, in certe soluzioni più virtuose, nell'affidare a meccanismi naturali l'azione "intelligente". E la sostenibilità è spesso alla base dei comportamenti intelligenti.

La posa in opera con tecnologie a secco, che caratterizza alcune applicazioni, aggiunge reversibilità [16]. Mentre, il comportamento attivo, che allude all'intelligenza, ricalcando processi esistenti in natura, costituisce, in qualche modo, garanzia nei confronti del tempo. Inoltre, nell'accelerare la dinamica dei processi naturali, manifesta prestazioni ancor più performanti e sostenibili, in linea con l'assunto di Leonardo "inventare non significa infatti altro che saper riprodurre" [17].

Ad esempio una certa "intelligenza", in quanto autonomia di comportamento variabile prestazionalmente, si può introdurre in svariati materiali o strati funzionali per poi estenderla all'intero sistema costruttivo cui appartiene, con i materiali a cambiamento di fase, avvalendosi di capsule micrometriche che altro non sono che microcontenitori di particelle nanometriche, caratterizzate da eccezionali capacità di accumulare energia termica con meccanismi di tipo latente. L'inerzia, tradizionalmente affidata alla massa di murature spesse, si rende indipendente, al punto da poter essere concentrata in piccolissime quantità di materia. Addirittura l'inerzia perde gran parte della sua fisicità e diventa un valore aggiunto da poter inserire in qualsiasi soluzione costruttiva, anche leggera e poco massiva. La capacità di accumulo di energia termica, sia naturale che artificiale, nel passaggio dallo stato solido a quello liquido, quando la temperatura raggiunge un valore di soglia, riesce a cli-

matizzare l'ambiente sottraendo calore. A questa fase di carico fa seguito, quando la temperatura si abbassa, il cambiamento di fase inverso, in cui l'energia termica accumulata viene rilasciata (Fig. 5). Si prefigura un comportamento intrinsecamente attivo e dinamico, nell'efficienza prestazionale in relazione a stimoli esterni, ambientali e umani, assimilabile all'intelligenza, per cui l'inerzia diventa anche programmabile.

Il dinamismo non è più una qualità esteriore della tecnologia, ma un carattere interiorizzato nella materia (Fig. 6). Il raggiungimento dell'obiettivo del risparmio energetico e congiuntamente di migliori livelli di comfort e di benefici ambientali può essere tradotto in prestazione dinamica da aggiungere nei beni culturali, avvalendosi di soluzioni che spaziano dal confezionamento di intonaci con microcapsule di PCM, alla realizzazione di controfondere, pareti divisorie e controsoffitti con pannelli in cartongesso o gesso rinforzato, prediligendo sempre più tecnologie a secco rispetto a quelle in umido [18].

L'invasività che ne consegue è così ridotta da andare a tutto vantaggio della reversibilità.

Il meccanismo di accumulo e di rilascio è già esistente in natura ed era ben noto anche in passato, in relazione al cambiamento di fase da liquido a vapore dell'acqua per cui, raggiunta la temperatura di ebollizione, inizia a rilasciare il calore in maniera latente e prosegue fino a che non si completa il passaggio di stato, rimanendo a temperatura costante. Nel passaggio da liquido a solido e viceversa l'acqua segue le stesse fasi di carico e scarico (Fig. 7).

Ben più nota è l'azione delle nanoparticelle di biossido di titanio che trasferiscono l'effetto autopulente e antinquinante nella materia stessa del costruire fino a renderla attiva, e dunque smart, a vantaggio di un incremento prestazionale variabile nel tempo, in base al variare di un fattore esterno quale la luce. Cristalli nanometrici di questo semiconduttore [19], per effetto dell'assorbimento di energia luminosa, innescano reazioni fotochimiche, comportandosi come particelle fotoattive amplificate di mille volte. La fotocatalisi, che presiede all'effetto antinquinante [20], innescando un forte processo ossidativo che favorisce, in maniera più veloce rispetto a quanto non avvenga in natura, la decomposizione di sostanze organiche e inorganiche nocive in composti assolutamente innocui.

Anche l'effetto autopulente viene denominata "effetto loto", in relazione al comportamento naturale delle foglie di questa pianta. Immerse in acque fangose, si presentano sempre lucide e pulite (Fig. 8). Dunque, il biossido di titanio si comporta come un acceleratore di processi che già esistono in natura. Dopo il vincolo interattivo con il cemento, in relazione agli impieghi con prodotti cementizi gettati in opera, come pitture, malte e calcestruzzi, oppure già commercializzati, come le pavimentazioni, il pigmento nanometrico bianco si apre anche ad altri materiali da costruzione, per diventare rivestimento di materiali lapidei naturali, pavimentazioni per esterni e per interni di qualsiasi natura, vetri e pitture, in modo da renderli attivi, sotto la luce solare, sia nei trattamenti autopulenti, che depurativi dell'aria. Questo orizzonte applicativo più ampio apre il campo delle tecnologie fotocatalitiche ai beni culturali [21], rivedendo significativamente il concetto di minima invasività, alla base dell'approccio reversibile. Infatti, questi rivestimenti non sono visibili a occhio nudo e sono di consistenza materica nanometrica, ma rendono il supporto molto reattivo alla radiazione UV.

E qui il caso dell'applicazione sul tetto del Duomo di Milano è sicuramente emblematico, specialmente consi-

derando che in Italia l'approccio conservativo è di chiusura all'innovazione. L'intervento è una sperimentazione sul campo che impiega un sol gel con nanoparticelle di biossido di titanio, messo in opera con un sistema di spruzzatura a bassa pressione. L'obiettivo è di verificare le proprietà di passive air purification and self-cleaning. La posa è stata estesa anche allo zoccolo basamentale.

Altra applicazione celebre ha riguardato un arco vicino alla cella campanaria della Torre di Pisa, che è in sottopendenza. L'obiettivo è stato quello di contrastare le antiestetiche croste nere per effetto del dilavamento dovuto al continuo ristagno di acqua piovana.

Senza dire che l'innovazione tende a guadagnare un altro step, allorché la ricerca mira a incrementare il biossido di titanio con trattamenti al plasma, in modo da renderlo attivo anche con luce visibile. Ne consegue la possibilità di accrescere sensibilmente l'attività autopulente e depurativa dell'aria, sia all'aperto che al chiuso, a vantaggio della conservazione delle superfici storiche e di pregio architettonico [22].

### ***High performance e reversibilità***

Un altro modo di presentarsi per l'innovazione è quello di strutturare formulazioni originali, in linea con l'idea di nuovo in quanto inedito, in cui la piccola dimensione è un carattere che presiede all'eccezionalità prestazionale. L'individuazione di una classe "high performance" consente di progettare l'affidabilità, grazie alla velocità dei processi produttivi e alle strumentazioni con cui sono strutturati, in modo da poter vantare, attraverso attività di controllo delle prestazioni offerte, previsioni sui comportamenti nel tempo. E se pure vi fossero forme di scetticismo da sanare in merito alla durabilità, si può considerare che le tecnologie a secco, che caratterizzano gli impieghi in edilizia di alcuni materiali di questo tipo, manifestano un'invasività trascurabile nei confronti del bene culturale e, quindi, qualora dovessero essere oggetto di decadimento prestazionale, non compromettono la vita del bene culturale stesso, ma vedono soltanto ridimensionate le prestazioni svolte in risposta ad una specifica funzione. E tra reversibilità e durabilità, gli esempi sono moltissimi e, tra questi, le potenzialità di applicazione nel costruito storico cominciano a susseguirsi.

Ad esempio l'aerogel di silice, ovvero diossido di silicio, al momento non è solamente l'unico materiale isolante capace di condurre la luce, ma è caratterizzato da elevatissimi parametri di resistenza termica.

Ottenuto per disidratazione di un gel composto da silice colloidale, presenta una porosità così elevata da poter vantare la minore densità possibile per un materiale solido, costituita dal 99.80 % di aria e dallo 0.2% di scheletro siliceo. L'estrema leggerezza e anche l'aspetto di schiuma solida si devono a una struttura chimica con numerosissimi nanofori, che si alternano a pochissime nanoparticelle sferiche di 1-8 nanometri, organizzate secondo una struttura di tipo dendritico acquisita. Più leggera dell'aria, questa nanoschiuma è capace di sostenere carichi 2000 volte superiori al suo peso. È proprio la nanoporosità a garantire questa resistenza meccanica e a rendere l'aerogel un buon inibitore di moti convettivi, perché l'aria non potendo circolare all'interno del reticolo siliceo, rende eccezionali le caratteristiche di isolamento. Pertanto è l'isolante nanoporoso più efficace e più sottile esistente oggi. Oggi, l'innovazione pone l'aerogel di silice in interazione con un rinforzo polimerico[23] che ne aumenta rigidità e resistenza e riesce a raggiungere spessori dieci volte più sottili di altri

isolanti, fino a palesare nuove potenzialità produttive in pellicole molto flessibili.

Ideale per rivestimenti isolanti, ultraleggeri e flessibili, dopo le prime proposizioni in altri campi altamente tecnologici, l'aerogel non solo entra nel campo dell'edilizia, ma si candida anche nel campo dei beni culturali, dove le logiche del risparmio e dell'efficientamento energetico sono ancora troppo estranee, per le rilevanti capacità di isolamento con spessori molto ridotti. In tal modo, si riesce a coniugare una migliore gestione dei consumi energetici con la sostenibilità ambientale. E dunque, un comportamento energetico più virtuoso, che è un valore aggiunto per i beni culturali, media tra durabilità del progetto e reversibilità nell'esecuzione dell'intervento (Fig. 9).

Altro isolante termico di nuova generazione con peculiarità eccezionali rispetto agli altri è il vetro cellulare. Innanzitutto si tratta di un materiale sostenibile ed ecologico, in quanto prodotto dal vetro di riciclo.

Con un milione di alveoli a celle chiuse per centimetro cubo, possiede una ridottissima conducibilità termica e una leggerezza eccezionale, oltre ad altre caratteristiche molto performanti e inconsuete per un isolante termico, quali l'impermeabilità assoluta e la rilevante resistenza meccanica. L'inalterabilità, l'incombustibilità, l'atossicità e la resistenza al gelo sono altre caratteristiche che lo rendono più performante in alcune applicazioni specifiche.

La produzione è orientata verso inerti artificiali, isolanti, impermeabili e molto resistenti a compressione, che si guadagnano la denominazione "ghiaia in vetro cellulare", in relazione all'affinità con la ghiaia naturale, rispetto alla quale sono almeno dieci volte più leggeri. Ma si producono anche pannelli continui in formato lastra in relazione ai campi di impiego.

Una delle più importanti applicazioni della ghiaia in vetro cellulare è la realizzazione del manto di copertura di coperture piane non praticabili, che è senza dubbio una delle applicazioni più perseguibili nell'edilizia storica. Costituito soltanto da tre strati funzionali, la soluzione è semplice e veloce da porre in opera. Si susseguono dal basso verso l'alto: il massetto delle pendenze, tipico strato funzionale per canalizzare le acque piovane verso la tubazione pluviale, uno strato di impermeabilizzazione, con funzione di tenuta all'acqua piovana, ed infine superiormente uno strato di ghiaia in vetro cellulare che assolve contemporaneamente a varie funzioni. Il granulato funge principalmente da isolante termico, poi da protezione dell'impermeabilizzazione dall'azione di invecchiamento indotta dai carichi atmosferici, in ideale sostituzione del ghiaietto, e infine da zavorra dell'impermeabilizzazione rispetto all'azione del vento.

Altra interessante applicazione alla scala delle preesistenze edilizie è l'impiego della ghiaia in vetro cellulare come materiale di riempimento dei rinfianchi delle volte in murature, per le caratteristiche di leggerezza e di resistenza meccanica del materiale di riporto rispetto ai carichi che insistono sul pavimento. Gli strati di geotessuto, posti al di sotto e al di sopra del granulato, sono una costante per rendere indipendente e termoisolante il riporto leggero.

Alla scala del costruito storico, il vetro cellulare guadagna altre possibili applicazioni, che consentono di risolvere problemi in punti critici e migliorare il comportamento. Ad esempio, per l'isolamento di pareti interrato o seminterrate è possibile usare la ghiaia commercializzata in balle, che, vengono poste in opera accostate senza

rimuovere l'involucro in geotessuto con cui sono trasportate. La posa facile e veloce, l'impermeabilità, l'inalterabilità, l'ingelività, la resistenza a muffe e funghi e la leggerezza sono tutte caratteristiche che consentono di risolvere problemi esistenti con un materiale ecologico e performante. In luogo del granulato è possibile impiegare una lastra in vetro cellulare, che, per le caratteristiche di impermeabilità, aggiunge con la sua continuità materica, un'ulteriore difesa rispetto alle infiltrazioni. Non trascurabile è l'effetto di riduzione dell'inquinamento ambientale, che nei contesti di elevato valore non dovrebbe essere trascurato (Fig. 10).

L'impiego di lastre in vetro cellulare come isolante acustico nei controsoffitti aggiunge speciali proprietà essendo resistenti all'umidità, ai roditori, ai batteri, ai funghi, agli acidi e al fuoco. E queste peculiarità, in edifici preesistenti con cambiamenti di destinazione d'uso, suscettibili di affollamento, possono costituire garanzia di igiene che rende verde l'approccio agli edifici

Anche in punti singolari che costituiscono ponti termici, dovuti alle modalità di connessione degli infissi con la parete, si può intervenire con soluzioni a taglio termico, dove l'imputrescibilità del pannello in vetro cellulare neutralizza gli effetti di possibili infiltrazioni d'acqua (Fig. 11).

Ma gli esempi sono ancora tanti, come gli isolanti ultraleggeri, a base di nanocellulosa, dalle straordinarie proprietà isolanti ed ignifughe, che non risultano essere tossiche, poiché prive di additivi per la protezione dal fuoco.

O ancora le nanosfere di ceramica termoriflettenti, formulate per essere aggiunte alle normali pitture e renderle isolanti in maniera innovativa, senza limitare la traspirazione, a tutto vantaggio della climatizzazione invernale ed estiva.

Attraverso gli esempi, le varie forme di innovazione menzionate guadagnano soltanto un valore dimostrativo, palesando un accesso nel campo dei beni culturali che annuncia revisioni e puntualizzazioni dei parametri con cui si "misura" la conservazione.

Gli elementi che accomunano questi esempi sono la matrice nanotecnologica che li rende altamente performanti e la posa in opera a secco che risponde pienamente al requisito di reversibilità.

### ***Minimo impatto e riconoscibilità***

Mentre la cultura del rudere, rigenerata negli ultimi trent'anni come reazione rispetto all'invasività delle azioni cementificanti, continua ad essere "dottrina" per alcuni, si va facendo strada, a poco a poco, una diversa consapevolezza dell'attuale progresso scientifico, che apre ad un'innovazione percettivamente nascosta, facendo della dimensione alla scala atomica e molecolare il suo punto di forza.

Il concetto di progettabilità delle prestazioni si è insinuato nella materia e in maniera tanto più nascosta quanto più eccezionale dal punto di vista performante. Dunque, alcuni materiali sono innovativi nel senso più profondo del termine, in quanto progettare il livello prestazionale significa intervenire sull'assetto chimico e fisico alla scala micrometrica e nanometrica. A quella scala, le azioni fisiche e chimiche vengono potenziate e, in certi casi, anche sovvertite. Infatti alla piccola scala anche la gravità comincia ad essere molto poco influente rispetto alla tensione superficiale e agli stessi legami chimici. [24].

Su questi presupposti si fonda una nuova cultura della conservazione più attiva. Il nuovo perde, dunque, la sua errata accezione “contraddicente” rispetto al linguaggio materico del passato e offre al bene culturale possibilità di appartenenza al presente più rispettose delle strategie e delle linee guida che gestiscono l’approccio al costruito.

Oggi la cultura della conservazione continua a fondarsi sul principio del minimo intervento che, a sua volta, interpreta il rispetto dell’originaria concezione costruttiva del bene culturale, con nuove possibilità tecnologiche. Stabilito che l’obiettivo della conservazione è preservare la massima integrità del monumento-documento, sia per il valore storico, che scientifico, è necessario seguire il processo dell’innovazione, affinché si possano discernere gli aspetti potenzialmente capaci di arricchire il bene culturale e di renderlo partecipe del senso della contemporaneità.

Infatti, la cultura tecnica attuale dispone di nuovi materiali e soluzioni tecniche capaci di declinare compatibilità, reversibilità e durabilità, in maniera nuova e in misura diversa alla luce della sostenibilità.

Tutti i criteri di base cui si affida la conservazione guadagnano ruoli più attivi, nel senso della misurabilità dell’impatto sia percettivo, che sostanziale. E in questa misurabilità, la modificazione, che è insita nell’atto conservativo, tende ad essere via via meno percepibile e trascurabile, ma più sostenibile. Il minimo impatto che ne deriva mette in crisi la riconoscibilità che ogni intervento di restauro deve perseguire, con una differenziazione che scongiura il rischio del falso. Ma, di fatto molte nuove soluzioni, per effetto di una modificazione trascurabile, non creano un’errata lettura dell’opera, ma contribuiscono all’azione del preservare.

Dunque, si rigenera la qualità dell’approccio al bene culturale, ma soprattutto si riscrivono i criteri di reversibilità, appropriatezza e compatibilità, che acquistano maggiori potenzialità e richiedono un aggiornamento in termini di linee guida e di codici normativi, soprattutto in relazione agli obiettivi di sostenibilità ambientale, cui oggi deve guardare ogni livello di progettazione alla scala edilizia (Fig. 12).

Finito di stampare  
nel mese di aprile 2019

### **Paola De Joanna**

Architetto, PhD, Professore Associato di Tecnologia dell'Architettura presso DiArc - Dipartimento di Architettura dell'Università Federico II di Napoli. Conduce dal 1994 attività di ricerca con riferimento alle tematiche del recupero edilizio e della riqualificazione ambientale ed in particolare al rapporto tra gli edifici ed il contesto ambientale in termini di salvaguardia del valore del patrimonio, tutela dell'ambiente, sviluppo e valorizzazione delle risorse locali.

Alcune recenti pubblicazioni sono:

*Architettura e materiali lapidei. Strategie sostenibili e processi estrattivi* (2016) Maggioli Editore, Milano; *Local materials in the regeneration of urban space of the historic centre of the Metropolitan City of Naples* (2015), Techne 10: Urban regeneration, Firenze University Press; *Progettare il verde. Prestazioni e tecnologie per l'ambiente costruito* (2018), a cura di Francese D., Passaro A., De Joanna P., Luciano Editore, Napoli.

Architect, PhD, Associate Professor of Technology of Architecture at DiArc - Department of Architecture at the Federico II University of Naples. Since 1994 he has been conducting research on the building renovation and environmental requalification and in particular on the relationship between buildings and the environment in terms of safeguarding the value of heritage, protecting the environment, developing and enhancing local resources.

Some of recent publications are:

*Architettura e materiali lapidei. Strategie sostenibili e processi estrattivi* (2016) Maggioli Editore, Milano; *Local materials in the regeneration of urban space of the historic centre of the Metropolitan City of Naples* (2015), Techne 10: Urban regeneration, Firenze University Press; *Designing Greenery* (2018), edited by: Francese D., Passaro A., De Joanna P., Luciano Editore, Napoli.

### **Antonio Passaro**

Architetto, PhD, Ricercatore di Tecnologia dell'Architettura presso DiArc - Dipartimento di Architettura dell'Università Federico II di Napoli. Si occupa di studi nell'ambito della tecnologia dei materiali e della loro eco-compatibilità, in particolare al rapporto tra la valorizzazione delle risorse locali e riqualificazione dei sistemi costruiti.

Alcune recenti pubblicazioni sono:

*La Rigenerazione reversibile. Strategie e tecnologie di intervento* (2017) Luciano Editore, Napoli; *Costruire nell'area mediterranea. Tecnologie e materiali sostenibili per l'abitare: Italia, Marocco, Tunisia* (2017), a cura di D. Francese e A. Passaro, D'Arco Soluzioni per la stampa; *Progettare il verde. Prestazioni e tecnologie per l'ambiente costruito* (2018), a cura di Francese D., Passaro A., De Joanna P., Luciano Editore, Napoli.

Architect, PhD, Researcher of Technology of Architecture at DiArc - Department of Architecture at the Federico II University of Naples. He deals with studies in the field of materials technology and their eco-compatibility, in particular the relationship between the enhancement of local resources and the requalification of built systems.

Some recent publications are:

*La Rigenerazione reversibile. Strategie e tecnologie di intervento* (2017) Luciano Editore, Napoli; *Building in Mediterranean region. Sustainable technologies and materials for inhabiting: Italy, Morocco, Portugal, Tunisia* (2017), edited by: D. Francese e A. Passaro, D'Arco Soluzioni per la stampa; *Designing Greenery* (2018), edited by: Francese D., Passaro A., De Joanna P., Luciano Editore, Napoli.



€ 00,00