

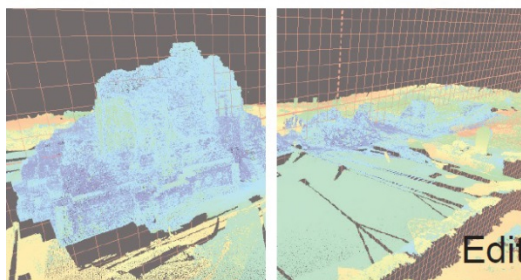
International Conference Built Heritage 2013 Monitoring Conservation Management

POLITECNICO DI MILANO



CENTRO PER LA
CONSERVAZIONE E
VALORIZZAZIONE DEI
BENI CULTURALI

POLITECNICO DI MILANO
150^o



Online Proceedings of the Conference

BUILT HERITAGE 2013

Monitoring Conservation and Management

Milan, Italy
18-20 November 2013

Editor in chief M. Boriani
Edited by R. Gabaglio, D. Gulotta

Scientific Committee

Politecnico di Milano

Lucia Toniolo, Chair, *Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering "Giulio Natta"*

Maurizio Boriani, *Department of Architecture and Urban Studies*

Rinaldo Cubeddu, *Department of Physics*

Stefano Della Torre, *Architecture, Built Environment and Construction Engineering*

Carolina Di Biase, *Department of Architecture and Urban Studies*

Gabriele Guidi, *Department of Mechanics*

Cesare Joppolo, *Department of Energy* Pietro Marani, *Department of Design*

Paolo Paolini, *Department of Electronics, Informatics and Bioengineering*

Luigi Zanzi, *Department of Civil and Environmental Engineering*

Honor Committee

Francesco Bandarin, *Unesco, Paris (France)*

Amedeo Bellini, *Politecnico di Milano, Milan (Italy)*

Luigia Binda, *Politecnico di Milano, Milan (Italy)*

Caterina Bon Valsassina, *Direzione Regionale per i beni culturali e paesaggistici della Lombardia, Milan (Italy)*

Marco Dezzi Bardeschi, *Politecnico di Milano, Milan (Italy)*

May Cassar, *CSH, University College London, London (UK)*

Sharon Cather, *The Courtauld Institute of Art, London (UK)*

Giacomo Chiari, *Getty Conservation Institute, Los Angeles (USA)*

Mauro Cucarzi, *Fondazione Lerici, Rome (Italy)*

Stefano De Caro, *International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property - ICCROM, Rome (Italy)*

Mike Forde, *University of Edinburgh, Edinburgh (UK)*

Maurizio Forte, *Duke University, Durham, NC (USA)* Gary Lock, *Oxford University, Oxford (UK)*

Marco Magnifico, *Fondo Ambiente Italiano, Milan (Italy)*

Claudio Modena, *Università degli Studi di Padova, Padova (Italy)*

Cristina Sabbioni, *CNR ISAC, Bologna, Bologna (Italy)*

Salvatore Siano, *CNR IFAC, Firenze, Florence (Italy)*

Organizing Committee

Politecnico di Milano

Lucia Toniolo, Chair, *Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering*

Nicoletta Di Blas, *Department of Electronics, Informatics and Bioengineering*

Rossana Gabaglio, *Department of Architecture and Urban Studies*

Davide Gulotta, *Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering*

Austin Nevin, *CNR Institute for Photonics and Nanotechnologies*

Michele Russo, *Department of Design*

Maria Licia Zuzzaro, *Department of Architecture and Urban Studies*

Online Proceedings of Conference

Built Heritage 2013 - Monitoring Conservation and Management

Milan - Italy, 18-20 November 2013

Editor in chief M. Boriani, edited by R. Gabaglio, D. Gulotta

Politecnico di Milano, Centro per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali,
Milano, novembre 2013

ISBN 978-88-908961-0-1

BUILT HERITAGE 2013
Monitoring Conservation Management
Milan, 18-20 November 2013

Capillary rising damp in historical buildings: electrophysics “charge neutralization” technology as a needful “zero impact” instrument for prevention and final resolution to the problem

Michele Rossetto, civil engineer, Leonardo Solutions & Domodry Group, technical director

- ABSTRACT (english) -

Capillary rising damp represents one of the most recurring problems in restoration intervention on structures and buildings of any age.

Damages on masonry, such as negative effects on inner rooms usability and healthiness, have been all along representing a problem for which, in the past, systems have been used to counteract or temporarily reduce rising damp effects; however, these systems have been very often revealed themselves as ineffective and, in any case, not suitable to solve the problem definitively.

But right the lack of effectiveness of the so called “traditional solutions” has in reverse given a boost to testing and development of a brand-new original, innovative and finally effective solution, such as the electrophysics “charge neutralization” technology here described.

The report deals with three topics:

THE PROBLEM: capillary rising damp phenomenon can be analyzed under two points of view: the macroscopic one, represented by typical damages and decay, well visible and detectable on wall surfaces, and the microscopic one. In this second case, it is possible to identify the physics principles – i.e. electrophysics interaction between masonry material and water in contact to the masonry itself – that cause the phenomenon and influence its dynamics.

THE SOLUTION: on the basis of the previously introduced concepts, it is explained how the charge neutralization technology (C.N.T.) succeeds in acting directly on the causes that produce the phenomenon “capillary rising damp in masonry”, being able to totally and definitively neutralize it, in order to ensure, with no time limits, the maintenance of the so reached “moisture removal result”.

THE RESULT: outstanding case histories and absolute 100% achieved percentage of success on any kind of building demonstrate how C.N.T. effectiveness in the definitive solution to the problem “capillary rising damp” is not barely reachable by any of the systems up today applied either in the field of built heritage, either in the widest field of construction renewal.

In conclusion: the wall moisture removal technology here described is based on an original and exclusive working principle – so called “charge neutralization” – that characterizes it in a univocal way compared with electro-osmosis systems and electromagnetic working systems, which are based on different principles. After nearly a decade with applications and results validated through field testing conducted by “super partes” Institutes, C.N.T. represents nowadays, in the hands of the “maintenance and restoration” field operators, a needful “zero impact” instrument for prevention and final resolution to a problem – capillary rising damp – which was not solvable before.

BUILT HERITAGE 2013
Monitoring Conservation Management
Milan, 18-20 November 2013

Umidità di risalita capillare negli edifici storici: la tecnologia elettrofisica “a neutralizzazione di carica” quale indispensabile strumento a “impatto zero” per la prevenzione e la definitiva risoluzione del problema.

Dott. Ing. Michele Rossetto, Gruppo Leonardo Solutions – Domodry, Direttore Tecnico

- ABSTRACT (italiano) -

L'umidità da risalita capillare costituisce uno dei problemi che si presentano più frequentemente negli interventi di restauro su immobili e strutture di qualsiasi epoca.

I danni provocati alle murature, gli effetti negativi sulla fruibilità degli ambienti e sulla salubrità degli stessi hanno da sempre rappresentato un problema per la cui soluzione, in passato, si è ricorsi all'impiego di sistemi volti a contrastare e/o ridurre temporaneamente gli effetti della risalita, sistemi che tuttavia si sono rivelati il più delle volte inefficaci e, in ogni caso, non idonei a risolvere il problema in modo definitivo.

Ma proprio la mancanza di efficacia delle cosiddette “soluzioni tradizionali” ha, per converso, fornito lo stimolo per la sperimentazione e lo sviluppo di una soluzione completamente originale e innovativa e finalmente efficace, quale appunto la tecnologia elettrofisica “a neutralizzazione di carica” qui illustrata.

L'intervento affronterà tre argomenti:

IL PROBLEMA: Il fenomeno dell'umidità da risalita capillare può essere analizzato sotto due aspetti: quello macroscopico, rappresentato dalle tipiche manifestazioni di degrado e deterioramento ben visibili e percepibili sulle superfici murarie, e quello microscopico. In questo secondo caso è possibile identificare i principi fisici (interazione elettrofisica tra il materiale costituente la muratura e l'acqua a contatto con la muratura stessa) che determinano il fenomeno e ne influenzano la dinamica.

LA SOLUZIONE: Sulla base dei concetti introdotti in precedenza, viene illustrato come la tecnologia a neutralizzazione di carica (T.N.C.) vada ad agire direttamente sulle cause che innescano il fenomeno “umidità capillare nelle murature”, riuscendo a neutralizzarlo totalmente e in modo definitivo, così da assicurare, in modo illimitato nel tempo, il mantenimento del “risultato di deumidificazione” raggiunto.

IL RISULTATO: Importanti casi di studio e la percentuale assoluta del 100% di successo raggiunta su qualsiasi tipo di immobile dimostrano come l'efficacia della T.N.C. nella soluzione definitiva al problema “umidità capillare” non sia minimamente eguagliabile da nessuno dei sistemi, tradizionali e non, sino ad oggi utilizzati sia nella conservazione e restauro dell'edilizia storica, sia nel più generale campo del risanamento edilizio.

In conclusione: la tecnologia per la deumidificazione muraria qui descritta si basa su un originale ed esclusivo principio di funzionamento – detto appunto della “neutralizzazione di carica” – che la contraddistingue in modo univoco rispetto ai sistemi ad elettro-osmosi e ai sistemi a funzionamento elettromagnetico basati su principi diversi. Dopo quasi un decennio di applicazioni e risultati validati dalle sperimentazioni condotte sul campo da Enti super partes, oggi la T.N.C. rappresenta finalmente, nelle mani degli operatori del settore “conservazione e restauro”, un indispensabile strumento “a impatto zero” per la prevenzione e la definitiva risoluzione di un problema – quello della risalita capillare – prima non risolvibile.

Capillary rising damp in historical buildings: electrophysical charge neutralization technology - a needful “zero impact” instrument to prevent and resolve the problem once and for all

Rossetto M.

Gruppo Leonardo Solutions – Domodry, Legnano (MI), Italy

1. Introduction

Among those working in the field, capillary rising damp is a well-known problem, particularly considering the serious consequences and typical pathological effects it has on masonry - and by pathologies we mean all forms of deterioration caused by moisture on surfaces and/or inside the walls (chemical, physical, biological decay, etc.) - and on the thermo-hygrometric conditions of the internal environments, reducing the sense of wellness and increasing the risks for both human health and preservation of the works of art contained therein.

For this reason, rising damp can be considered a true and proper CHRONIC PATHOLOGY that typically affects historic buildings (but which can also be found in modern, contemporary structures), a sort of “disease” that progresses slowly but unrelentingly and which is statistically the major cause of masonry decay.

This type of pathology is universally recognized as extremely serious and yet, despite the numerous methods and techniques tested and applied over the years in an attempt to resolve the problem, those working in the field still consider rising damp practically “INCURABLE”, a “TERMINAL DISEASE”.

Why? There are many answers to this question. However, if we take a close look at all the techniques currently used to counteract this problem and run a statistical analysis of their “dehumidification capacity” and the “duration of the effect” in time, we find that none of the above techniques have been able to resolve the problem, much less guarantee the results in the long run. Indeed, more often than not the results have been partial (not total), random (uncertain), temporary (not definitive) and certainly UNSATISFACTORY, unable to achieve, and maintain, acceptable conditions in the walls and the internal environments.

This calls up a question: in today's highly technological era, how can a problem that is so widespread and so serious still go unresolved? After all, in recent decades haven't major intellectual, financial and physical resources been marshaled by research institutions, by the construction industry and by professionals in an attempt - alas a vain attempt - to resolve the problem once and for all?

The answer may be: If none of the systems and techniques used to date have worked - e.g. none have proved themselves able to achieve the desired results in terms of definitive, unlimited wall dehumidification - it may be that the underlying assumptions, the “modeling” of the phenomenon of “capillary rising damp” used to set-up and apply the various techniques was wrong or incomplete, only partially representing the real physical phenomenon.

Actually, if we look at the “traditional” or “barrier” techniques - e.g. mechanical cutting of the walls, chemical barriers, etc. - we see that a solely “macroscop-

pic” approach was taken to the problem: “since we can see the direction from which the water is coming (upward flow), we can apply a mechanical or chemical medium at the base of the wall to block the upward flow”.

Then electro-osmosis or electrophysical “wall polarity inversion” techniques came on the scene, taking a different approach and starting to look at the problem from the “microscopic” rather than the “macroscopic” vantage point (as will be seen below). Nevertheless, again in this case, something was still missing (in this case more in the technological application than in the physical reference model, as will be explained shortly).

Instead, the charge neutralization technology (C.N.T.) takes a different tack, turning previous approaches to the problem on their ear. Indeed C.N.T. has succeeded where previous techniques have failed - achieving total, definitive resolution for nearly any type of building material, structure, age or site, and no matter what the starting water and/or salt content in the walls!

2. The physical phenomenon of capillary rising damp in masonry¹

Let's see to understand how does the C.N.T. works, first starting from the physical phenomenon “capillary rising damp” in masonry.

It is well known that, the phenomenon of capillarity stems from the complex chemical-physical interaction between the molecules of water present in the ground under and/or adjacent to the walls and the porous materials composing the wall itself.

To fully understand the dynamics of this phenomenon we must call on the laws of physics governing, at the microscopic level, the various factors that come into play. According to the conventional capillary tube model, the phenomenon involves the movement h (rising or lowering) of a column of fluid (in our case water) inside a very small tube or capillary (radius r) and is given by the “Jurin Law”:

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \phi}{\rho \cdot g \cdot r}$$

where γ represents the surface tension of the water in contact with the inner surface of the capillary, ϕ is the angle of contact (inclination) of tension γ vs. the vertical wall of the capillary², ρ the density of the water and g the acceleration exerted by gravity (Fig. 1).

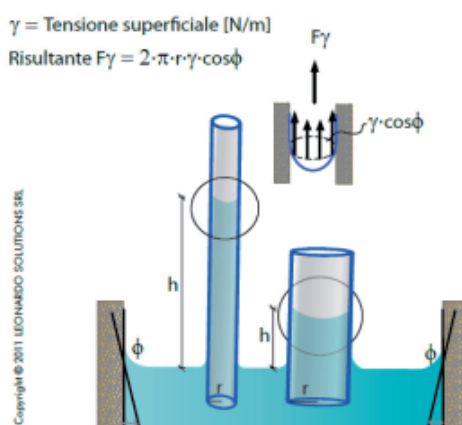


Fig1 - Shift in the meniscus within the capillary in response to the surface tension

It quickly becomes clear that the height, h , is inversely proportional to the radius, r , of the capillary: in theory, according to the above formula, for capillaries with a radius of 10 micron (normally present in masonry), the column of water could reach a height of 15 m before the force of gravity can balance it out!

Nevertheless, this height is never actually reached, not even in the limit cases where the masonry foundations stand directly in the water (as in the Venetian lagoon and similar sites), because the “static” model described above is not sufficient on its own to describe the real phenomenon.

In fact, we know that water does not remain immobile inside the capillary in the masonry as in the Jurin model; rather it is subject to cyclical upward spurts, the speed, height and intensity of which vary according to the rate at which the water evaporates through the walls and this, in turn, depends on the overall surrounding conditions (type of wall material and thickness, type of soil and amount of water in the foundations, thermal-hygrometric conditions both inside and out, etc.).

This movement of water inside the capillary ducts inside the masonry (a true and proper flow) is not only affected by the surface tension; another important factor also comes into play: the “Helmholtz double layer” related to the negative electrostatic charge that naturally establishes itself on the internal walls of the capillaries (Fig. 3).

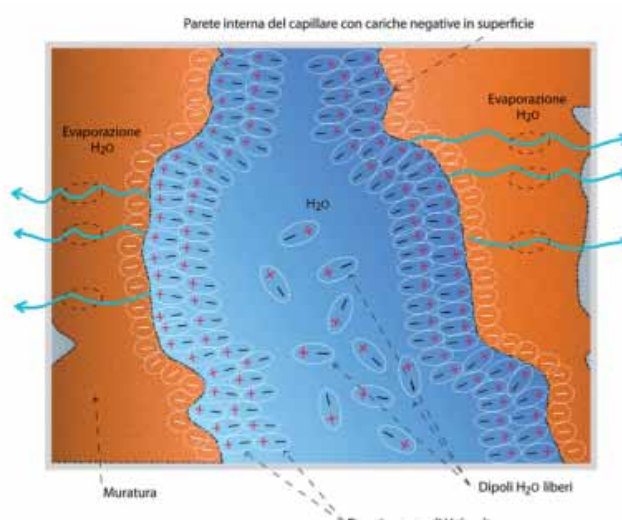


Fig.2 - Diagram of the “Helmholtz double layer” inside the capillary

In fact, at the microscopic scale, the electrostatic charge at the surface of a silica-based material (the main component in most construction materials) is negative. Therefore, the negatively charged internal walls of the capillaries tend to attract the molecules (dipoles) of water so that they position themselves with the positive pole facing toward the inner - negative - wall of the capillary: this resulting “double layer” of dipoles is called the Helmholtz double layer³.

When the capillary rising flow is powered by evaporation from the wall, the Helmholtz layer moves, thus generating a weak potential difference (less than 1 V) that can be measured between the ground and the wall. The potential difference, in millivolts [mV], is proportional to the intensity of the rising flow which is, in turn, related to the rate of evaporation. The measured values (de-

tectable with a simple millivolt tester) range from 10-20 mV (weak or no rise) up to 300-500 mV (strong rise).

This goes to show that the phenomenon of “rising damp” in masonry is governed by both the surface tension of the water in contact with the internal walls of the capillaries (Jurin) and the electric potential difference due to the double layer of water dipoles (Helmholtz) – although the dynamics change according to the specific surrounding conditions.

Thus, when taken together, the above factors help trigger and drive the capillary rising flow inside the wall itself, and this continues uninterrupted, except for seasonal or permanent variations in the surrounding conditions (thermal-hygrometrics both inside and out, fluctuations in the water table, wall plastering or plaster removal, etc.).

And, since rising damp is strongly influenced by the action of infinitely small electric forces, it follows that a system able to neutralize the rising damp forces right at the roots would be much more effective and much less invasive than conventional solutions (e.g. the “blockades” that work on the effect and not on the cause of rising damp) and would overcome the limits of those systems.

What’s more, since such a system would only have to overcome infinitesimal forces, it would require much less energy than other conventional systems which are known to be greater “energy” hogs.

3. The C.N.T. Operating principle⁴

The charge neutralization technology (C.N.T.) is an application derived from nanotechnology experimental studies performed by Universities and international research Institutes since the late 1990s.

The scientific principle used to counteract the rising damp phenomenon is based on the particular physical properties known in the field as “electrocapillary effect”⁵ and “electrowetting”⁶.

The above-mentioned experimental studies show that the charge distribution at the interface between a conducting liquid (e.g. an aqueous saline solution) and a solid surface (e.g. the internal wall of a micro-capillary) can be modified by applying an external potential difference. From the physical point of view, this means varying the surface tension - i.e. the contact angle - at the interface between the liquid and the solid wall of the capillary.

The C.N.T. device was conceived to exploit this very principle. In essence, this device is a generator of weak pulsed electromagnetic waves, suitably modulated within a set frequency range and completely harmless for the human body. Inside the masonry capillaries, these waves neutralize the electric potential difference of the capillary flow, thus interrupting the rising damp at the roots - that is right at the point of contact between masonry and water (Fig.3).

To put it more simply, we could say that, at the point of contact between water and wall, C.N.T. makes it impossible for the water molecules to polarize themselves and, by keeping them neutral, they are no longer attracted by the different charge of the capillaries in the wall⁷.

In a nut shell, this is the specific and exclusive “operating principle” behind the Domodry® C.N.T. technology, the principle that sets it apart from other electrical systems available on the market (electrophysical, electro-cybernetic,



Fig.3 – Operating principle behind the Domodry® C.N.T.; Fig.4 – Domodry® C.N.T. device

electroosmosis systems, etc.). De facto, it is the first and only “electrophysical charge neutralization technology”⁸.

From the application point of view, Domodry® device consists in a small unit (28 x 17 x 6 cm - see Fig.4) installed inside the building and plugged into a household power socket. Once turned on, it prevents the phenomenon of rising damp at the root, cutting off the rise of any new water through the capillaries in the wall. The excess moisture is then eliminated by evaporation; the speed of this process will depend on the construction characteristics of the wall, the amount of water initially present in the wall itself and the weather conditions at the site.

Once the dehumidification process has been completed, just leave the C.N.T. device on to permanently maintain the so achieved state of equilibrium (natural hygroscopic moisture) in the masonry; thus the system itself prevents any further rising of water.

Domodry® operates a spherical field with a radius of operation that ranges from a minimum of 6 to a maximum of 15 m depending on the unit model, ensuring the dehumidification of all structures (walls, interior divisions, floors, etc.) within that field, regardless of internal walls which doesn't represent a barrier to the system. Emissions generated by the unit are far lower than those emitted by common electrical appliances; consequently, the unit proves completely harmless for human health (the unit's emissions are fully compliant with the law).

Depending on the size of the building, the units can be installed individually (a single unit) or in combination (multiple units): this ensures utmost flexibility and makes it possible to adapt the system to buildings of any sort and size, from the simplest, smallest home to the most complicated monument.

We can finally remark that C.N.T. system is widely appreciated to be absolutely non-invasive, so much to be considered the best sort of intervention usable in the field of preventive and planned conservation of cultural heritage.

4. Benefits on the microclimate inside the building

C.N.T. specifically targets the wall dampness stemming from capillary action. Therefore, it does not have a direct effect on any other cause of dampness

(such as infiltrations, plumbing leaks, condensation, etc.).

However, it has been proven that permanently eliminating rising damp can, in turn, bring real benefits for the air inside the building; indeed reducing the water vapors coming out from the walls will also reduce the humidity in rooms. In most cases, as the C.N.T. unit starts drying out the walls, there is also a gradual decline in condensation. A further - but by no means less important - indirect effect of dehumidification is the decline in heat dispersion from perimeter walls and this translates into greater energy efficiency (reduced consumption for heating) of the entire building.

5. Differences between c.N.T. And other “similar” systems

It is important to underline the substantial differences that set C.N.T. apart from other only apparently similar systems (electric or magnetic systems which are based on different principles). In fact, C.N.T. was conceived in the early 2000s to surpass and improve the effectiveness of the various electro-osmosis and electrophysical systems already in use at the time and which, although now obsolete, are still found on the market.

In fact, in over thirty years of applications, these systems have only proved to offer a partial, incomplete response to rising damp, nearly always depending on the type of building construction and/or the specific conditions of the intervention. In essence, these systems proved unable to adequately guarantee the effective degree of dehumidification that could be achieved or to maintain those results (however inadequate) in time.

Therefore, since 2003, several major university research centers joined forces in a collaborative research and testing campaign⁹ to improve the pre-existing electrophysical systems. The result was the development of a cutting-edge device based on a totally innovative concept, the C.N.T., which was patented in 2008-09.

This shows how truly unique the C.N.T. system is. It differs radically from the various electro-osmotic/electrophysical systems - the polarity and/or flow inversion techniques - that have been available for more than 3 decades now, systems which act on the differences in electric potential between water and wall (which varies greatly at different points because of inhomogeneity within the wall itself) and thus inevitably yield only partial, never complete, results. On the contrary, C.N.T. operates differently - directly on the water and not on the wall. It leaves no room for error because it neutralizes the water - a constant factor - so that it can no longer be drawn in, attracted by the wall.

For these reasons, today C.N.T. is the only system that can guarantee 100% elimination of masonry moisture stemming from rising damp in all cases and forever!¹⁰

6. C.N.T. Implementations in building industry and in built heritage field

The industrial production of C.N.T. devices has been started up in 2009. Since then, more than 1.000 intervention have been realized all over Italy, over 20% of which in historical buildings.

In order to give an idea of the noteworthy effectiveness and relevance of this sort of application, mainly in the field of built heritage, we can reference - as

an example of intervention whose “dehumidification phase” has been totally and successfully accomplished - the following interventions:

- Basilica of San Simpliciano in Milano, Domodry® system installed in May 2009, conclusive test (walls proved to be dry) accomplished in May 2012 ¹¹;
- Palazzo Te in Mantova, Domodry® system installed in January 2010, conclusive test (walls proved to be dry) accomplished in January 2012 ¹¹;
- Cona del Gagini (marble sculpture) at Duomo of San Giorgio in Ragusa, Domodry® system installed in July 2011, conclusive test (sculpture and walls proved to be dry) accomplished in July 2012 ¹¹;
- Chiostro di Michelangelo at the Terme di Diocleziano in Roma, Domodry® system installed in April 2010, conclusive test (walls proved to be dry) accomplished in October 2012;
- Several churches in “Levante Ligure” (eastern Liguria), among which: Santuario di Nostra Signora del Bosco in Pannesi di Lumarzo (Genova), Santuario di Nostra Signora del Ponte in Lavagna (Genova), Oratorio del Suffragio in Santa Margherita Ligure (Genova), Domodry® systems installed between June 2009 and April 2010, conclusive tests (walls proved to be dry) accomplished between September 2010 and October 2012 ¹¹.

Instead, as an example of recently-made intervention, whose “dehumidification phase” is fully in progress, but still going on, we can reference the following interventions:

- Church of S. Antonin in Venice, Domodry® system installed in July 2011, first verifying test (over 50% decrease in wall moisture values compared with initial values) accomplished in July 2012 ¹²;
- Cripta of Duomo di Lecce, Domodry® system installed in November 2011, first verifying test (over 60% decrease in wall moisture values compared with initial values) accomplished in November 2012 ¹²;
- Church of S. Matteo in Lecce, Domodry® system installed in November 2011, first verifying test (over 60% decrease in wall moisture values compared with initial values) accomplished in November 2012 ¹²;
- Several churches in “Levante Ligure” (eastern Liguria), among which: Oratorio dei Disciplinanti in Moneglia (Genova), Church of S. Martino in Casale di Pignone (La Spezia), Domodry® systems installed between October 2011 and September 2012, verifying tests in progress ¹².

For a full reference about monitoring of wall dampness in the above sites, see the dedicated technical publications referenced in the notes below, publications which are available free of charge from Gruppo Leonardo Solutions Srl & Domodry Srl.

Notes

^{1,4} This chapter is drawn from the technical publication entitled “Domodry® electrophysical charge neutralization system for wall dehumidification and dampness control. Operating principle and case studies” (by Michele Rossetto) and is published here with permission from the owner (Gruppo Leonardo Solutions Srl & Domodry Srl). All contents are copyright protected.

² the angle of contact θ depends, in turn, on the balance of molecular forces exerted on the liquid-solid interface, e.g. the mutual interaction between liquid-liquid cohesion

and liquid-solid adhesion forces.

³ See: Milan Paunovic; Mordechay Schlesinger, "Fundamentals of electrochemical deposition", Wiley, 1998, pp.42-43

⁵ electrocapillary effect: see "Fluid Control in Multichannel Structures by Electrocapillary Pressure", by M. W. J. Prins, W. J. J. Welters, J. W. Weekamp (see References below).

⁶ electrowetting: see "Low voltage electrowetting-on-dielectric", by Hyejin Moon and Sung Kwon Cho, (see References below).

⁷ Simplified definition of the Domodry® C.N.T. operating principle. For a more in-depth scientific explanation, see the technical brochure, available free of charge from Domodry srl.

⁸ The term "electrophysical charge-neutralization technology" is used to unequivocally identify the original operating principle that separates Domodry® technology from general electrophysical systems and systems based on other principles. This operating principle, the unique, specific characteristic of the Domodry® technology, is described in detail in the special technical publication registered with SIAE Sezione Olaf – Servizio Opere Inedite, the SIAE section for unpublished works, and in this publication. Likewise all contents of the above publications are copyright protected.

⁹ The results of tests performed at the Polytechnic University of Milan were published between 2007 and 2009.

¹⁰ C.N.T. ensures that the results will be maintained for an unlimited amount of time as long as the system is left permanently running. The user must report any failure (revealed when a warning light goes on) so that correct system operation can be restored.

^{11,12} See: Records of Unesco Convention *Metodo scientifico ed innovazione tecnologica per la salvaguardia e recupero del patrimonio storico. Casi applicativi ed esempi di successo nella diagnosi, prevenzione e risoluzione delle patologie da umidità capillare in siti Unesco a Ragusa e in altri prestigiosi siti in Italia*, Ragusa Ibla 2012

References

Aa.Vv., 2013, Records of Unesco Convention *Metodo scientifico ed innovazione tecnologica per la salvaguardia e recupero del patrimonio storico. Casi applicativi ed esempi di successo nella diagnosi, prevenzione e risoluzione delle patologie da umidità capillare in siti unesco a ragusa e in altri prestigiosi siti in italia*, Ragusa Ibla 2012, October 5-6, Comune di Ragusa.

Bertolini L., Redaelli E., Valentini M., De Nicola E., 2007, *Valutazione di un metodo elettrofisico per la rimozione dell'umidità da risalita capillare*, Tesi di Laurea A.A. 2006/07, Politecnico di Milano

Hyejin Moon, Sung Kwon Cho, Robin L. Garrell, Chang-Jin Kim, 2002, *Low voltage electrowetting-on-dielectric*, University of California, Los Angeles (UCLA), «Journal Of Applied Physics», Vol. 92, No. 7, 1 October 2002.

Massari I., Massari G., 1985, *Il Risanamento igienico dei locali umidi*, Roma.

Paunovic M.; Schlesinger M., 1998, *Fundamentals of electrochemical deposition*, Wiley.

Prins M.W.J., Welters W.J.J., Weekamp J.W., 2001, *Fluid Control in Multichannel Structures by Electrocapillary Pressure*, Philips Research Laboratories Eindhoven, The Netherlands, «Science» Vol.291, pp.277-280, 12 January 2001 - Copyright © 2001 American Association for the Advancement of Science.

Roche G., 2012, *La Termografia per l'edilizia e l'industria. Manuale operativo per le verifiche termografiche*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Rossetto M., 2012, *Il sistema elettrofisico a neutralizzazione di carica Domodry® per la*

deumidificazione e il controllo dell'umidità nelle murature. Principio di funzionamento e casi applicativi, SIAE Sez. Olaf - Servizio Opere Inedite, Roma.

Valentini M., 2009, *Prime verifiche sull'efficacia di un sistema elettrofisico per la deumidificazione delle murature*, VII Congresso Nazionale IGIIIC – Lo Stato dell'Arte – Napoli, 8-10 Ottobre 2009

Welters W.J.J., Fokkink L.G.J., 1998, *Fast Electrically Switchable Capillary Effects*, Philips Research Laboratories Eindhoven, The Netherlands, LANGMUIR, Vol. 14, No. 7, pp.1535-1538, 10 March 1998 - Copyright © 1998 American Chemical Society.

UMIDITÀ DI RISALITA CAPILLARE NEGLI EDIFICI STORICI: LA TECNOLOGIA ELETTROFISICA A NEUTRALIZZAZIONE DI CARICA QUALE INDISPENSABILE STRUMENTO “A IMPATTO ZERO” PER LA PREVENZIONE E LA DEFINITIVA RISOLUZIONE DEL PROBLEMA

Rossetto M.

Gruppo Leonardo Solutions – Domodry, Legnano (MI), Italy

1 INTRODUZIONE

Il problema dell'umidità da risalita capillare è sicuramente ben conosciuto tra gli addetti ai lavori, soprattutto per ciò che concerne le gravi conseguenze e gli effetti di tipo patologico provocati sulle murature, intendendo con ciò tutte le forme di degrado che potenzialmente l'umidità è in grado di indurre sulla superficie e/o all'interno dell'opera muraria (degrado di tipo chimico, fisico, biologico, ecc.), nonché sulle condizioni termoigrometriche degli ambienti interni, con conseguente decadimento del livello di benessere e insorgenza di rischi sia per la salute delle persone che per la conservazione di eventuali opere d'arte ivi presenti.

Per tale motivo, l'umidità da risalita capillare può essere a pieno titolo considerata una **PATOLOGIA CRONICA** tipica degli edifici storici (ma presente anche in quelli moderni o contemporanei), una sorta di “malattia” a decorso lento ma inesorabile che peraltro, a livello statistico di diffusione, rappresenta la causa principale del degrado materico dell'opera muraria.

A fronte della gravità che viene universalmente riconosciuta a questo tipo di patologia, e pur con tutti i metodi e le tecniche che nel corso degli anni sono state sperimentate e applicate nel tentativo di risolvere il problema, ancor oggi la risalita capillare viene considerata, dagli addetti ai lavori, una “MALATTIA” pressoché “INGUARIBILE” e “INCURABILE”.

Per quale motivo? Le risposte possono essere diverse, ma sicuramente, se passiamo in rassegna tutte le tecniche d'intervento sino ad oggi impiegate per contrastare il problema e ne analizziamo, dal punto di vista statistico, gli esiti e i risultati conseguiti in termini di “capacità di deumidificazione” della muratura e di “durata degli effetti” nel tempo, ci accorgiamo che... nessuna delle suddette tecniche si è dimostrata in grado di risolvere il problema in modo generalizzato e tantomeno di garantire il mantenimento dei risultati nel tempo, al contrario, i risultati sono stati il più delle volte parziali (e non totali), aleatori (e non certi), temporanei (e non definitivi) e sicuramente **NON SUFFICIENTI** al raggiungimento e mantenimento di condizioni d'uso accettabili per le murature e per gli ambienti da queste circoscritti.

Ci sovviene quindi una domanda: come è possibile che, in un'era come quella attuale, dominata dalla tecnologia, ancora “sopravviva” irrisolto un problema tanto diffuso e tanto grave quale quello qui discusso? Non sono forse state messe in campo, nel corso almeno degli ultimi decenni, enormi risorse intellettuali, economiche e di mezzi, da parte tanto del settore della ricerca, quanto dei professionisti e delle imprese del settore edile, nel tentativo – ahimé vano – di trovare una soluzione definitiva al problema?

La risposta potrebbe essere la seguente: se tutti i sistemi e le tecniche sino ad oggi impiegati “non hanno funzionato” (ovvero: non hanno dato dimostrazione di poter raggiungere il risultato atteso, in termini di deumidificazione della muratura, in modo definitivo e illimitato nel tempo), allora è probabile che l'interpretazione o “modellazione” del fenomeno fisico “risalita capillare nella muratura” che è stata assunta come riferimento per la messa a punto e l'applicazione delle varie tecniche non fosse quella giusta, o quantomeno che fosse parziale e/o incompleta rispetto al reale fenomeno fisico.

In effetti, se guardiamo alle tecniche di tipo “tradizionale” o “a sbarramento” – quali il taglio meccanico, la barriera chimica, ecc. – ci accorgiamo che la visione e l'approccio al problema sono stati, in questo caso, esclusivamente di livello “macroscopico”, del tipo: “nota la direzione di provenienza dell'acqua (dal basso

verso l'alto), cerchiamo di frapporre alla base della muratura un mezzo meccanico o chimico che ne interrompa il flusso".

E' venuta poi la volta, come noto, delle tecniche ad elettro-osmosi o di tipo elettrofisico ad "inversione di polarità" (della muratura), tecniche che, cambiando il tipo di approccio, hanno incominciato a guardare al problema non più dal punto di vista "macroscopico", quanto piuttosto da quello "microscopico" (come meglio vedremo nel prosieguo della relazione). Tuttavia, anche qui c'è "qualcosa" che è sfuggito (in questo caso, più nell'applicazione tecnologica che nel modello fisico di riferimento, come spiegheremo tra breve).

Nel caso della tecnologia a neutralizzazione di carica (T.n.c.) si è invece partiti dal presupposto di ribaltare l'approccio al problema rispetto alle tecniche precedenti, e questo è proprio ciò che ha consentito alla T.n.c. di arrivare là dove tutte le precedenti tecniche avevano fallito, ovvero ad un risultato caratterizzato da una percentuale di successo totale e definitiva per qualsiasi tipo di materiale, struttura, età o sedime dell'edificio, e per qualsivoglia valore iniziale del contenuto d'acqua e/o di sali della muratura!

2 IL FENOMENO FISICO DELL'UMIDITÀ ASCENDENTE NELLE MURATURE ¹

Vediamo dunque di comprendere come funziona la "T.n.c.", partendo innanzitutto dal fenomeno fisico "umidità di risalita capillare" nella muratura.

Come noto, il fenomeno della capillarità trae origine dalla complessa interazione chimica e fisica che si esplica tra le molecole d'acqua presenti nel terreno sottostante e/o adiacente alle murature e i materiali porosi costituenti le murature stesse.

Per comprendere appieno la dinamica del fenomeno, occorre richiamare le leggi fisiche che, a livello microscopico, governano i vari fattori in gioco.

Secondo il classico modello del tubo capillare, il fenomeno dello spostamento h (innalzamento o abbassamento) di una colonna di fluido (nel nostro caso acqua) all'interno di un tubo capillare di piccole dimensioni (raggio r) è dato dalla ben nota "Legge di Jurin":

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \phi}{\rho \cdot g \cdot r}$$

in cui γ è la tensione superficiale dell'acqua agente al contatto con la superficie interna del capillare, ϕ è l'angolo di contatto (ovvero di inclinazione) della tensione γ rispetto alla parete verticale del capillare², ρ la densità dell'acqua e g l'accelerazione di gravità (Fig. 1).

γ = Tensione superficiale [N/m]

Risultante $F\gamma = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \gamma \cdot \cos \phi$

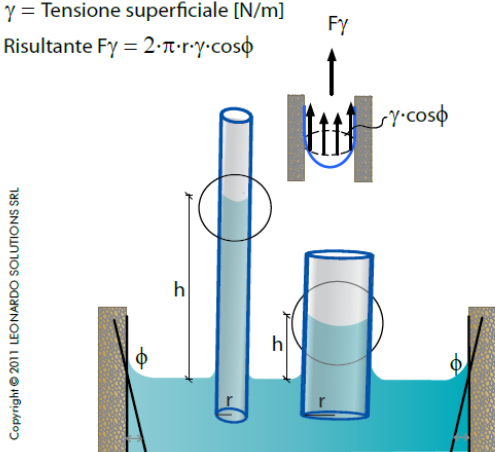


Fig.1 – Spostamento del menisco all'interno del capillare per effetto della tensione superficiale

Si rileva subito come l'altezza h risulti inversamente proporzionale al raggio r del capillare: teoricamente, per capillari di raggio pari a 10 micron (normalmente presenti nella muratura), in base alla suddetta formula la colonnina d'acqua potrebbe raggiungere l'altezza di 15 m prima di essere bilanciata dalla forza di gravità!

Tuttavia, nei casi concreti tale altezza non è mai riscontrabile, nemmeno nei casi limite rappresentati da murature con fondazioni direttamente immerse in acqua (come ad es. edifici in laguna veneta o simili), in quanto il modello di tipo "statico" sopra descritto non è sufficiente da solo a descrivere il fenomeno reale.

Come ben noto, infatti, all'interno dei capillari della muratura l'acqua non rimane immobile come nel modello di Jurin, ma al contrario è soggetta ad un movimento ciclico dal basso verso l'alto, la cui velocità, altezza e intensità risulta variabile in funzione del tasso di evaporazione dell'acqua attraverso la muratura, a sua volta dipendente dalle più generali condizioni al contorno (tipo di materiale e spessore del muro, tipo di terreno e quantità d'acqua in fondazione, condizioni termo-igrometriche interne ed esterne, ecc...).

Tale movimento (vero e proprio flusso) dell'acqua nei condotti capillari della muratura è fortemente influenzato, oltre che dalla tensione superficiale, anche da un ulteriore importante fattore, rappresentato dal "doppio strato di Helmholtz" associato al potenziale elettrostatico negativo che si instaura, per via naturale, sulle pareti interne dei capillari (fig. 2).

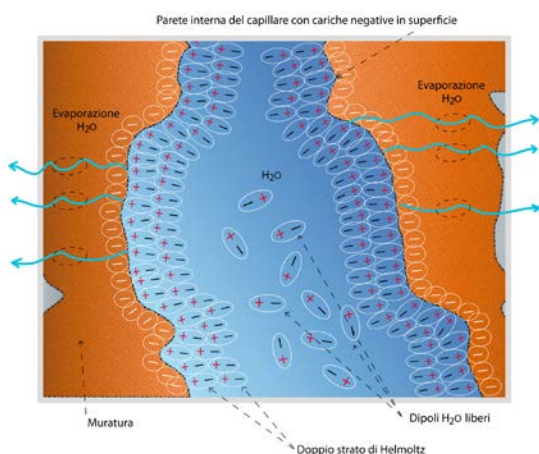


Fig.2 – Rappresentazione schematica del "doppio strato di Helmholtz" all'interno del capillare

A scala microscopica, infatti, la superficie di un materiale contenente silice (componente base della maggior parte dei materiali da costruzione) è carica di un potenziale elettrostatico negativo. Pertanto, le pareti interne dei capillari, cariche negativamente, tenderanno ad attrarre le molecole (dipoli) d'acqua, che risulteranno quindi orientate con il polo positivo verso la parete interna - negativa - del capillare: il "doppio strato" di dipoli che ne deriva è detto di Helmholtz³.

Quando esiste un flusso di risalita capillare alimentato da una evaporazione in atto dalla parete di un muro, questo movimento lo strato di Helmholtz e, di conseguenza, genera un debole potenziale elettrico differenziale (inferiore ad 1 V) misurabile tra la terra ed il muro. L'entità del potenziale, in millivolt [mV], è proporzionale all'intensità del flusso di risalita, a sua volta correlato al tasso di evaporazione. I valori del potenziale, misurabili tramite un semplice tester, variano dai 10÷20 mV (risalita debole o assente) fino a 300÷500 mV (risalita molto forte).

Tutto ciò dimostra che il fenomeno "umidità capillare" nelle murature è governato – seppur con dinamiche variabili caso per caso in funzione delle specifiche condizioni al contorno – tanto dalla **tensione superficiale dell'acqua** agente al contatto con le pareti interne dei capillari (Jurin) quanto soprattutto dal **potenziale elettrico differenziale** dovuto al doppio strato di dipoli d'acqua (Helmholtz).

I suddetti fattori concorrono quindi ad innescare e alimentare il flusso di risalita capillare entro la muratura stessa senza soluzione di continuità, fatte salve eventuali variazioni indotte da modifiche – permanenti o

stagionali – delle condizioni al contorno (regime termo-igrometrico interno e/o esterno, oscillazioni della falda freatica, interventi di intonacatura/stonacatura eseguiti sulla muratura, ecc...).

Posto dunque che il fenomeno della risalita capillare è fortemente influenzato dall'azione di forze infinitesimali di natura elettrica, facilmente si può intuire che, per superare i limiti a tutt'oggi palesati dalle soluzioni di tipo tradizionale (ovvero quelle “a sbarramento” agenti sugli effetti della risalita e non sulle cause), ben più efficace e meno invasivo possa risultare un sistema che sia in grado di neutralizzare direttamente sul nascere le forze all'origine della risalita stessa.

Oltretutto, un sistema così concepito, dovendo contrastare solo forze infinitesimali, potrà verosimilmente essere anche assai meno dispendioso, in termini energetici, rispetto a qualunque altro sistema tradizionale che, come noto, risulta di per sé assai più “energivoro”.

3 IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLA T.N.C.⁴

La tecnologia a neutralizzazione di carica (T.N.C.) rappresenta un'applicazione derivata da studi sperimentali condotti, nel campo delle nano-tecnologie, da Università ed Enti di ricerca internazionali a partire dalla fine degli anni '90.

Il principio scientifico utilizzato per contrastare il fenomeno della risalita capillare si basa sull'applicazione di particolari fenomeni fisici denominati dagli addetti ai lavori con i termini “elettro-capillarità⁵” ed “electrowetting⁶”.

In base ai suddetti studi sperimentali risulta possibile, mediante l'applicazione di un potenziale elettrico esterno, indurre variazioni nella distribuzione delle cariche elettriche all'interfaccia tra un liquido conduttore (ad es. una soluzione acquosa salina) e una superficie solida (ad es. una parete interna di un micro-capillare), effetto che dal punto di vista fisico si traduce nella variazione della tensione superficiale – ovvero dell'angolo di contatto - all'interfaccia tra il liquido e la parete solida del capillare.

Sfruttando tali principi è stato dunque concepito il dispositivo T.N.C. che, in sostanza, risulta essere un generatore di deboli onde elettromagnetiche impulsive, opportunamente modulate in un definito range di frequenze, totalmente innocue per l'organismo umano, il cui effetto risultante all'interno dei capillari della muratura è quello di **neutralizzare il potenziale elettrico differenziale del flusso capillare**, così da interrompere alla radice – ovvero al contatto stesso tra acqua e muratura – la risalita dell'umidità (Fig.3).

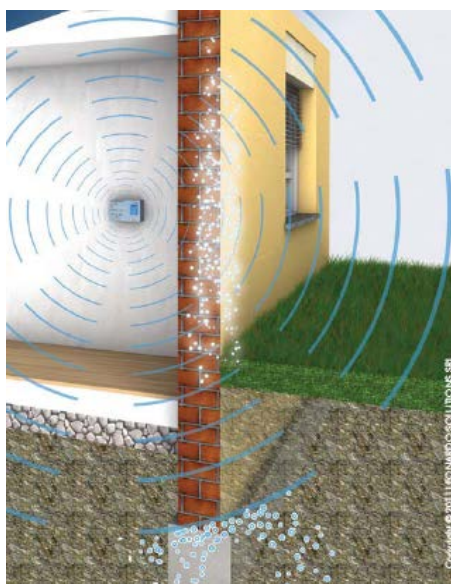


Fig.3 – Principio di funzionamento della T.N.C. Domodry®

Semplificando molto il concetto, si può dire che la T.n.c neutralizza, al contatto acqua-muratura, la capacità delle molecole d'acqua di polarizzarsi, facendo in modo che rimangano neutre e, conseguentemente, non possano più essere attratte per differenza di carica da parte dei capillari della muratura⁷.

Ciò costituisce, in estrema sintesi, il peculiare ed esclusivo “principio attivo” che caratterizza la tecnologia Domodry® che pertanto, nel panorama dei sistemi a funzionamento elettrico presenti sul mercato, si contraddistingue in assoluto come primo e unico **sistema elettrofisico “a neutralizzazione di carica”**⁸.

Dal punto di vista applicativo, il dispositivo Domodry® consiste in un apparecchio (Fig.4) di piccole dimensioni (28 x 17 x 6 cm) che viene collocato all'interno dell'edificio e collegato ad una presa elettrica. Una volta in funzione, esso inibisce alla radice il fenomeno della capillarità, interrompendo così la risalita di nuova acqua attraverso i capillari del muro. L'umidità in eccesso viene quindi espulsa gradualmente tramite evaporazione spontanea, più o meno velocemente a seconda delle caratteristiche costruttive del muro, della quantità d'acqua inizialmente presente nel muro stesso, nonché delle condizioni climatiche del luogo.

Completata la deumidificazione, sarà sufficiente mantenere in funzione l'impianto T.N.C. così da garantire, tramite l'azione di prevenzione anti-risalita esplicata dall'impianto stesso, il mantenimento in via permanente dello stato di equilibrio (umidità igroscopica naturale) raggiunto dalla muratura.



Fig.4 – L'apparecchio T.N.C. Domodry®

Domodry® agisce in un campo d'azione sferico con raggio variabile – a seconda del modello di apparecchio - da un minimo di 6 m sino a un massimo di 15 m, garantendo la deumidificazione di tutte le strutture (muri, pareti divisorie, solette, ecc.) presenti all'interno di tale campo, a prescindere dalla presenza di muri interni che non costituiscono una barriera al sistema. Gli impulsi generati dall'apparecchio, di gran lunga inferiori a quelli di un normale elettrodomestico, sono totalmente innocui sia per le persone che per gli animali (l'apparecchio è certificato come bio-edile).

In base alle dimensioni dell'edificio, gli apparecchi possono essere installati singolarmente (impianto singolo) o in modo combinato tra loro (impianto multiplo): ciò consente la massima flessibilità e possibilità di adattamento dell'impianto a manufatti edilizi di qualsiasi tipologia e dimensione, dalla più piccola abitazione al più complesso fabbricato o edificio monumentale.

Risulta superfluo sottolineare come un altro dei pregi di questa tecnologia sia la assoluta mancanza di invasività, tanto da renderla il miglior tipo di intervento in assoluto utilizzabile nell'ambito della conservazione preventiva e programmata del patrimonio storico artistico.

4 EFFETTI POSITIVI SUL MICROCLIMA AMBIENTALE

La T.N.C. agisce in modo mirato e specifico esclusivamente sulla componente dell'umidità muraria dovuta alla capillarità, pertanto non ha alcun effetto diretto su altre eventuali concause di umidità di tipo diverso (come ad es. infiltrazioni, perdite da condotte idrauliche, umidità di condensa, ecc.).

È tuttavia dimostrato che l'eliminazione definitiva dell'umidità capillare può indurre, di riflesso, effetti benefici anche sull'aria all'interno dell'immobile, in virtù della minor quantità di vapor d'acqua che dal muro si riversa nell'ambiente. Nella stragrande maggioranza dei casi, infatti, con il progredire della deumidificazione muraria innescata dall'impianto T.N.C., si riscontra anche una graduale regressione dei fenomeni di condensa. Ulteriore - ma non meno importante - effetto indiretto della deumidificazione muraria è la diminuzione del grado di dispersione termica dei muri perimetrali, con conseguente recupero dell'efficienza energetica (riduzione dei consumi per il riscaldamento) dell'intero immobile.

5 DIFFERENZE TRA LA T.N.C. ED ALTRI SISTEMI "SIMILARI"

È importante sottolineare le differenze sostanziali che contraddistinguono la T.N.C. da altri sistemi solo apparentemente simili (sistemi a funzionamento elettrico o magnetico basati su principi diversi). Infatti, la T.N.C. è stata ideata a partire dai primi anni 2000 per superare e migliorare l'efficacia dei vari sistemi elettro-osmotici ed elettrofisici già in uso a quei tempi e, per quanto ormai obsoleti, ancor oggi presenti sul mercato.

Di fatto, nell'arco di oltre trent'anni di applicazioni i suddetti sistemi hanno palesato, nei confronti dell'umidità muraria di origine capillare, risultati solo parziali e incompleti, quasi sempre dipendenti dalla tipologia costruttiva dell'immobile e/o dalle specifiche condizioni di intervento. In sostanza, detti sistemi si sono rivelati essere privi di sufficienti garanzie di efficacia nei riguardi sia del grado di deumidificazione raggiungibile, sia del mantenimento nel tempo del risultato (comunque insufficiente) raggiunto.

Dal 2003 è stata quindi avviata, in collaborazione con alcuni importanti Centri universitari, una campagna di sperimentazione e ricerca⁹ per il miglioramento dei preesistenti sistemi elettrofisici, che ha portato, nel 2008-09, al brevetto e allo sviluppo di un dispositivo dotato di una tecnologia più avanzata e di concezione totalmente innovativa, quale appunto la T.N.C.

Tutto ciò dimostra l'assoluta unicità della T.N.C., che differisce totalmente dai vari, ultra-trentennali sistemi elettro-osmotici/elettrofisici (ovvero a inversione di polarità e/o di flusso) i quali, agendo sulla differenza di potenziale elettrico tra acqua e muratura (molto variabile da punto a punto in quanto influenzata dalla disomogeneità della muratura stessa) forniscono, inevitabilmente, risultati solo parziali e mai completi. Al contrario, la T.N.C. agisce in modo opposto (ovvero direttamente sull'acqua e non sulla muratura) e senza nessuna possibilità di errore, in quanto neutralizza la capacità dell'acqua (sempre uguale) di lasciarsi attrarre dalle murature.

Per i suddetti motivi, la T.N.C. rappresenta oggi l'unico sistema in grado di garantire la totale eliminazione dell'umidità muraria di origine capillare nel 100% dei casi e in modo illimitato nel tempo!¹⁰

6 APPLICAZIONI DELLA T.N.C. IN EDILIZIA E NELL'ARCHITETTURA STORICA

Dal 2009, anno di avvio della produzione in serie dei dispositivi T.N.C., in tutta Italia si contano ad oggi oltre 1.000 impianti complessivamente installati, di cui oltre il 20% in edifici storici.

Per dare un'idea della grande efficacia e rilevanza di questo tipo di applicazione, soprattutto nel campo dell'edilizia storica, possiamo a titolo esemplificativo citare, tra gli interventi per i quali la fase di deumidificazione è già stata completata con pieno successo, i seguenti:

- Basilica di San Simpliciano a Milano, impianto installato nel maggio 2009, verifica conclusiva (muri asciutti) effettuata nel maggio 2012¹¹;
- Palazzo Te a Mantova, impianto installato nel gennaio 2010, verifica conclusiva (muri asciutti) effettuata nel gennaio 2012¹¹;
- Cona del Gagini (scultura in marmo) presso il Duomo di San Giorgio a Ragusa, impianto installato nel luglio 2011, verifica conclusiva (muri e scultura asciutti) effettuata nel luglio 2012¹¹;

- Chiostro di Michelangelo presso le Terme di Diocleziano a Roma, impianto installato nell'aprile 2010, verifica conclusiva (muri asciutti) effettuata nell'ottobre 2012;
- Varie chiese del levante ligure, tra cui: Santuario di Nostra Signora del Bosco a Pannesi di Lumarzo (Genova), Santuario di Nostra Signora del Ponte a Lavagna (Genova), Oratorio del Suffragio a Santa Margherita Ligure (Genova), impianti installati tra giugno 2009 e aprile 2010, verifiche conclusive (muri asciutti) effettuate tra settembre 2010 ed ottobre 2012 ¹¹;

Tra gli interventi per i quali invece, trattandosi di installazioni più recenti, il processo di deumidificazione è in fase avanzata ma ancora in corso, possiamo citare:

- Chiesa di S. Antonin a Venezia, impianto installato nel luglio 2011, prima verifica (diminuzione dell'umidità muraria di oltre il 50% rispetto ai valori iniziali) effettuata nel giugno 2012 ¹²;
- Cripta del Duomo di Lecce, impianto installato nel novembre 2011, prima verifica (diminuzione dell'umidità muraria di oltre il 60% rispetto ai valori iniziali) effettuata nel novembre 2012 ¹²;
- Chiesa di S. Matteo a Lecce, impianto installato nel novembre 2011, prima verifica (diminuzione dell'umidità muraria di oltre il 60% rispetto ai valori iniziali) effettuata nel novembre 2012 ¹²;
- Varie chiese del levante ligure, tra cui: Oratorio dei Disciplinanti a Moneglia (Genova), Chiesa di S. Martino a Casale di Pignone (La Spezia), impianti installati tra ottobre 2011 e settembre 2012, verifiche in corso ¹²;
- Villa Romana del Casale a Piazza Armerina (EN), impianto installato a dicembre 2012, verifiche in corso.

Per la documentazione completa delle attività di monitoraggio svolte nei suddetti siti d'intervento, si rimanda alle apposite pubblicazioni tecniche citate nelle note seguenti, pubblicazioni che possono essere richieste gratuitamente a Leonardo Solutions srl.

NOTE

¹ Il presente capitolo è tratto dalla pubblicazione tecnica dal titolo "*Il Sistema elettrofisico a neutralizzazione di carica Domodry® per la deumidificazione e il controllo dell'umidità nelle murature. Principio di funzionamento e casi applicativi*" (autore ing. Michele Rossetto) e viene qui pubblicato per gentile concessione del proprietario (Gruppo Leonardo Solutions Srl & Domodry Srl). Tutti i contenuti sono tutelati dalle norme sulla protezione del diritto d'autore.

² l'angolo di contatto ϕ è a sua volta dipendente dal bilancio delle forze molecolari agenti all'interfaccia liquido-solido, ovvero dalla mutua interazione tra la forza di coesione liquido-liquido e quella di adesione liquido-solido.

³ Doppio strato di Helmholtz... <CITARE BIBLIOGRAFIA>

⁴ Il presente capitolo è tratto dalla pubblicazione tecnica dal titolo "*Il Sistema elettrofisico a neutralizzazione di carica Domodry® per la deumidificazione e il controllo dell'umidità nelle murature. Principio di funzionamento e casi applicativi*" (autore ing. Michele Rossetto) e viene qui pubblicato per gentile concessione del proprietario (Gruppo Leonardo Solutions Srl & Domodry Srl). Tutti i contenuti sono tutelati dalle norme sulla protezione del diritto d'autore.

⁵ Elettro-capillarità: cfr. "*Fluid Control in Multichannel Structures by Electrocapillary Pressure*", by M. W. J. Prins, W. J. J. Welters, J. W. Weekamp, Philips Research Laboratories Eindhoven, The Netherlands. SCIENCE Vol.291, pp.277-280, 12 January 2001 - Copyright © 2001 by the American Association for the Advancement of Science.

⁶ electrowetting: cfr. "*Low voltage electrowetting-on-dielectric*", by Hyejin Moon and Sung Kwon Cho, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California, Los Angeles (UCLA); Robin L. Garrell, Department of Chemistry and Biochemistry, University of California, Los Angeles (UCLA); Chang-Jin "CJ" Kim, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California, Los Angeles (UCLA). JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 92, No. 7, 1 October 2002.

⁷ Definizione semplificata del principio di funzionamento della T.N.C. Domodry®. Per la spiegazione scientifica più completa e rigorosa, si rimanda all'apposita pubblicazione tecnica, che può essere richiesta gratuitamente a Domodry srl.

⁸ L'espressione "tecnologia elettrofisica a neutralizzazione di carica" è utilizzata per identificare in modo univoco l'originale principio attivo di funzionamento che contraddistingue la tecnologia Domodry® rispetto ai sistemi elettrofisici generici e ai sistemi a funzionamento elettrico basati su principi diversi. Detto principio attivo, costituente la caratteristica peculiare e specifica della tecnologia Domodry®, è dettagliatamente descritto nell'apposita pubblicazione tecnica

registrata presso SIAE Sezione Olaf – Servizio Opere Inedite oltreché nella presente pubblicazione. Si precisa altresì che tutti i contenuti delle suddette pubblicazioni sono tutelati dalle norme sulla protezione del diritto d'autore.

⁹ I risultati delle sperimentazioni condotte dal Politecnico di Milano sono stati pubblicati tra il 2007 e il 2009.

¹⁰ La T.N.C. assicura il mantenimento del risultato illimitatamente nel tempo, a condizione che l'impianto venga mantenuto permanentemente in funzione. Nel caso ci sia un guasto (identificabile tramite le apposite spie di controllo poste sull'apparecchio), l'utente è tenuto a segnalarlo per consentire il ripristino del corretto esercizio dell'impianto.

¹¹ ¹² cfr. "Atti del Convegno Unesco *"METODO SCIENTIFICO ED INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER LA SALVAGUARDIA E RECUPERO DEL PATRIMONIO STORICO. Casi applicativi ed esempi di successo nella diagnosi, prevenzione e risoluzione delle patologie da umidità capillare in siti Unesco a Ragusa e in altri prestigiosi siti in Italia"*, Ragusa Ibla 5 e 6 ottobre 2012, Comune di Ragusa

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2013, Atti del Convegno Unesco *"METODO SCIENTIFICO ED INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER LA SALVAGUARDIA E RECUPERO DEL PATRIMONIO STORICO. Casi applicativi ed esempi di successo nella diagnosi, prevenzione e risoluzione delle patologie da umidità capillare in siti Unesco a Ragusa e in altri prestigiosi siti in Italia"*, Ragusa Ibla 5 e 6 ottobre 2012, Comune di Ragusa.

Bertolini L., Redaelli E., Valentini M., De Nicola E., 2007, Valutazione di un metodo elettrofisico per la rimozione dell'umidità da risalita capillare, Tesi di Laurea A.A. 2006/07, Politecnico di Milano

Hyejin Moon, Sung Kwon Cho, Robin L. Garrell, Chang-Jin Kim, 2002, *"Low voltage electrowetting-on-dielectric"*, University of California, Los Angeles (UCLA), JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol. 92, No. 7, 1 October 2002.

Massari I., Massari G., 1985, *Il Risanamento igienico dei locali umidi*, Roma.

Paunovic M.; Schlesinger M., 1998, *"Fundamentals of electrochemical deposition"*, Wiley.

Prins M.W.J., Welters W.J.J., Weekamp J.W., 2001, *"Fluid Control in Multichannel Structures by Electrocapillary Pressure"*, Philips Research Laboratories Eindhoven, The Netherlands, SCIENCE Vol.291, pp.277-280, 12 January 2001 - Copyright © 2001 American Association for the Advancement of Science.

Roche G., 2012, *La Termografia per l'edilizia e l'industria. Manuale operativo per le verifiche termografiche*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Rossetto M., 2012, *Il sistema elettrofisico a neutralizzazione di carica Domodry® per la deumidificazione e il controllo dell'umidità nelle murature. Principio di funzionamento e casi applicativi*, SIAE Sez. Olaf – Servizio Opere Inedite, Roma.

Valentini M., 2009, *Prime verifiche sull'efficacia di un sistema elettrofisico per la deumidificazione delle murature*, VII Congresso Nazionale IGIC – Lo Stato dell'Arte – Napoli, 8-10 Ottobre 2009

Welters W.J.J., Fokink L.G.J., 1998, *"Fast Electrically Switchable Capillary Effects"*, Philips Research Laboratories Eindhoven, The Netherlands, LANGMUIR, Vol. 14, No. 7, pp.1535-1538, 10 March 1998 - Copyright © 1998 American Chemical Society.