The background of the cover is a photograph of a waterfront promenade. A person in a dark jacket and light-colored hat is walking away from the camera on a paved path. The path is bordered by a low wall and a body of water. The sky is overcast, and the water reflects the light. The overall tone is muted and professional.

# SMC

IL QUARTALE DI ARCHITETTURA, INGEGNERIA, COSTRUZIONE,  
LANDSCAPE, DESIGN E AMBIENTE

FOCUS ON

## WATER AND CONSTRUCTION

LUCIANO EDITORE

N. TWO  
2015

# SMC MAGAZINE N. TWO/2015

## COVER

003\_ VIEW Water and Mediterranean Construction: How to Build a Soft and Clean Future  
*Dora Francese*

## 008\_ BOARDS AND INFORMATION

### FOCUS ON WATER AND CONSTRUCTION

009\_ Water-scapes in Architectural Design Thinking - a Discussion on Water as Conceptual Cultural Sustainable Design Element  
*Marina Mihaila*

014\_ Variability of Groundwater Resources in the Cilento Region (Southern Italy)  
*Vincenzo Allocca, Pantalone De Vita, Ferdinando Manna*

020\_ Rivers to Live by: The Economic, Social, Cultural Benefits of Rivers and the Role of Architecture in Its Enhancement  
*Fani Vavili, Sonia Gkounta*

025\_ Patagonia. Water and Built Habitat  
*Liliana Lolich*

030\_ The Khetaras: a Traditional Management System of the Moroccan Drylands  
*Khalid Rkha Chaham*

033\_ The Water and Architectural Identity in Mediterranean Buildings  
*Nicolina Mastrangelo, Emanuela Adamo*

038\_ Leonardo and the Drawings of Hydraulic Mines  
*Adriana Rossi, Luis Palmero, Armando Di Nardo*

044\_ "River Cities": Urban Structure and Configurational Analysis  
*Angela Esposito*

048\_ Analysis of the Architectural Historic Heritage and Preventive Mitigation Actions Against Hydraulic Risks  
*Giorgio Giallocosta, Simona Lanza, Francesca Pirfione, Pietro Ugolini*

055\_ Water Saving Assessment in Residential Buildings  
*Luca Buoninconti, Cristian Filagrossi Ambrosino*

060\_ Water and Social Housing Architecture  
*Dora Francese*

078\_ Rising Damp in Historical Buildings: Restoration Using the Charge Neutralization Technology (CNT) Domodry  
*Roberto Castelluccio, Michele Rossetto*

088\_ Design for Hydrocitizens: Architectural Responses to the Defend-Retreat-Attack scenario  
*Graeme Evans*

093\_ Urban Stormwater Drainage Management by Low Impact Development Practices  
*Maurizio Giugni, Francesco De Paola*

099\_ Climate Changes, Adaptation, Construction  
*Adriano Paoletta*

103\_ The Quality Problem in Water Distribution Systems  
*Domenico Pianese, Carmine Covelli, Luigi Cimorelli, Andrea D'Aniello, Francesco Orlando*

111\_ Innovative Water Concepts for the Resilience to Climate Change of East Naples: a Knowledge Transfer-based Design Approach Social Housing Architecture  
*Cristina Visconti*

SMC is the official annual magazine of the SMC - Sustainable Mediterranean Construction Association  
Founded on March 1st 2013  
Via Posillipo, 69  
80123 Naples - Italy  
[www.sustainablemediterraneanconstruction.eu](http://www.sustainablemediterraneanconstruction.eu)  
[smc.association@mail.com](mailto:smc.association@mail.com)

ISSN on-line: 2420-8213

Publisher:  
Luciano Editore  
Via P. Francesco Denza, 7  
P.zza S. Maria La Nova, 4  
80138 Naples - Italy  
[www.lucianoeditore.net](http://www.lucianoeditore.net)  
[info@lucianoeditore.net](mailto:info@lucianoeditore.net) [editoreluciano@libero.it](mailto:editoreluciano@libero.it)

All the articles of SMC magazine were exposed to a double peer blind review.

# RISING DAMP IN HISTORICAL BUILDINGS: RESTORATION USING THE CHARGE NEUTRALIZATION TECHNOLOGY CNT DOMODRY®

Roberto Castelluccio  
Michele Rossetto

## Masonry Features

Traditional approaches aimed at eliminating humidity phenomena are based on the interaction between masonry water content and the physical properties of the constituent rocks. The feature which has the largest impact on the ability of rocks to absorb water is porosity, i.e. the ratio between empty volume and total volume; this determines the propensity of rock material to absorb underground water and ferry it through its capillary network to fill empty spaces. Research has shown that, depending on saturation levels, rocks show a decrease of mechanical features, in terms of a reduction of compression resistance and of insulating capacity. It is also known that as porosity increases uniaxial compressive strength decreases [1] (See Fig 1 - 2) Moreover, experimental analysis has shown that, relative to saturation level, average resistance of saturated material is roughly equivalent to 75% of resistance of dry material and that this resistance is drastically reduced if one dries stone in a stove at a temperature of 105° C.

## Types of humidity and interventions

Traditional walls can be affected by different types of humidity and which require different types of interventions. It is therefore crucial to obtain a correct definition of the pathology in order to design the a correct intervention. (Fig 3)

### Construction moisture

This is produced by water content of construction material as they are utilized in the construction process. Pathologies connected with this type of humidity are evident by the formation of haphazard staining, which may form shortly after completion and whose presence in the long run depends on the thermo-hygrometric conditions of internal spaces.

### Rain humidity

This is caused by penetration of water inside walls due to poor maintenance of external finishing layers or to the incorrect installation of protection of those parts which are in contact with the earth. Pathologies produced by this type of humidity are often concentrated around breaking points in the plasterwork, or sealing of windows and generally in those areas where there is little exposure to the sun, which causes a slow evaporation of water near walls.

### Accidental humidity

This is due to penetration of water inside walls due to technological or construction defects or to poor state of installations. In these cases, pathologies might well be located away from their origin, as water can move and therefore migrate within a structure.

### Condensation humidity

This is connected to a thermohygrometric phenomenon due to the change of state of air humidity from vapor to liquid on the so called "cold surfaces", where temperature reaches dew point. Formation of condensation often happens in rooms where there is significant production of

water vapor (crowded rooms, kitchen or bathrooms) and in the presence of heat bridges.

### Capillary action humidity (Rising Damp)

This is produced by the porous material absorbing water which is in the foundation soil or by any other form of contact of water with walls, and by the movement of water towards higher levels: these depend from features of material and from the internal capillary network. This pathology can be mainly observed mainly in basement and ground floor in buildings where humidity content decreases with height.

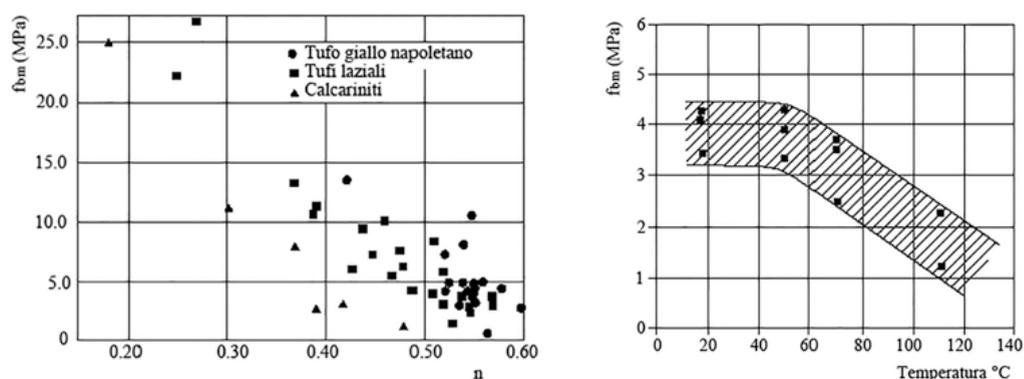


Fig. 1 - Porosity and uniaxial compressive strength.  
Fig. 2 - Drying temperature and compressive strength.

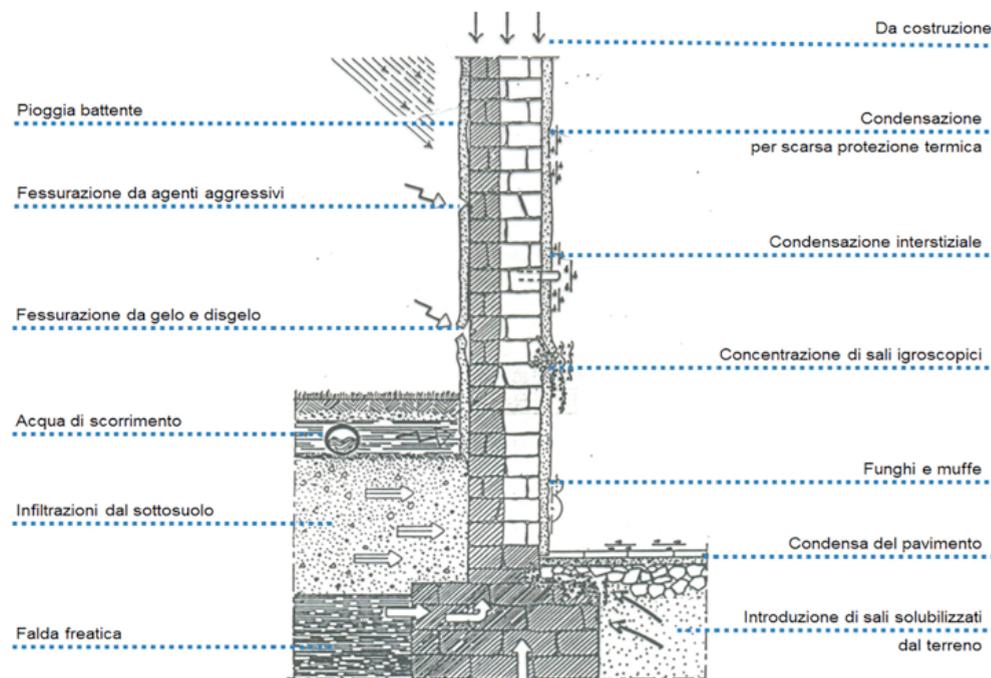


Fig. 3 - Types of humidity.

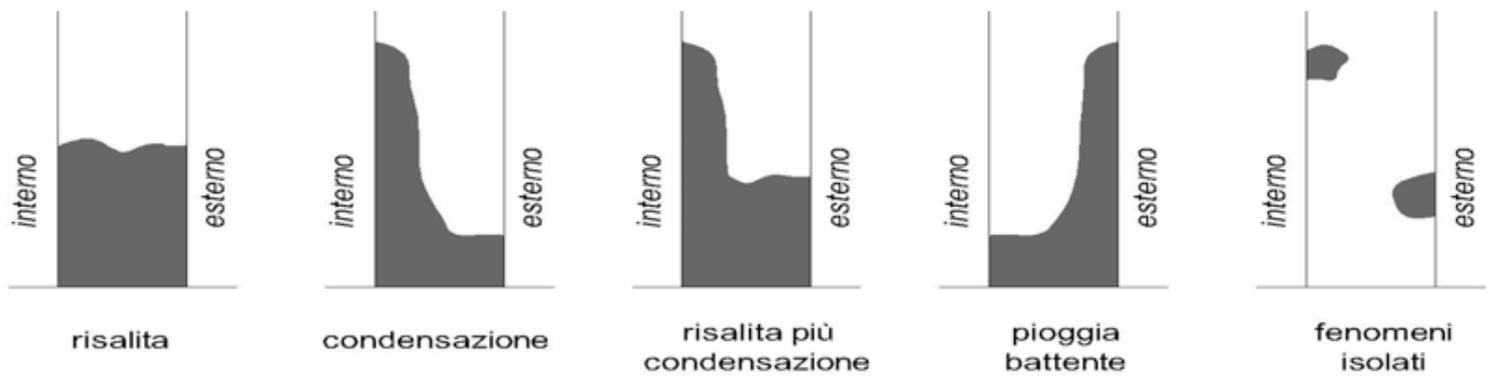


Fig. 4 - Concentration distribution of moisture content.

#### Diagnosis and interventions

The identification of the type of humidity is crucial for a correct design of intervention on walls. The choice of an incorrect method can in fact cause significant worsening of degradation with severe mechanical compromise and subsequent structural disturbance.

A diagnosis is articulated in four distinct phases: *General and material information*, which is collected about the building, its constituents and its context, with detailed attention paid to the period of the construction, its intended use, type and quality of material, the presence of thermal or water systems and the drainage of superficial water.

*Hygrometrical definition*, which consists in investigations to determine water content of walls; these are carried out using a variety of invasive sampling and non invasive (thermography, electrical resistance measure and direct measure with an hygrometer) analysis.

*Pathology identification*, where the type of humidity is determined in relation to the deterioration observed and the data about humidity in different section of masonry; observing simple graphs allows the identification of the source of the pathology and therefore its cause. (Fig 4)

*Intervention choice*: determination of the most appropriate intervention to eliminate causes of humidity and restore walls.

Interventions must in any case be aimed at eliminating the causes of pathologies and the following restoration of walls with methods aims at restoring internal humidity content at a level close to the physiological humidity of material. Where humidity is accidental and due, for example, to the poor functioning of guttering or pipe, the first intervention must be aimed at repairing the malfunctioning element; in the same way the intervention must plan for sealing of windows and restoration of plasterwork in cases

of infiltrations due to rain. As far as condensation phenomena are concerned, interventions must involve the installation of insulating elements capable of regulating heat transmission and avoid the formation of heat bridges.

The elimination of causes and the interruption of the water content feed is a feature common to all regeneration interventions.

As far as humidity due to capillary action (Rising Damp) is concerned, the impossibility to eradicate its causes has always been a major obstacle for a permanent elimination of pathologies.

As it is impossible to eliminate all contact between the building and the underground soil, particularly when the foundation layers are concerned, several techniques have been developed and updated with a more profound knowledge of the phenomenon.

#### Rising damp

Rising damp is strongly correlated to rock porosity, which allows water to infiltrate either from the side walls or from the basement simply through contact or through molecular action. Water, which is rich in salt, starts its ascent into the capillary network.

Traditionally, water rising inside the capillary network has been attributed to water's own superficial tension and the size of the porous system, as described by Jurin's law. To understand this phenomenon one can observe the rise of a fluid inside a small glass cartridge partially immersed in a container.

The maximum rising height is a function of the attraction forces exercised on the fluid by the side surface area of the tube (superficial tension), when adhesion forces are stronger in modulus than cohesion forces creating a concave meniscus. (Fig 5)

From the equation of equilibrium of forces one can derive the following equation:

$$(1) \quad S \cos \alpha (2\pi r) - \rho h (\pi r^2) g = 0$$

where:

S = superficial tension

$\alpha$  = meniscus angle

h = rising height

r = cartridge's radius

$\rho$  = water specific gravity

g = gravity acceleration

$$(2) \quad h = 2 (S \cos \alpha / \rho g r)$$

Once water reaches the maximum height, it migrates towards the outer surface, deposits salts within the porous structure and evaporates through the external surface. (Fig 6)

After water has evaporated, salt solidifies and therefore increase its volume creating a state of tension which produces instability within both masonry and protection layers. This is highlights the presence of salt on the surface as a lightly colored dust.

#### Restoration after rising damp

Traditional restoration of masonry affected by rising damp, using the physical-chemical model described above, can be classified into four types:

*Mechanical interventions*:

Koch method; Masonry replacement; Mechanical cut

*Chemical interventions*:

Pressurized chemical cut or slow infusion.

*Evaporation interventions*:

Siphons and drains; Restoring plaster

Active

*Electrical interventions*:

Active or passive electro-osmosis; electro-osmosis phoresy, Charge Neutralization Technology

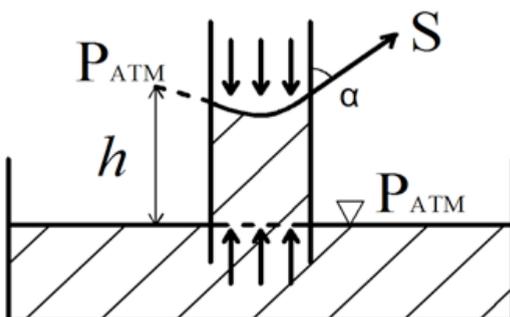


Fig. 5 - Forces acting on the mass of rising damp.

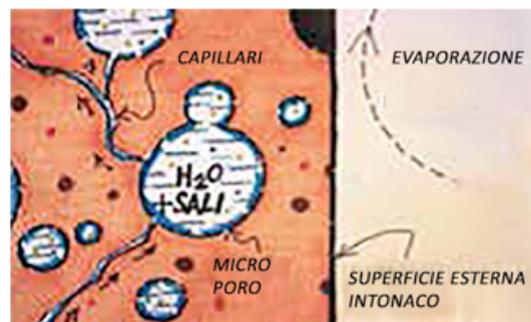


Fig. 6 - Deposit of salts in the pores.

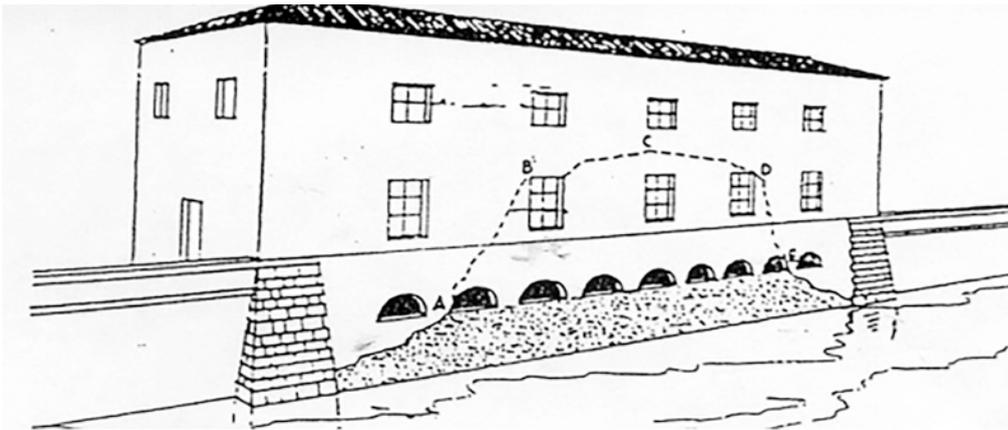


Fig. 7 - Reduction of porous sections in foundations [2].

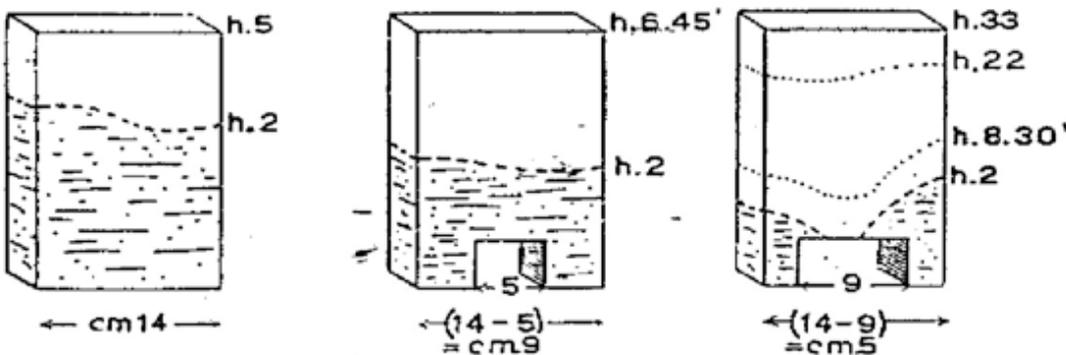


Fig. 8 - Common brick with reduced base sections [2].

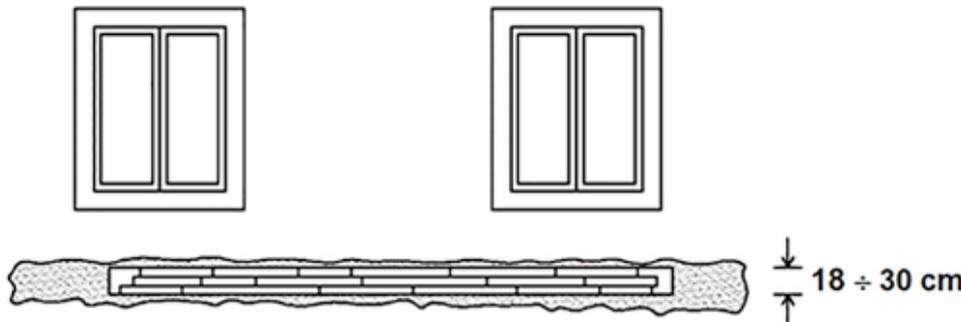


Fig. 9 - Insertion of a layer of non-porous material at full depth [2].

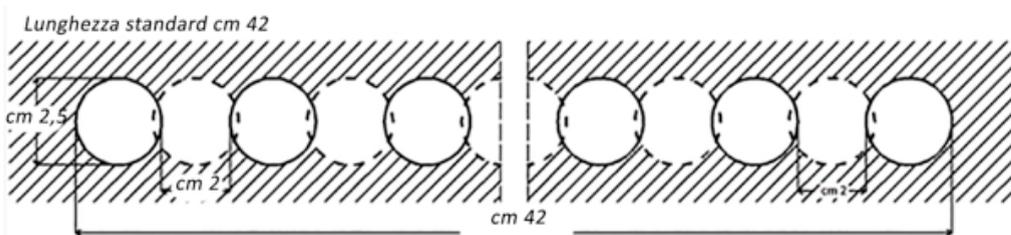


Fig. 10 - Formation of the horizontal track parallel holes [2].

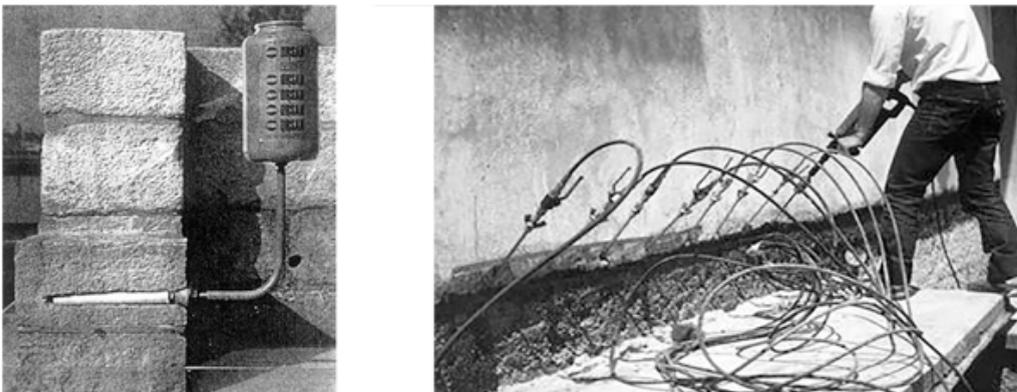


Fig. 11 - Injector for the slow infusion [2] (left). Nozzles follow pressure injecting [2] (right)

### Mechanical interventions

Mechanical interventions are designed as interventions within foundations or at the base of walls in order to reduce contact with the soil or to insert a waterproof separation layer. Its theoretical and applicative limits is in its need to have to operate on the base system or at the base sections of buildings, therefore modifying the tension state and seismic behaviour of the building.

### Koch Mehtod (Reduction of absorbing section)

This method is based on the assumption that absorption within a wall is directly proportional to the contact surface between the wall and the ridge. Therefore, in order to reduce the rising phenomenon, intervention was suggested in order to reduce the section of the continuous wall and substitute it with arches which had to be dug out.

(Fig 7)

Laboratory experiments have shown that, in the medium term, this method does not have an impact on the quantity of water which rises as this is absorbed by the wall, but only on rising speed. (Fig 8)

### Masonry replacement

This method consists of the insertion, within the wall, of a channel, about 20 cm high, along the entire section of the wall, which allows insertion of anti-capillary elements (e.g. stone or a lead lamina about 1.5 to 2mm thick). The intervention is completed by the application of a waterproof layer which forms an insurmountable barrier for water. (Fig 9)

### Mechanical cut of masonry

This type of intervention is a technological update of the cuci and scuci masonry replacement method: the change is in the masonry cut and in the selection of materials used for the barrier. The cut, according to the "Massari method", is carried out using a core drill which creates a horizontal opening through two series of holes.

The core drill allows cuts even on etherogeneous masonry, dampens vibrations and allows therefore for a shorter completion time. Material used as a barrier are several and can be lead laminas, flat or ribbed steel laminas, PVC or fiberglass laminas, polyester resins or cement mortar. (Fig 10)

Mechanical interventions with use of stone, metallic waterproof elements, do not intervene on the cause; they eliminate rising damp from the higher levels while reducing walls volume underneath: these continue to be fed by hydric flows from the soil. Water is prevented from continuing its journey towards the higher levels as it stops underneath the waterproof barrier, causing saturation levels underneath the barrier to increase and thereby reducing its resistance features.

### Chemical interventions

Chemical interventions are carried out by the introduction, within the walls of hydrofobicing substances (e.g. silanes, silicas, siliconates) which polymerize within the walls and block pores, thereby creating a barrier to prevent the rise of water and reduce superficial tension.

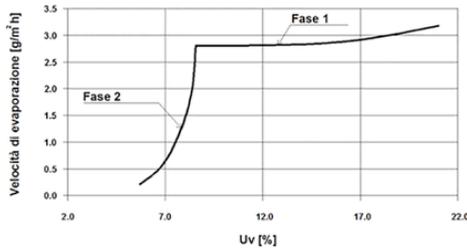


Fig. 12 - Evaporation curve.

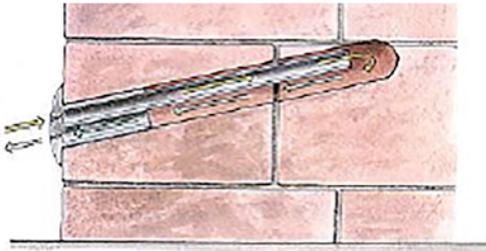


Fig. 13 - Atmospheric drains (www.humidity-stop.com).

Technology for its use consist of two main classes which depend on the viscous properties of the chemicals and masonry.

*Impregnation by slow effusion*, through which the chemical compound is poured via a transfusion through holes drilled in the masonry;  
*Low Pressure injection*, which allows the chemical compound to penetrate walls through injections at 0.5 atmospheres. (Fig 11)

The chemical barrier has the same effects as the mechanical cut all being with the significant advantage given by the fact that it does not impact on the equilibrium of the walls; however, as with the mechanical cut, water does accumulate underneath the areas which are blocked, a fact which impacts on saturation levels underneath. Performance checks on chemical interventions have highlighted that their efficacy depends from a multitude of factors which are difficult to control; these are essentially linked to the penetration of the chemical compound, which in turn depends on its viscosity, its polymerization speed, the chemical make-up of construction material, the chemical stability of all components

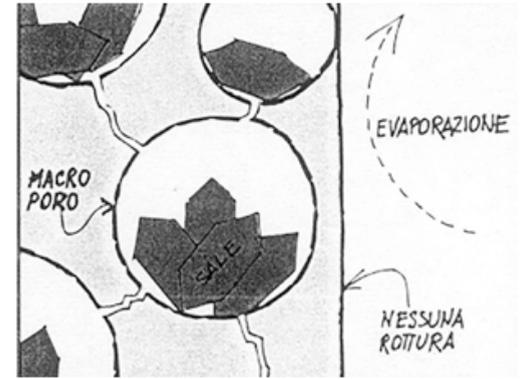
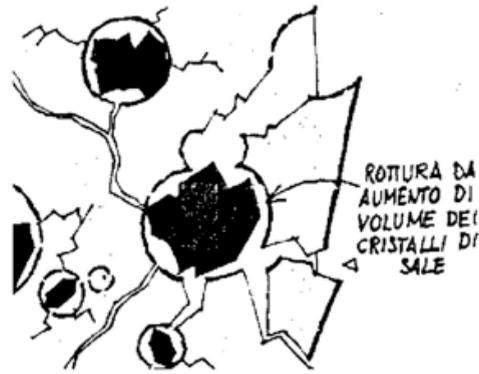


Fig. 14 - Difference between traditional (left) and macroporous (right) plaster.

and the presence of salts in compounds which can cause rock deterioration.

#### Evaporation interventions

These interventions are based on dehumidifying wall structures by increasing evaporation surfaces. Evaporation is achieved in two steps: the first is a decrease of humidity content inside the walls and consequent transportation of salt towards the surface; the second is the actually drying achieved by evaporation through the wall. (See Fig 12)

The increase of the internal evaporation surface is achieved through the application of siphons, or atmospheric drains, while the evaporation capacity is increased by using restoration plaster.

#### Siphons

This system is based on the application of cartridges of porous material, inserted at an angle of approximately 20°: the outflow of water from the wall is caused by the natural circulation of humid air inside and dry air outside, which gives the cartridges the name of atmospheric siphons. [4] (Fig 13)

This technique has been now almost totally abandoned due to the several limitations observed, which are essentially determined by the variability of thermo-hygronometrical conditions which impact on the salts contained inside siphons, impeding water drainage and attracting further humidity due to hygroscopic behaviour.

#### Restoration dehumidifying plaster

The use of restoration dehumidifying plaster is based on two principles:

- *Increase of evaporating surface* through the presence of macro-pores which increase the area of exterior exchange, deepening the evaporation zone, and the succession of decreasing granulometry layers which enables the hygrometric recall.
- *Increase of capacity* of the porous system able to contain deposit salt, which delays the creation of tension and limits deformations. (Fig. 14)

Efficacy of restoration interventions with macroporous dehumidifying plaster is strongly affected by the correct application of material and by the thermo hygrometric conditions. Experimental data has shown that use of macroporous dehumidifying plaster does not reduce the potential for water to be absorbed from the earth, but rather facilitates the external exchange, therefore potentially improving durability [5].

#### Electrical interventions

Electrical methods are based on the fact that rising damp is not only due to capillary network phenomena, as described by Jurin's law, but is also influenced by actions of electric fields caused by gaps in electric potential between construction material such as of carbonate crystals, silicates, aluminates, oxides and the earth. Within this very low intensity electric fields, water migrates

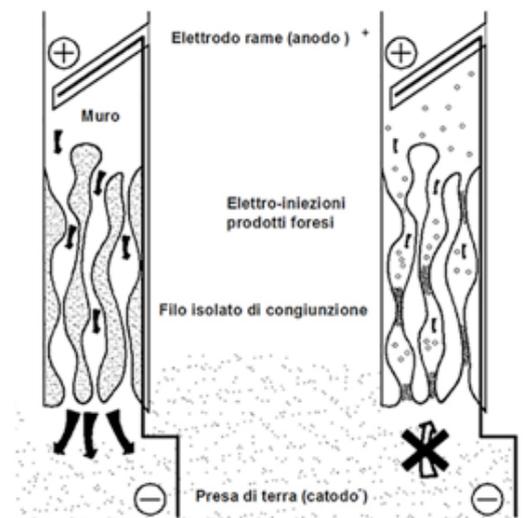
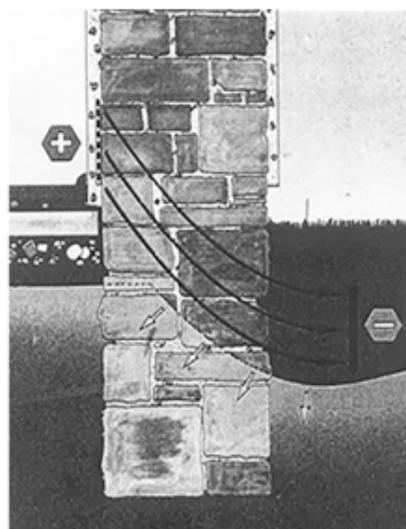
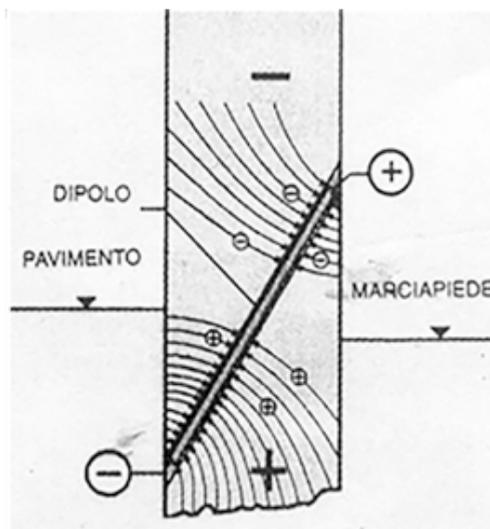


Fig. 15 - Passive Electro-osmosis (left) - Active electro-osmosis (center) - Electro-osmotic phoresis (right).

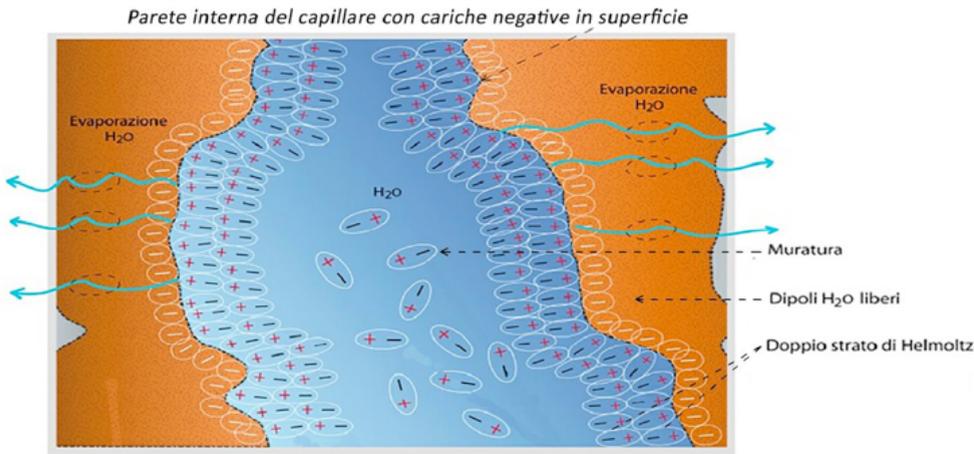


Fig. 16 - Schematic representation of the Helmholtz double layer.

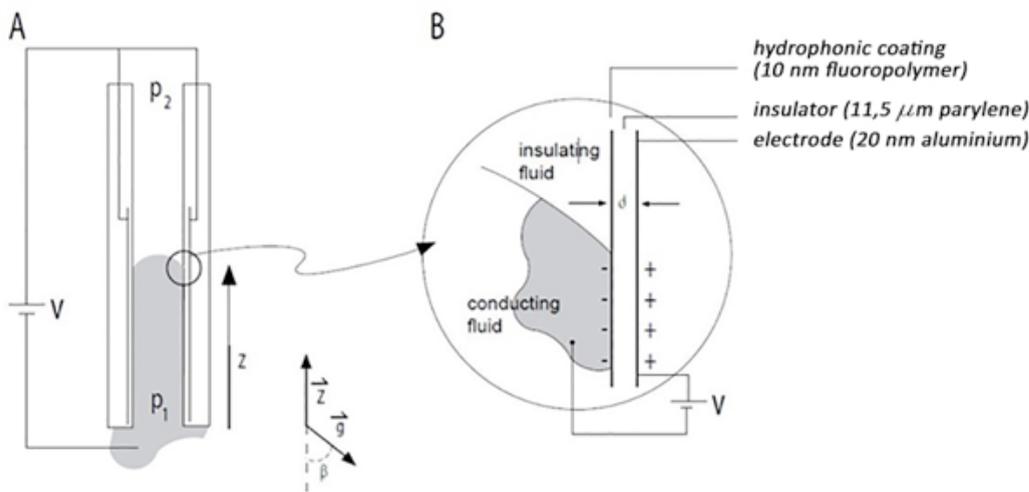


Fig. 17 - Electro-capillarity : diagram of the experimental model.

through the walls by effect of molecule polarization, according to Helmholtz double layer model.

The principle of electro osmosis (EOF), according to which a conductive fluid (water) moves inside a porous substance under the influence of an electric field, from the positive pole (anode) towards the negative pole (cathode), has characterized early interventions. These have been designed with the aim of eliminating potential difference by introducing an external electrical field capable of reversing water motion. Interventions have evolved in:

#### Passive electro-osmosis

This is achieved by electrical connection of the wall with the soil using a conductor so that the potential difference which causes rising damp is eliminated.

#### Active electro-osmosis

This is achieved by installing two electrodes having a difference of potential, which are connected by an electronic control unit; this reverses the natural electric field and aids migration of water towards the lower levels and therefore reversing rising damp.

#### Electro-osmotic phoresis

This is a complex method which combines electro-osmosis and electrophoresis. This type of intervention is carried out using the assumption that particles suspended in a liquid move under

the influence of electric field, from the positive pole to the negative pole. Therefore, during the first phase, polarity between wall and soil is inverted using a field generated by active electro-osmosis; subsequently, phoresis products, which are introduced together with electrodes, are attracted towards cavities in the wall and, once in situ, they obstruct capillary networks and prevent further infiltrations. (Fig 15)

Among electrical interventions, active electro-osmosis has proven to be effective and has proven to be the best traditional system in contrasting rising damp pathologies. The limitation of this system is its dependence from masonry electric features which can have significant variations due to materials, different levels of salt concentration and humidity levels, which can modify the natural potential difference. Moreover, its implementation is heavily influenced by underground currents. Electrical interventions have paved the way to the development of techniques aimed at intervening on the cause of rising damp, highlighting the need of stopping the flow from the underground in order to be able to carry out restoration of damp walls.

Starting from the assumption that the limit of traditional applications is in its dependence from many variations within masonry and external factors, scientific research has developed an innovative intervention method *Charge Neutralization Technology (C.N.T.)*. This intervenes exclusively on the behaviour of the water molecules inside the natural electric field

and avoids any dependency from the complex material and environmental variables and therefore renders interventions more effective as they are only influenced by chemical and electric features of water.

Therefore, in 2003, an experimentation and research campaign has been started in some universities finalized to improving existing electrophysical systems and only in 2008-2009 the device equipped with the C.N.T. has been patented.

#### Charge Neutralization Technique.

Charge Neutralization Technology (C.N.T.) is based on the assumption of reversing existing approaches to tackle rising damp and aims to refine an intervention method which is permanent and is not dependent on the type of material, structures, age or site of the building and is valid for any initial value of water and/or salt content within walls.

Starting from an analysis of the phenomenon of rising damp, whose velocity, height and intensity depend from general boundary conditions, this scientific study has focussed its attention of movement of water inside the capillary network inside walls.

In addition to superficial tension and evaporation, another factor which has an even greater significant influence on the movement of water and is associated to the negative electrostatic potential created inside walls is Helmholtz double layer. (Fig 16)

In fact, on a microscopic scale, the surface of any material containing silica (which is a significant component of the greatest number of construction materials) has a charge which creates a negative electrostatic potential.

Therefore internal capillary walls tend to attract water molecules which will be oriented with the positive pole towards the internal part of the capillary; the resulting double layer is called Helmholtz's.

In the presence of rising damp and of water evaporation near the wall's surface Helmholtz's layer moves and generates a weak electric potential difference between the earth and the wall.

Potential, which is proportional to rising intensity, can vary between 10 to 20 mW to (weak or absent rise) to 300-500 mW (very strong rise). This evidence shows that rising damp is, in ultimate analysis, ruled by action of infinitesimal electric forces.

And it is therefore for this reason that, in order to overcome limits shown by traditional solution, the Charge Neutralization Technique has been designed, as it is capable of intervening directly on electrical forces which cause the rise.

Moreover, such a system is designed to construct infinitesimally small forces and it is therefore much more economical, in energy terms, than any other traditional system.

#### Working principle of C.N.T.

Charge neutralization technique is an application derived from experimental studies in the field of nano-technologies in several universities and institutes from the early 2000s. The scientific principle used to prevent rising damp is based on using and applying the Physics principle of electrocapillarity. (Fig 17)



Fig. 18 - Operating principle of T.N.C. Domodry®.

Utilizing results from experimentation mentioned above, it is possible, through the application of an external electromagnetic field, to induce variations in the distribution of electric charges in the interface between a conducting liquid (such as for example a saline solution) and a solid surface (for example the internal wall of a micro-capillary). From a Physics prospective this brings the possibility of modifying flow inside the capillary.

The C.N.T. Domodry device is therefore a generator of weak impulsive electromagnetic waves, which are modulates to be harmless for humans; their application neutralizes the electric potension of the capillary flow inside the wall. (Fig 18)

In a rough summary, one can say that C.N.T. is capable of neutralizing water molecules cancelling the attraction that wall capillary exercise due to charge difference. The Domodry® device consists of a apparatus with dimension

28cm x17cmx6cm which can placed inside the building and connected to an electric socket. Once activated, it inhibits capillarity phenomena by stopping rising water while the water content is gradually expelling by evaporation with a velocity which depends on the wall material, on the initial water quantity and on local climate. Once dehumidification has been completed, it will be sufficient to keep the device working in order to permanently guarantee the natural hygroscopic humidity of the wall.

Domodry® acts on a spherical field with variable radius, depending on the device in use, which ranges from a minimum of 6m to a maximum of 15m, guaranteeing dehumidification of all structures, walls, stud walls. Impulses generated by the device are significantly lower than those of regular white goods and therefore are completely harmless for people and animals. This aspect has allowed the "bio-construction" certification.

The Domodry® system is extremely versatile due to its capability of being adapted to any type and dimension of building: depending on the dimensions of the building, it is possible to install a single or multiple devices. The unique quality of this technology is its lack of intrusiveness which enables its uses for conservation purposes of artistic and historic buildings.

#### *C.N.T. applications: experiments and results.*

The validity of results obtained by using C.N.T. in terms of walls dehumidification has been proved by experimental data collected in several pilot installations, carried out by universities and other institutes and institutions.

Evaluation of results has been carried out analyzing variations of water content of water in time and with reference to different areas of building using the following investigation method:

- Measure of water content inside walls with weight method following UNI 11082 regulation
- Infra Red thermo mapping of internal building surfaces

Measures have been repeated during three sessions in each installation; the first at the time of installation of the device; the second during the drying phase and the third at the end of the drying phase.

By comparing water content data with thermomapping of the walls considered, it has been possible to define reference parameter used to extrapolate with a good degree of accuracy, water content of the section of walls not involved in the investigation; this has been done by comparing thermographic images and timely



Fig. 19 - Lecce' s Dome.



Fig. 20 - Crypt of the Lecce' s Dome.

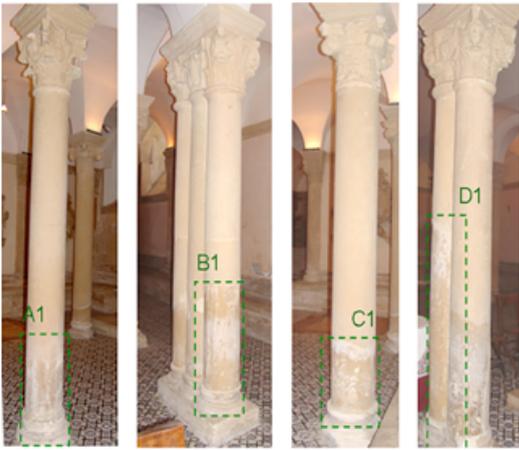


Fig. 21 - (Left) saline efflorescence - (Right) Devices Domodry



Fig. 22 - Reference image of a mapped element.

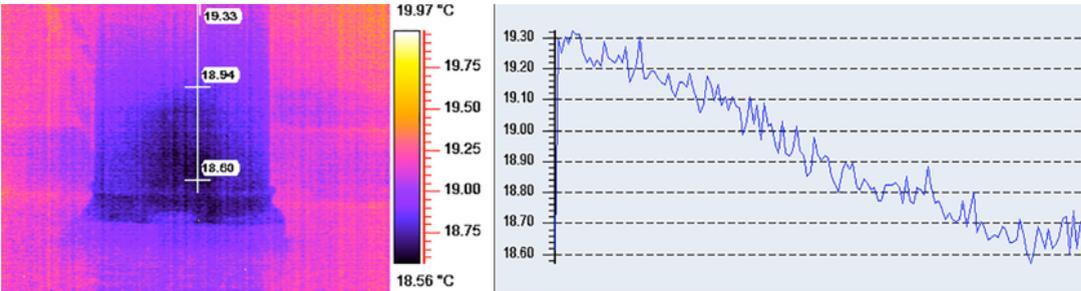


Fig. 23 - Thermographic mapping of December 2011.

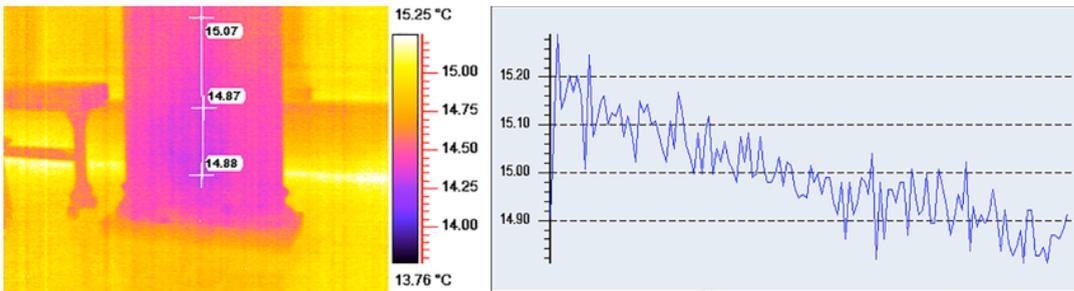


Fig. 24 - Thermographic mapping of December 2012.

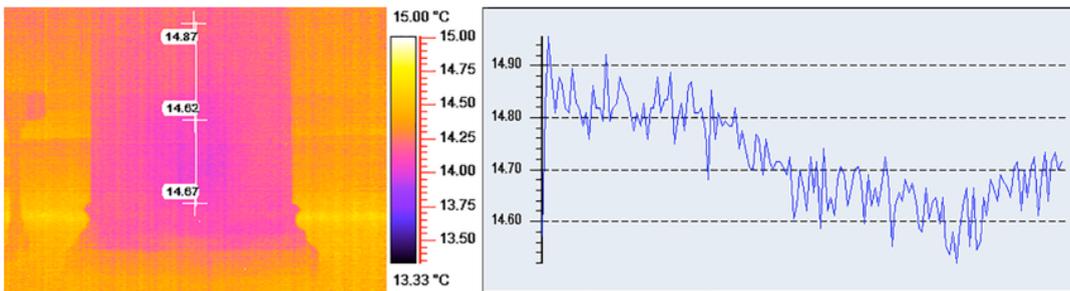


Fig. 25 - Thermographic mapping of February 2014.

collections. This has given obvious advantages in terms of extension, quantity and reliability of data and limiting invasive collections. Furthermore, soluble salt content has been measured on some of the sample using ionic chromatography, in order to evaluate damage of the walls.

#### *Exemplar application: The Crypt in Lecce's cathedral*

We report here of one of the many successful applications in historical buildings in Italy: the restoration of the Crypt in Lecce's cathedral. (Fig 19-20)

Located in the historical centre of Lecce, the cathedral is built using "pietra leccese" a natural stone typical of the local area and widely used in

all monumental heritage in Salento. This is considered to be one of the most porous material and one of the most easily deteriorated. In order to ascertain the efficacy of the innovative Charge Neutralisation Technology in stopping rising damp in stone and aiding drying, a pilot intervention has been carried out in the underground rooms of the Crypt which is below the ecclesial room. This is a part of the building more heavily attacked by humidity and affected by sever degradation. (Fig 21 - 22) Preliminary investigation, carried out by Innovation Engineering Department of the University of Salento, prior to the intervention with T.N.C. highlighted serious damage.

Le indagini multidisciplinari, realizzate a cura del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento prima dell'avvio dell'intervento pilota con T.N.C., avevano evidenziato una situazione ambientale assai. Microclimate monitoring, which has taken place between November 2008 and April 2010 registered minor variations of temperature and humidity, which were due to the significant thickness of perimeter walls (approximately two meters thick), absence of heating and low footfall both for liturgic and touristic purposes. It had therefore been excluded that humidity present could have been influenced by condensation. More in evidence were pathologies due to occasional infiltrations and rising damp. The latter, seemed permanently fed by the foundation soil and the perimetrical walls. A number of incorrect interventions had exacerbated existing pathologies. Salt crystals had obstructed the leccese stone pores limiting evaporation and causing sub-efflorescences and increasing levels of rising damp. (Fig 21 left) In 2011 experiments with the charge neutralization technology started by installing two Domodry devices places in the upper section of the Crypt vault. Since stone was visible, wall samples and weight sampling has not been carried out and a less invasive method, consisting of thermographical IR mapping of walls and some of the columns has been adopted instead. Monitoring of microclimatic variations through the dehumidification process, which is still being carried out today, is carried out by using a wireless tele-controlled system sending data, which can then be analyzed, via a GSM modem

#### **Results**

Thermographical analysis have been carried out in three successive sessions, namely:

- 1° Collection - December 2011 (when T.N.C. has been installed);
- 2° Collection - December 2012;
- 3° Collection - December 2013.

Data collection carried out in situ during the first two years since the activation of the dehumidification device show positive results in terms of reduction of the initial quantity of water. Thermographical analysis has in fact shown, in subsequent collection a progressive decrease of thermal anomalies, both in relation to the height where equilibrium temperature of the wall is reached and in relation to the variation of distribution of surface temperatures. This results are confirmed by the trends in thermal profiles carried out along the vertical

sections; between the areas closest to the pavement and those furthest away from it, there is a variation in the distribution of superficial Ts which is on average 0.20°C, compared to an initial value of 0,65°C.

For example, we report thermographic data of one of the areas subject to monitoring. (Fig 23 - 24 - 25)

## REFERENCES

- [1] G.Manfredi ed altri – Analisi e caratterizzazione meccanica di murature di tufo 15° Congresso C.T.E. Bari 2004 – Atti
- [2] Massari G, Massari I. - Risanamento igienico dei locali umidi – Hoepli
- [3] Aghemo C., Alfano G., Filippi M., Stella M. - L'umidità ascendente nelle murature: tecniche di intervento - in Recuperare n.2, Marzo, 1992
- [4] Cigni e Codacci-Pisanelli B. - Umidità e degrado delle murature -Kappa, Roma, 1987
- [5] Castelluccio R. - Interventi con intonaci da risanamento su murature in tufo giallo napoletano affette da umidità da risalita capillare - La sperimentazione di laboratorio - Luciano Editore
- [6] M. W. J. Prins, "Fluid Control in Multichannel Structures by Electrocapillary Pressure", by. SCIENCE Vol.291, pp.277-280, 12 January 2001 - Copyright © 2001 by the American Association for the Advancement of Science.
- [7] AA.VV., 2013, Atti del Convegno Unesco "Metodo scientifico ed innovazione tecnologica per la salvaguardia e recupero del patrimonio storico. ...", Ragusa Ibla 5 e 6 ottobre 2012, Comune di Ragusa.
- [8] Congedo P. M., D'Agostino D., D'Errico T., 2012, Studio sperimentale del fenomeno dell'umidità ascendente nelle murature, Tesi di Laurea A.A. 2011/12, Università del Salento, Facoltà di Ingegneria
- [9] 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.
- [10] 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.
- [12] Roche G., 2012, La Termografia per l'edilizia e l'industria. Manuale operativo per le verifiche termografiche, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).
- [13] 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.
- [14] 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 IN EDIFICI STORICI: RISANAMENTO MEDIANTE TECNICA DI NEUTRALIZZAZIONE DI CARICA TNC DOMODRY®**

### **Caratteristiche delle murature**

Gli approcci di tipo tradizionale, finalizzati all'eliminazione del fenomeno di umidità, si fondano sull'interazione tra il contenuto idrico che entra in contatto con le strutture murarie, e le proprietà fisiche delle pietre naturali che ne compongono la tessitura. Nel dettaglio la caratteristica che maggiormente influenza la

capacità assorbente delle pietre è la **porosità** (rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale) che determina l'attitudine del materiale lapideo ad assorbire acqua dal sottosuolo e veicolarla attraverso il sistema di capillari, occupando i volumi vuoti.

La ricerca scientifica ha dimostrato che in funzione del grado di saturazione, i materiali lapidei evidenziano una diminuzione: delle caratteristiche meccaniche, in termini di riduzione della resistenza a compressione, ed delle capacità coibenti, in termini di assottigliamento termico. È ormai noto che all'aumentare della porosità diminuisce la resistenza a compressione uniaassiale delle pietre [1]. Inoltre indagini sperimentali hanno dimostrato, con riferimento al grado di saturazione, che la resistenza media del materiale saturo è all'incirca pari al 75% di quello asciutto e che essa si riduce notevolmente se si sottopone la pietra ad un essiccamento in stufa a 105°C.

### **Tipi di umidità ed interventi**

Le strutture murarie tradizionali possono essere affette da diversi tipi di umidità a cui devono corrispondere degli specifici interventi di risanamento. Pertanto è di fondamentale importanza avviare una preliminare fase diagnostica che consenta di definire correttamente la patologia e di progettare il corretto intervento. Al fine di definire la tipologia di umidità è possibile, in via speditiva, individuare cinque classi di umidità:

#### Umidità da costruzione

È prodotta dal contenuto idrico dei materiali da costruzione all'atto della posa in opera. Le patologie legate a questo tipo di umidità si manifestano con formazione di macchie diffuse in maniera caotica, che possono essere rilevate a distanza di poco tempo dall'ultimazione della costruzione e la cui permanenza è funzione delle condizioni termo-igrometriche degli ambienti interni.

#### Umidità da acqua piovana

È prodotta dalla penetrazione di acqua all'interno delle murature a causa della cattiva manutenzione degli strati di finitura esterni o per la errata esecuzione della protezione nelle sezioni di attacco al suolo degli edifici. Le patologie prodotte da questo tipo di umidità sono spesso concentrate in corrispondenza dei punti di fessurazione degli intonaci, di sigillatura degli infissi e comunque in zone con esposizione poco soleggiata caratterizzate da una lenta evaporazione delle acque che lambiscono le superfici murarie.

#### Umidità accidentale

È prodotta dalla penetrazione di acqua all'interno delle murature per effetto di difetti tecnologici-costruttivi o di cattivo funzionamento degli impianti. In questi casi è probabile che le patologie evidenzino in zone distanti rispetto al punto in cui esse hanno origine, attesa l'attitudine dell'acqua a migrare all'interno dei materiali e delle strutture.

#### Umidità da condensa

È legata ad un fenomeno termo-igrometrico che si sviluppa per effetto del passaggio di stato del contenuto umido dell'aria da vapore a liquido in corrispondenza delle superfici "fredde", la cui temperatura raggiunge i valori di "temperatura di rugiada". La formazione di condensa si verifica frequentemente in ambienti con grande produzione di vapore acqueo (stanze affollate, cucine o bagni) ed in corrispondenza dei ponti termici.

#### Umidità da risalita capillare

È prodotta dall'assorbimento, da parte del sistema capillare dei materiali porosi, dei contenuti idrici presenti nel terreno di fondazione o comunque a contatto con la muratura ed al trasporto verso l'alto dell'acqua, fino ad un'altezza che dipende dalle caratteristiche del materiale e dal sistema capillare interno. Tale patologia si evidenzia soprattutto ai piani interrati ed ai piani terra degli edifici con una distribuzione del contenuto di umidità decrescente verso l'alto.

### Diagnosi ed Interventi

La determinazione del tipo di umidità è fondamentale per una corretta progettazione degli interventi sulle murature coinvolte. La scelta di un sistema di risanamento errato, infatti, può produrre un importante aggravio dei fenomeni di degrado con grave compromissione delle caratteristiche meccaniche del sistema murario e conseguente sviluppo di dissesti. La diagnosi si sviluppa in quattro fasi successive: **Informazione generale e materica:** nell'ambito della quale avviene la raccolta delle informazioni sull'edificio, sugli elementi costituenti e sul contesto; con particolare riferimento all'epoca di costruzione, alla sua destinazione d'uso, alle tipologie e qualità dei materiali, alla presenza di impianti termici ed idrici, al sistema di smaltimento superficiale delle acque superficiale

**Caratterizzazione igrometrica:** nell'ambito della quale si effettuano indagini per la determinazione del contenuto idrico delle murature mediante prove invasive (prelievi e saggi locali) e non invasive (termografia, misura della resistenza elettrica e misura diretta con igrometro). **Determinazione delle patologie:** nell'ambito della quale si definisce il tipo di umidità in relazione ai fenomeni di degrado che si riscontrano e sulla scorta dei dati relativi alla distribuzione del contenuto umido nelle diverse sezioni della muratura; l'osservazione di semplici grafici consente di definire la sorgente della patologia e quindi definirne la causa o l'insieme di cause che la produce.

**Scelta degli interventi:** attiene la determinazione degli interventi più opportuni per l'eliminazione delle cause ed il risanamento delle murature.

Gli interventi devono prevedere sempre l'eliminazione della causa che produce la patologia ed il successivo risanamento della muratura con metodologie che consentano di riportare il contenuto umido interno ad un valore prossimo all'umidità fisiologica del materiale. Nel caso di umidità accidentale per il cattivo funzionamento di una grondaia o di una tubazione, il primo intervento deve essere la riparazione dell'elemento tecnologico o impiantistico; ugualmente si dovrà prevedere di sigillare gli infissi e risanare degli intonaci nel caso di infiltrazioni da pioggia. Per quanto attiene i fenomeni di condensa, gli interventi dovranno prevedere l'istallazione di elementi coibenti in grado di controllare la trasmissione del calore ed impedire i ponti termici. L'eliminazione della causa e quindi l'interruzione del flusso di alimentazione del contenuto idrico è una caratteristica comune a tutti gli interventi di risanamento.

Nel caso dell'umidità da risalita capillare, determinata dal contatto tra la muratura ed il terreno, l'impossibilità di eliminare la causa ha rappresentato il grande ostacolo alla risoluzione della patologia. Non potendo eliminare il contatto tra l'edifici ed il terreno, in particolare per quanto attiene lo strato di fondazione, negli anni sono state sviluppate diverse tecniche di intervento, implementate e rinnovate in funzione dell'evolversi della conoscenza del fenomeno, che hanno impegnato il mondo della ricerca scientifica nella ricerca della soluzione.

#### L'umidità da risalita capillare

L'umidità da risalita capillare è strettamente correlata alla porosità della pietra che consente all'acqua di penetrare dalle pareti laterali o dalla base per semplice contatto e per effetto dell'attrazione molecolare. L'acqua, ricca di sali, inizia l'ascesa all'interno del sistema capillare. Tradizionalmente il fenomeno ascendente dell'acqua all'interno del sistema capillare è stato attribuito prevalentemente all'azione della tensione superficiale ed alla dimensione del sistema poroso, descritto dalla legge di Jurin. Per comprendere questo fenomeno si può osservare la risalita capillare di un fluido all'interno di un tubicino di vetro immerso nel recipiente.

La massima altezza di risalita è funzione delle forze di attrazione esercitate sul fluido dalla superficie laterale del tubo (tensione superficiale), nel caso in cui prevalgono le forze di adesione su quelle di coesione tra le molecole, configurando un menisco concavo.

Dall'equilibrio delle forze agenti si ricava la seguente relazione:

$$(1) \quad S \cos \alpha (2\pi r) - \rho h (\pi r^2) g = 0$$

dove:

$S$  = tensione superficiale [N/Mt]

$\alpha$  = angolo del menisco

$h$  = altezza di risalita [Mt]

$r$  = raggio del tubicino [Mt]

$\rho$  = peso specifico acqua [Kg/Mc]

$g$  = accelerazione di gravità [Mt/Sec<sup>2</sup>]

da cui si calcola la massima altezza di risalita capillare

$$(2) \quad h = 2 (S \cos \alpha / \rho g r)$$

Raggiunta la massima altezza di risalita migra verso l'esterno, deposita i sali in essa contenuti all'interno della struttura porosa e evapora attraverso la superficie esterna.

A seguito dell'evaporazione dell'acqua i sali solidificano con aumento di volume, instaurando uno stato di tensione che produce i dissesti della muratura e degli strati di protezione, oltre che evidenziare i sali in superficie sottoforma di polvere di colore chiara

#### **Interventi di risanamento per fenomeni di umidità di risalita**

Gli interventi tradizionali di risanamento delle murature affette da patologie di umidità da risalita capillare, definiti sulla scorta dell'interpretazione del fenomeno fisico chimico descritto, possono essere sostanzialmente raggruppati in quattro classi:

Interventi Meccanici: Metodo Koch; "Scuci e cuci"; Taglio meccanico.

Interventi Chimici: Taglio chimico a pressione o a lenta infusione.

Interventi Evaporativi: Sifoni e dreni; Intonaci da risanamento

Interventi Elettrici: Elettro-osmosi attiva e passiva; Elettrosmosi-foresi, Tecnologia a "neutralizzazione di carica"

#### Interventi meccanici

Gli interventi meccanici propongono di intervenire in fondazione o alla base delle murature per ridurre il contatto con il terreno o per interporre uno strato di separazione impermeabile.

Il limite teorico - applicativo degli interventi risiede nella necessità di dover incidere sul sistema fondale od in corrispondenza delle sezioni basamentali degli edifici, modificando lo stato tensionale ed il comportamento sismico alla base.

#### Metodo Koch (Riduzione della sezione assorbente)

Questo metodo si basa sul presupposto che l'assorbimento di una muratura è direttamente proporzionale alla superficie di contatto tra la stessa e la falda. Pertanto al fine di ridurre il fenomeno di risalita si propone di intervenire mediante la riduzione della sezione della muratura continua e la sostituzione con strutture ad arco scavate in braccia.

Le sperimentazioni condotte in laboratorio hanno dimostrato che l'intervento nel medio termine, non incide sulla quantità di acqua che viene assorbita dalla muratura ma solo sulla velocità di risalita, infatti i campioni testati hanno raggiunto tutti lo stesso livello di risalita, seppur in tempi differenti [2].

#### Metodo "scuci e cuci"

Questo metodo consiste nel realizzare nel muro umido una traccia, di altezza pari a circa 20 cm per l'intero spessore del muro, che consenta di sostituire i materiali

porosi con elementi anticapillari (ad es. pietra o lamina di piombo da 1,5 - 2 mm). L'intervento è completato con la posa in opera di un foglio impermeabile sottoposto, in modo tale che nel complesso si costituisce una barriera insuperabile per l'acqua.

#### Taglio meccanico della muratura

Questo tipo di intervento costituisce un aggiornamento tecnologico al metodo "scuci e cuci", rispetto al quale cambia il metodo di taglio della muratura e la scelta dei materiali utilizzati per lo sbarramento. Il taglio, secondo la metodologia detta "Massari", viene effettuato con l'utilizzo di una carotatrice che realizza una fessura orizzontale mediante due serie sovrapposte di fori secanti. L'utilizzo della carotatrice consente di realizzare il taglio anche su murature eterogenee, di attuare la trasmissione delle sollecitazioni e ridurre i tempi di realizzazione. I materiali che vengono inseriti come sbarramento sono di diversa natura: lastre di piombo, di acciaio piano od ondulate, lamine in pvc o vetroresina, resine poliesteri, malte cementizie.

Gli interventi di tipo meccanico con introduzione di elementi lapidei, metallici ed impermeabili, non intervengono sulla causa, eliminano la risalita capillare nelle sezioni sovrastanti l'intervento ma sacrificano i volumi di muratura sottostanti che continuano ad essere alimentati dai flussi idrici provenienti dal sottosuolo. Non potendo continuare il percorso verso l'alto, l'acqua si ferma sotto la barriera impermeabile aumentando il grado di saturazione della muratura e determinandone la conseguente riduzione delle caratteristiche di resistenza.

#### Interventi chimici

Gli interventi chimici consistono nell'immissione all'interno delle murature di sostanze chimiche con effetto idrofobizzante (silani - siliconi - siliconati) che, polimerizzando all'interno della muratura, occludono i pori realizzando una barriera alla risalita dell'acqua, e contestualmente riducono il valore della tensione superficiale.

La tecnologia di posa in opera individua due classi in funzione della tecnica di esecuzione che dipende dalle caratteristiche viscosi delle sostanze chimiche e dalla muratura:

- impregnazione a lenta infusione, mediante la quale il formulato chimico viene colato col l'ausilio di trasfusori inseriti nei fori praticati nella muratura;
- iniezione a bassa pressione, che prevede che l'inserimento del formulato chimico avvenga mediante iniezioni a 0.5 atm.

La barriera chimica ha gli stessi effetti del taglio meccanico con il grande vantaggio di non dover incidere sulla statica della muratura; anche in questo caso, per effetto della continua alimentazione del contributo idrico dal sottosuolo, si produce un accumulo di acqua al disotto delle zone occluse che aumenta il grado di saturazione del materiale.

Le verifiche prestazionali effettuate sugli interventi chimici hanno evidenziato che

L'efficacia degli interventi dipende da molteplici fattori di difficile controllo, legati sostanzialmente alla penetrazione del formulato chimico, influenzata dalla viscosità del liquido, dalla velocità di polimerizzazione, dalla composizione chimica del materiale da costruzione, oltre che dalla stabilità chimica dei componenti ed alla presenza di sali nei composti che provocano fenomeni di degrado sulla pietra. [3]

#### Interventi evaporativi

Gli interventi si basano sulla deumidificazione delle strutture murarie per effetto dell'incremento delle superfici evaporative. Il fenomeno dell'evaporazione si realizza in due fasi successive: nella prima si osserva una diminuzione del contenuto di umidità interno alle pareti ed il trasporto in superficie dei sali disciolti nell'acqua; nella seconda fase si effettua l'effettiva asciugatura mediante l'evaporazione attraverso le pareti.

L'aumento della capacità evaporativa interna alla parete si ottiene mediante l'apposizione di sifoni o dreni atmosferici, mentre la capacità evaporativa superficiale viene aumentata mediante l'utilizzo di intonaci da risanamento.

#### Sifoni

Il sistema è basato sull'applicazione di tubicini in materiale poroso, inclinati verso il basso di circa 20°, attraverso i quali l'acqua presente nella muratura fuoriesce per effetto di una circolazione naturale tra l'aria umida interna e quella asciutta esterna, da cui il nome di sifoni atmosferici [4]

La tecnica è quasi del tutto abbandonata per i numerosi limiti evidenziati, sostanzialmente determinati dalla variabilità delle condizioni termo-igrometriche che ne condizionano il funzionamento e dai sali che si depositano nei sifoni, inficiando la capacità di drenaggio dell'acqua e attirando altra umidità per effetto del comportamento igroscopico.

#### Intonaci da risanamento

Il funzionamento degli intonaci da risanamento è basato su due principi:

- aumento della superficie evaporante grazie alla presenza dei macropori che aumentano la superficie di scambio con l'esterno, approfondendo la zona di evaporazione, ed alla successione di strati a granulometria decrescente che favorisce il volano igrometrico
- incremento della capacità volumetrica del sistema poroso in grado di contenere i sali depositati, ritardando la formazione di tensioni interne e contenendo le deformazioni;

L'efficacia dell'intervento di risanamento degli intonaci macroporosi è fortemente influenzata dalla corretta posa in opera del materiale e dal regime termo igrometrico ambientale.

Dati sperimentali hanno verificato che l'utilizzo degli intonaci macroporosi non riduce la potenzialità di assorbimento dell'acqua dal terreno, ma sostanzialmente favorisce lo scambio con l'esterno, probabilmente alimentando anche la risalita, e conferisce una maggiore durabilità [5].

#### Interventi elettrici

I metodi denominati "elettrici" si basano sulla considerazione che la risalita capillare non è dovuta esclusivamente alla dinamica capillare come descritta dalla legge di Jurin, ma è influenzata anche dall'azione dei campi elettrici naturali che si attivano per effetto delle differenze di potenziale tra i materiali da costruzione, composti da cristalli di carbonati, silicati, alluminio e ossidi, ed il terreno; all'interno di questi campi elettrici di bassissima intensità, l'acqua migra la muratura per effetto della polarizzazione della molecola, secondo lo schema del doppio strato di Helmholtz.

Il principio dell'elettro osmosi, secondo il quale un fluido conduttore (l'acqua) si muove in un mezzo poroso, sotto l'azione di un campo elettrico, dal polo positivo (anodo) verso quello negativo (catodo), ha caratterizzato i primi interventi elettrici tradizionali che sono stati ideati in modo da annullare la differenza di potenziale ovvero di introdurre un campo elettrico esterno che potesse invertire l'andamento dell'acqua.

Gli interventi si sono specializzati in:

#### Elettro-osmosi passiva

Consiste nel collegare elettricamente la parete con il terreno, mediante un conduttore, in modo da annullare la differenza di potenziale che genera il campo elettrico naturale che genera la risalita.

#### Elettro-osmosi attiva

Prevede la creazione di un campo elettrico artificiale mediante l'installazione di due elettrodi a potenziale

differente collegati da una centralina in modo da invertire il naturale campo elettrico e favorire la migrazione dell'acqua verso il basso, invertendo l'andamento del flusso dell'umidità da risalita.

#### Elettro-osmosi foresi

Vi è poi una complessa metodologia che prevede l'associazione del metodo dell'elettro-osmosi con quello dell'elettro-foresi. Tale tipologia di intervento si fonda sul presupposto che delle particelle in sospensione in un liquido si muovono sotto l'effetto di un campo elettrico dal polo positivo a quello negativo. Pertanto in una prima fase si inverte la polarità naturale del sistema muro-suolo, sfruttando il campo elettrico impostato per l'elettro-osmosi attiva, in maniera tale da spingere l'acqua verso il basso; successivamente, per effetto del campo elettrico creato, i prodotti di foresi, introdotti insieme all'installazione degli elettrodi, sono attirati nelle cavità del muro ostruendone le ramificazioni capillari ed impedendo nuove infiltrazioni.

Tra gli interventi elettrici, l'elettroosmosi attiva ha avuto un'effettiva efficacia e si è affermato come il miglior sistema tradizionale nel contrasto alle patologie dovute alla risalita capillare, ponendosi l'obiettivo di contrastare la causa della risalita capillare. Il limite del sistema è la dipendenza da fattori legati alle caratteristiche elettriche della muratura che risultano estremamente variabili sia per effetto delle caratteristiche dei diversi materiali sia perché influenzate dalle concentrazioni saline ed al grado di umidità, che modificano il valore del potenziale elettrico naturale. Inoltre il funzionamento è fortemente influenzato dalle correnti vaganti nel sottosuolo.

Gli interventi elettrici hanno aperto la strada allo sviluppo delle tecniche finalizzate ad intervenire sulla causa della risalita capillare, riconoscendo quindi la necessità di arrestare il flusso idrico dal sottosuolo al fine di poter effettivamente promuovere un intervento di risanamento delle murature umide.

L'evoluzione della ricerca scientifica e dello sviluppo tecnologico, partendo dalla considerazione che il limite delle applicazioni tradizionali risiede nella dipendenza dalle variabili complesse della muratura e dei fattori esterni, ha sviluppato un innovativo sistema di intervento denominato "T.N.C." che, intervenendo esclusivamente sul comportamento della molecola d'acqua all'interno del campo elettrico naturale, esclude la dipendenza dalle variabili complesse ambientali e connesse ai materiali, e stabilizza l'efficacia dell'intervento, influenzato solo dalle caratteristiche chimiche ed elettriche dell'acqua. Pertanto nel 2003 è stata avviata una campagna di sperimentazione e ricerca, in collaborazione con alcuni Centri universitari, per il miglioramento dei preesistenti sistemi elettrofisici, e solo nel 2008-09 si è giunti al brevetto del dispositivo dotato di Tecnologia a Neutralizzazione di Carica.

#### **Tecnologia a neutralizzazione di carica T.N.C.**

La tecnologia a neutralizzazione di carica (T.N.C.), si fonda sul presupposto di ribaltare l'approccio al problema dell'umidità da risalita capillare rispetto alle tecniche precedenti, mirando ad affinare una metodologia di intervento 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. Partendo dall'analisi del fenomeno di risalita capillare, la cui velocità, altezza ed intensità dipendono dalle più generali condizioni al contorno, lo studio scientifico ha focalizzato l'attenzione sul movimento dell'acqua all'interno dei condotti capillari della muratura. Quest'ultimo è influenzato fortemente, oltre che dalla tensione superficiale e dall'evaporazione, da un altro fattore che, all'interno della muratura, risulta avere un effetto preponderante rispetto alla stessa tensione superficiale e che è associato al potenziale elettrostatico negativo che si instaura, per via naturale, sulle pareti interne dei capillari: il "doppio strato di Helmholtz".

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 tenderanno ad attrarre le molecole (dipoli) d'acqua, che risulteranno quindi orientate con il polo positivo verso la parete interna del capillare: il "doppio strato" di dipoli che ne deriva è detto di Helmholtz. In presenza di un fenomeno di risalita capillare e della contemporanea evaporazione dell'acqua in corrispondenza della superficie del muro, lo strato di Helmholtz subisce una movimentazione che genera un debole potenziale elettrico differenziale tra la terra ed il muro.

I valori del potenziale, proporzionali all'intensità di risalita, variano dai 10÷20 mV (risalita debole o assente) fino a 300÷500 mV (risalita molto forte).

Tale evidenza dimostra che il fenomeno della risalita capillare è in ultima analisi governato dall'azione di forze infinitesimali di natura elettrica. Ecco dunque che, per superare i limiti palesati dalle soluzioni di tipo tradizionale, è stato ideata una tecnologia a neutralizzazione della carica (T.N.C.) in grado di intervenire direttamente sulle forze di natura elettrica all'origine della risalita.

Un sistema così concepito inoltre, dovendo contrastare solo forze infinitesimali, si rivela assai meno dispendioso, in termini energetici, rispetto a qualunque altro sistema tradizionale.

#### Il principio di funzionamento della T.N.C.

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 dai primi anni 2000.

Il principio scientifico utilizzato per contrastare il fenomeno della risalita capillare si basa sull'applicazione dei fenomeni fisici dell'elettro-capillarità.

In base ai suddetti studi sperimentali risulta possibile, mediante l'applicazione di un campo elettromagnetico 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). Dal punto di vista fisico questo effetto prospetta la possibilità di modificare il flusso del liquido all'interno del capillare.

Il dispositivo T.N.C. Domodry® rappresenta pertanto un generatore di deboli onde elettromagnetiche impulsive, opportunamente modulate al fine di risultare innocue per l'organismo umano, che hanno l'effetto di neutralizzare il potenziale elettrico differenziale del flusso capillare all'interno della muratura.

In maniera semplificativa si può asserire che la T.N.C. è in grado di neutralizzare le molecole d'acqua annullando l'attrazione che i capillari della muratura esercitano per differenza di carica. Il dispositivo Domodry® consiste in un apparecchio di dimensioni pari a 28x17x6cm che viene collocato all'interno dell'edificio e collegato ad una presa elettrica. Una volta in funzione esso inibisce il fenomeno della capillarità, interrompendo la risalita di un ulteriore quantitativo di acqua mentre il contenuto idrico neutralizzato viene espulso gradualmente tramite evaporazione spontanea con velocità variabile in funzione delle caratteristiche costruttive del muro, della quantità d'acqua inizialmente presente e delle condizioni climatiche del luogo. Completata la deumidificazione, sarà sufficiente mantenere in funzione l'impianto T.N.C. per garantire il mantenimento in via permanente dello stato di equilibrio (umidità igroscopica naturale) raggiunto dalla muratura. Domodry® agisce in un campo d'azione sferico con raggio variabile - in relazione al modello di apparecchio - da un minimo di 6m sino a un massimo di 15m, garantendo la deumidificazione di tutte le strutture (muri, pareti divisorie, solette, ecc.). Gli impulsi generati dall'apparecchio sono di gran lunga inferiori a quelli di un normale elettrodomestico e pertanto risultano totalmente innocui a persone ed

animali. Questa caratteristica ha permesso di ottenere per l'apparecchio la certificazione di "bio-edile".

Il sistema di neutralizzazione di carica Domodry® risulta estremamente versatile attesa la possibilità di adattamento dell'impianto a manufatti di qualsiasi tipologia e dimensione: in funzione delle dimensioni dell'edificio infatti, è possibile scegliere l'installazione di un impianto singolo ovvero di un impianto multiplo mediante la combinazione di più apparecchi. Pregio esclusivo di questa tecnologia risiede nella mancanza di invasività che rendono la T.N.C. un intervento idoneo nell'ambito della conservazione del patrimonio storico artistico.

#### Applicazioni della T.N.C.: sperimentazioni e risultati

L'efficacia dei risultati conseguibili mediante l'applicazione della T.N.C., in termini di deumidificazione muraria, risulta comprovata dai dati sperimentali raccolti in svariate installazioni pilota, effettuate in collaborazione con Istituti universitari ed Enti terzi. La valutazione dei risultati è stata effettuata analizzando le variazioni dei contenuti di acqua delle murature nel tempo e con riferimento a diverse aree soggette all'azione dell'impianto mediante la seguente metodologia d'indagine:

- misura del contenuto di acqua nelle murature con in metodo ponderale dettato dalla Norma UNI 11085;
- mappatura termografica IR delle superfici interne dell'edificio.

Le misure sono state ripetute in tre sessioni per ciascuna installazione: la prima al momento dell'installazione dell'impianto; la seconda durante la fase di asciugatura; la terza al termine della stessa.

Attraverso la comparazione dei dati forniti dalle misurazioni dei contenuti idrici con le immagini termografiche dello stesso tratto di muratura, è stato possibile definire dei parametri di riferimento per estrapolare con buona approssimazione i contenuti idrici delle porzioni di muratura non direttamente indagate mediante raffronto con le relative immagini termografiche e prelievi puntuali, con ovvi vantaggi in termini di estensione, quantità e ripetibilità dei dati acquisibili e limitazione di prelievi invasivi. Inoltre su alcuni dei campioni prelevati nella prima sessione di misure, è stato valutato il contenuto di sali solubili mediante cromatografia ionica, al fine di valutare l'entità e lo stato di degrado della muratura.

#### Esempio applicativo: il caso della Cripta del Duomo di Lecce

A titolo esemplificativo, si illustra di seguito uno dei molti casi applicativi realizzati con pieno successo in importanti edifici storici in Italia: il risanamento della Cripta del Duomo di Lecce.

Ubicato nel centro storico di Lecce, il Duomo è costruito con la "pietra leccese", materiale lapideo naturale tipico del territorio locale e ampiamente diffuso nel patrimonio monumentale ed edilizio del Salento, considerato tra i materiali porosi più facilmente degradabili. Al fine di verificare l'efficacia dell'innovativa tecnologia "a neutralizzazione di carica" nel fermare l'umidità di risalita nella pietra e di favorirne l'asciugamento, è stato condotto un intervento pilota nei locali ipogei della Cripta sottostante all'aula ecclesiale, ovvero nella zona dell'edificio maggiormente aggredita dall'umidità e caratterizzata da un forte degrado.

Le indagini multidisciplinari, realizzate a cura del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento prima dell'avvio dell'intervento pilota con T.N.C., avevano evidenziato una situazione ambientale assai.

Il monitoraggio microclimatico condotto nel periodo novembre 2008 - aprile 2010 aveva registrato cambiamenti di temperatura e umidità relativa nella Cripta di lieve entità, atteso l'importante spessore delle murature perimetrali (pari a circa due metri), l'assenza di riscaldamento e la ridotta frequentazione sia turistica sia

liturgica. All'esito di tali verifiche pertanto si era escluso che l'umidità ambientale potesse avere origine da fenomeni di condensazione superficiale.

Di maggiore evidenza risultavano invece le patologie afferibili a sporadiche infiltrazioni accidentali ed a fenomeni di risalita capillare. Quest'ultima, soprattutto, risultava alimentata in modo permanente sia dal terreno di fondazione sia dalle murature perimetrali controterra. L'aggravio delle patologie descritte erano state inoltre favorite da una serie d'interventi inappropriati eseguiti in passato. Nel tempo i cristalli salini avevano ostruito i pori della pietra leccese limitando l'evaporazione naturale e determinando la formazione di sub-efflorescenze. Di conseguenza è stato rilevato il progressivo innalzamento dell'altezza di risalita.

Nel 2011 è stata iniziata la sperimentazione della tecnologia "a neutralizzazione di carica" mediante l'installazione di due dispositivi Domodry posizionati superiormente all'impasto delle volte della cripta.

Atteso la presenza di superfici in pietra a vista, non si è ritenuto opportuno procedere al prelievo di campioni di muratura, rinunciato all'esecuzione delle prove ponderali in favore di una metodologia non distruttiva mediante mappatura termografica IR delle superfici murarie e di alcune colonne. È stata inoltre avviata un'attività di monitoraggio (ad oggi ancora in corso) per la verifica delle variazioni microclimatiche durante il processo di deumidificazione, gestita da un sistema di telecontrollo installato all'interno della cripta costituito da sonde/trasmettitori wireless comunicanti con un concentratore di dati interrogabile a distanza tramite modem GSM.

### **Risultati**

Le analisi termografiche sono state ripetute in tre successive sessioni, e precisamente:

- 1° Rilievo nel dicembre 2011 (ad installazione impianto T.N.C.);
- 2° Rilievo nel dicembre 2012 (dopo circa un anno);
- 3° Rilievo del febbraio 2014 (dopo circa due anni).

I rilievi eseguiti in sito durante i primi due anni dall'attivazione dell'impianto di deumidificazione muraria indicano risultati positivi in termini di riduzione dell'iniziale contenuto d'acqua della muratura. Le analisi termografiche hanno infatti evidenziato, all'atto dei successivi rilievi, una progressiva diminuzione delle anomalie termiche, sia in relazione all'altezza in cui si registra il raggiungimento della temperatura di equilibrio della muratura stessa, sia in relazione al gradiente nella distribuzione delle temperature superficiali. Tali risultanze sono confermate dall'andamento dei profili termici eseguiti lungo la sezione verticale: tra le zone a ridosso del pavimento e quelle più distanti dal suolo emerge un gradiente nella distribuzione delle T superficiali mediamente pari a circa 0,20 °C, rispetto al valore iniziale di 0,65°C. A titolo di esempio, si riporta la scheda termografica di una delle zone sottoposte a controllo.