

Patrocini richiesti |  
Required sponsorships



# MATERA 2019

4 e 5 Aprile 2019 | Auditorium R. Gervasio



## TECNOLOGIE PER IL RECUPERO DEL COSTRUITO Umidità nelle costruzioni: diagnosi e metodi di intervento. Dal Taglio Meccanico alla Tecnica a Neutralizzazione di Carica

TECHNOLOGIES FOR THE RECOVERY OF BUILT HERITAGE.  
Capillary rising damp: diagnosis and methods of intervention.  
From the physical barriers to the Charge Neutralization Technique

# ATTI DEL CONVEGNO

## CNT-APPs | CHARGE NEUTRALIZATION TECHNOLOGY Research Project | Applications

Partenariato universitario | Academic partnership.



Altri Enti patrocinanti | Other sponsoring bodies.



In collaborazione con | in collaboration with.



LUCIANO Editore

## COMITATO SCIENTIFICO | SCIENTIFIC COMMITTEE

**Raymond Bondin** (Ambasciatore Emerito di Malta presso UNESCO)

**Mercedes Del Rio Merino** (Universidad Politécnica de Madrid)

**Antonella Guida** (Università degli Studi della Basilicata)

**Antonello Pagliuca** (Università degli Studi della Basilicata)

**Nicola Cardinale** (Università degli Studi della Basilicata)

**Antonio Bixio** (Università degli Studi della Basilicata)

**Antonio Conte** (Università degli Studi della Basilicata)

**Graziella Bernardo** (Università degli Studi della Basilicata)

**Michele D'Amato** (Università degli Studi della Basilicata)

**Nicola Masini** (Università degli Studi della Basilicata)

**Manlio Montuori** (Università di Ferrara)

**Roberto Castelluccio** (Università di Napoli Federico II)

**Claudio Modena** (Università di Padova)

**Paolo Maria Congedo** (Università del Salento - Lecce)

**Carlo Ostorero** (Politecnico di Torino)

**Giorgio Zavarise** (Politecnico di Torino)

Tutti i diritti riservati.

Vietata la riproduzione anche in parte.

© 2019 by LUCIANO EDITORE

Via P. Francesco Denza, 7

80138 Napoli

<http://www.lucianoeditore.net>

e-mail: [editoreluciano@libero.it](mailto:editoreluciano@libero.it)

ISBN 978-88-6026-270-7

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

# Umidità da risalita capillare. Il progetto di risanamento delle murature e la certificazione delle tecnologie

Roberto Castelluccio, Veronica Vitiello, Annalaura Vuoto

*Università degli Studi di Napoli Federico II*  
*Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale*  
*roberto.castelluccio@unina.it ; veronica.vitiello@unina.it ;*  
*annalauravuoto1307@gmail.com*

Gli interventi di risanamento delle murature affette da umidità da risalita capillare sono spesso definiti facendo ricorso, in maniera acritica, alle tecnologie ed ai materiali proposti dal mercato. Il contributo evidenzia la necessità di sviluppare un rigoroso percorso progettuale ed un processo di certificazione di idoneità dei materiali, dei prodotti e delle tecnologie che garantisca la qualità e la reale efficacia degli interventi proposti.

## **Introduction**

La presenza di acqua nel sottosuolo e la struttura capillare dei materiali da costruzione porosi determinano, per semplice contatto, la risalita del contenuto umido all'interno delle murature. In opposizione all'azione della gravità terrestre, l'acqua risale i condotti interni ai materiali da costruzione, occupa progressivamente il volume dei vuoti e raggiunge le sezioni in elevazione, evaporando attraverso le superfici perimetrali verso l'ambiente esterno.

Nel suo percorso di risalita, l'acqua funge da vettore per i contenuti salini disciolti in soluzione, trasportandoli verso l'alto; questi, non potendo evaporare, si depositano allo stato solido all'interno dei pori in corrispondenza della sezione di evaporazione, sia essa superficiale (intonaco) o interna (muratura).

La saturazione del sistema poroso dovuta al continuo deposito di sali determina l'insorgere di stati di sollecitazione che producono rigonfiamenti, distacchi e fenomeni di degrado superficiale. Inoltre, diverse sperimentazioni hanno dimostrato l'effetto negativo della presenza del un contenuto umido all'interno delle murature in termini di riduzione delle prestazioni meccaniche dei materiali ed energetiche dell'involucro edilizio oltre che rappresentare una delle principali cause di inquinamento dell'aria indoor.

Considerando inoltre che i fenomeni di umidità da risalita si sviluppano in misura prevalente su edifici in muratura che spesso ospitano al proprio interno preziose testimonianze artistiche, come nel caso dei musei, pinacoteche, palazzi nobiliari, ecc..., appare ancor più importante che le patologie da umidità da risalita assurgano ad un ruolo di importanza primaria e non siano considerate come un fenomeno secondario, sfuggendo alle normali dinamiche di approccio metodologico e sperimentale che caratterizzano gli ambiti disciplinari dell'adeguamento sismico ed efficientamento energetico.

Il contributo presentato, sulla scorta delle analisi teoriche della patologia, è finalizzato ad evidenziare la necessità di sviluppare un rigoroso percorso progettuale degli interventi di risanamento delle murature umide affette da umidità da risalita capillare che, allo stato attuale, sono spesso definiti senza un opportuno approfondimento e facendo ricorso in maniera acritica alle tecnologie ed ai materiali proposti dal mercato.

Contestualmente si approfondisce la necessità di adottare, da parte delle Amministrazioni Centrali, un processo di certificazione di idoneità dei materiali, dei prodotti e delle

tecnologie che, sulla scorta di attendibili verifiche sperimentali di Enti terzi garantisca il progettista e l'utente finale rispetto alla qualità ed alla reale efficacia degli interventi proposti che, allo stato attuale, sono spesso affidati alle dichiarazioni unilaterali delle aziende produttrici.

Su questa linea si è sviluppata l'attività di verifica prestazionale del metodo CNT® che il gruppo di ricerca interuniversitario CNT-APPs [Charge Neutralization Technology.

Applications - Università degli Studi di Ferrara, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Università degli Studi del Salento, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Padova] ha sviluppato nell'ambito del progetto "Masonry affected by rising damp: charge neutralization technology applications" in collaborazione con partner industriali Domodry e Leonardo Solution s.r.l., ed i cui risultati sono contenuti nei numerosi articoli scientifici pubblicati ([www.cnt-apps.com](http://www.cnt-apps.com)).

Lo studio è stato inoltre esteso in campo internazionale mediante la ricerca sperimentale "Sistemi industrializzati innovativi e non invasivi per la caratterizzazione del contenuto umido e del risanamento delle murature storiche e dei siti archeologici, patrimonio UNESCO, affette da umidità da risalita capillare" condotta in partnership tra: Il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico D.I.C.E.A., Polytechnic University of Madrid, "Escuela Técnica Superior de Edificación e Leonardo Solution s.r.l. – Domodry s.r.l., che ha esteso la verifica ai casi dei siti storici del Cuartel El Conde Duque e Escuela Tecnica Superior de Minas y Energia di Madrid e della Basilica Pontifica di Pompei. Il progetto, proposto dal D.I.C.E.A., è stato finanziato nell'ambito del Programma Operativo Nazionale FSE-FESR Ricerca e Innovazione PON RI 2014-2020 mediante borsa triennale di "Dottorato innovativo con caratterizzazione Industriale" nell'ambito del corso di Dottorato "Ingegneria dei sistemi civili - XXXII ciclo". [1]

## 1. Dalla diagnosi alla progettazione degli interventi di risanamento

L'analogia tra l'organismo umano e l'organismo edilizio conduce a considerare l'umidità come una vera e propria patologia, la cui eliminazione può conseguirsi esclusivamente attraverso l'elaborazione di una terapia fondata sull'individuazione e sulla caratterizzazione della *malattia* mediante un preliminare esame obiettivo e strumentale dei parametri specifici. Tale approccio metodologico è del tutto analogo a quello adottato nell'ambito degli interventi di recupero, restauro e consolidamento del patrimonio edilizio.

Pertanto, alla stregua degli interventi di efficientamento energetico o di consolidamento strutturale, anche il Progetto di risanamento dall'umidità deve seguire un rigoroso percorso metodologico che antepone la fase della Diagnosi a quelle dell'Individuazione degli interventi, dell'Esecuzione e della Verifica.

La Diagnosi deve essere effettuata mediante tre fasi:

**Fase della Conoscenza**, tesa a sviluppare una sufficiente consapevolezza dell'organismo edilizio mediante un sistema integrato di analisi visive, storico-evolutive, territoriali ed ambientali;

**Fase del Rilievo**, tesa a determinare la distribuzione della patologia, la causa e il tipo di umidità, mediante un insieme di analisi generalmente non invasive e qualitative;



**Fase della Misurazione**, tesa a quantificare i parametri caratteristici della patologia rilevata, mediante l'esecuzione di indagini ambientali e materiche, prove in sito e di laboratorio.

Gli elementi di conoscenza desunti dalla fase di diagnosi consentono di definire il tipo di umidità e la causa che lo produce, informazioni indispensabili allo sviluppo della **Fase di Progetto** che deve essere improntata sui criteri di minimo intervento, compatibilità ambientale e materica e sull'utilizzo di tecnologie e prodotti certificati e/o validati da Enti di ricerca indipendenti.

La soluzione progettuale deve essere esplicita in una serie completa di elaborati (Relazioni, Prove e Misurazioni, Grafici di rilievo e di progetto, Computi e Capitolati prestazionali) nei quali, definita e misurata la patologia, sia descritto compiutamente l'intervento di risanamento con indicazione dei metodi, delle tecnologie e dei prodotti da utilizzare.

Riferendosi, nello specifico, all'umidità da risalita, e considerando che in questo caso il risanamento è un processo che non ha effetti contestuali all'esecuzione degli interventi, è fondamentale che la progettazione sia corredata da un **Piano di Monitoraggio e di Collaudo** nel quale siano programmate le indagini da effettuare e siano definiti i valori attesi dei parametri caratteristici al fine di monitorare *in progress* l'efficacia prestazionale dell'intervento e di verificare il raggiungimento finale delle condizioni di collaudo.

## 2. I tipi di umidità

In funzione della causa che determina l'ingresso dell'acqua nella struttura muraria, si possono individuare diversi tipi di umidità classificabili in: umidità da costruzione, da infiltrazione, da condensa, da risalita capillare.

La distribuzione della concentrazione di umidità consente di determinare con maggiore certezza l'origine e il tipo di patologia. In Figura 1 sono riportate alcune possibili distribuzioni del contenuto umido in una sezione di muratura, cui corrispondono diversi tipi di umidità.

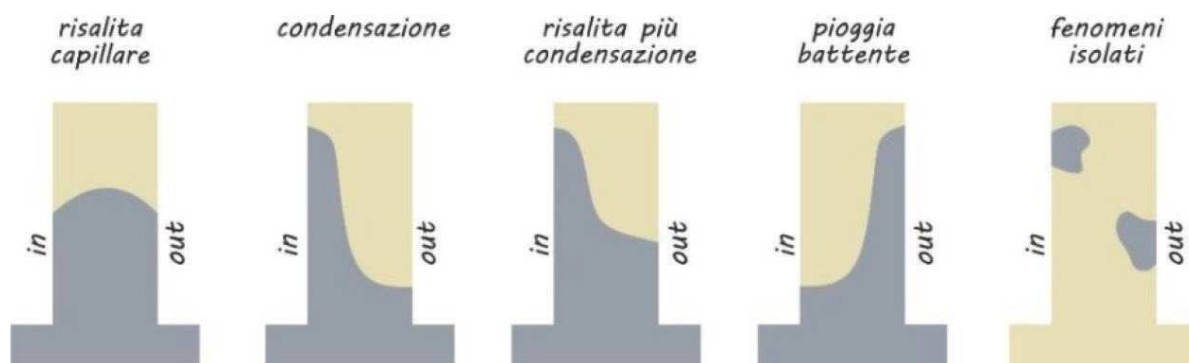


Figura 1. Andamento della Concentrazione del contenuto umido e tipo di umidità.

L'umidità **da costruzione** si manifesta, poco dopo l'ultimazione della costruzione dell'edificio, sotto forma di macchie concentrate e irregolari che, con il passare del tempo, tendono a diminuire. Le cause dipendono da fattori prevalentemente connessi alla difficoltà

di smaltimento dell'acqua presente nei materiali all'atto della posa in opera:

- **fattori costruttivi**, legati alla prematura posa in opera di intonaco o di rivestimenti non traspiranti su sottofondo non stabilizzato igrometricamente, all'uso di pitture pellicolari su pareti ancora umide, all'eccessiva percentuale dell'acqua di impasto delle malte o di bagnatura dei conci lapidei;
- **fattori ambientali**, relativi a un prematuro utilizzo degli immobili che non consente di garantire l'areazione necessaria allo smaltimento dell'umidità residua.

Gli interventi di risanamento consistono essenzialmente nella creazione delle condizioni ambientali favorevoli all'evaporazione naturale ovvero, nei casi più complessi, nel condizionamento meccanico dei parametri termo-igrometrici ambientali con cicli di riscaldamento e/o ventilazione forzata che attivano i flussi evaporativi dalla muratura verso l'ambiente.

L'umidità **da infiltrazione** si origina per la penetrazione, all'interno degli elementi costruttivi dell'organismo edilizio, di acqua proveniente dall'esterno.

La diagnosi di questo fenomeno può essere effettuata mediante un'indagine visiva e con l'ausilio di strumentazioni non invasive che permettano di individuare le aree, generalmente concentrate e circoscritte, in cui si manifestano anomalie termiche o dissesti degli strati protettivi (fessurazioni e lacune). Quando la zona in cui l'umidità si evidenzia è prossima al punto di infiltrazione la fase diagnostica risulta immediata; talvolta invece l'acqua migra all'interno degli elementi costruttivi prima di manifestarsi in superficie, rendendo necessari il rilievo dei sistemi impiantistici, l'esecuzione di saggi localizzati e di indagini non invasive. Le cause della patologia sono generalmente ascrivibili:

- a **infiltrazioni di tipo accidentale**, dovute alla cattiva manutenzione delle reti impiantistiche di adduzione e/o di smaltimento, che disperdono masse d'acqua all'interno di terreni o nelle murature.
- a **infiltrazioni di acqua piovana**, dovute al degrado degli strati di protezione (intonaci, impermeabilizzazioni...) che, favoriscono l'accesso della pioggia battente. Il fenomeno si presenta in zone concentrate in prossimità dei punti deboli dell'involucro e, nella maggior parte dei casi, in corrispondenza delle facciate con minore ventilazione, soleggiamento ed esposte ai venti dominanti.

L'umidità **da condensa** è determinata dal passaggio di stato da Vapore a Liquido dell'acqua contenuta nell'aria, dovuto ad una differenza di pressione o temperatura tra le superfici murarie e l'ambiente. In funzione del punto in cui avviene il passaggio di stato si può parlare di **condensa superficiale** (sulla superficie della parete) o di **condensa interstiziale** (nello spessore murario).

I fenomeni di condensa superficiale si manifestano generalmente in corrispondenza delle superfici fredde (ponti termici) e delle zone con minore ventilazione (spigoli e rientranze). La fase di diagnosi deve essere condotta mediante la misurazione dei valori di temperatura superficiale delle pareti e termo-igrometrici dell'ambiente e con la verifica del ricambio d'aria all'interno dei locali.

Le condense interstiziali, invece, sono di difficile diagnosi, in quanto nascoste all'interno degli elementi edilizi. Esse esplicano un effetto negativo principalmente sulla modifica delle prestazioni energetiche dell'involucro, che può rilevarsi solo attraverso la complessa misurazione dei valori della trasmittanza in sito.

Gli interventi utili all'eliminazione della patologia consistono nel garantire il corretto

isolamento (ovvero ventilazione) e la deumidificazione degli ambienti mediante l'inserimento di pannelli coibenti e camere d'aria proporzionati in funzione delle condizioni climatiche esterne e delle destinazioni d'uso degli ambienti interni.

Infine, l'umidità **da risalita** capillare è determinata dall'assorbimento di acqua dai terreni di fondazione per semplice contatto tra le murature ed il sottofondo. L'acqua risale la struttura capillare dei materiali costitutivi della parete fino ad un'altezza massima poi, spinta da differenza di temperatura e pressione con l'ambiente esterno, migra verso la superficie di evaporazione. Questa tipologia di umidità si presenta, pertanto, con la formazione di un fronte umido senza soluzione di continuità che interessa le zone basamentali delle murature, caratterizzato da una distribuzione del contenuto umido che decresce in altezza.

Per i fenomeni di umidità da costruzione, da infiltrazione e da condensa, dunque, la soluzione risiede nell'eliminazione della causa e nel successivo risanamento della muratura in assenza di ulteriore alimentazione del contenuto umido. Nel caso della risalita capillare, invece, i metodi "tradizionali" di risanamento delle murature sono maggiormente improntati ad intervenire sulla limitazione degli effetti connessi alla patologia e non sull'eliminazione delle cause che ne innescano la dinamica, e propongono l'interruzione (interventi meccanici e chimici) o l'allontanamento (interventi evaporativi ed elettrici) dei flussi idrici. Invero, l'evoluzione dei metodi elettrici nell'innovativa Tecnologia a Neutralizzazione di Carica CNT<sup>®</sup>, agendo sulle forze di natura elettromagnetica che si instaurano tra le pareti dei pori capillari ed il fluido, ostacolano all'origine l'attivazione del fenomeno.

### **3. Umidità da risalita capillare. Diagnosi**

Nella sua migrazione all'interno dei materiali costruttivi l'acqua porta con sé i sali in essa disciolti che, non potendo evaporare verso l'esterno, cristallizzano in corrispondenza degli strati superficiali. Pertanto, la massima altezza di risalita, o fronte umido, è denunciata dalla demarcazione di una fascia a maggiore concentrazione salina. Per effetto delle sovrappressioni generate dall'aumento di volume dei sali allo stato solido, si producono distacchi e rigonfiamenti degli strati di finitura (intonaci e tinteggiature).

Questi effetti consentono di eseguire una prima diagnosi visiva del fenomeno, che viene approfondita alternando diversi metodi di indagine finalizzati a definire l'origine della patologia, caratterizzare il contenuto umido interno alla muratura e misurare i parametri ambientali che intervengono nella dinamica del fenomeno, in modo tale da conseguire la corretta progettazione degli interventi di risanamento.

In prima istanza è necessario sviluppare un rilievo grafico e fotografico finalizzato alla localizzazione e tipizzazione dei fenomeni patogeni. Per confermare gli esiti del rilievo visivo è possibile effettuare alcune iniziali analisi strumentali di carattere non invasivo, volte ad indagare la distribuzione superficiale dell'umidità mediante:

- la termografia a infrarossi (IRT) [10], per mezzo della quale si determina la distribuzione delle temperature superficiali connesse con i fenomeni evaporativi;
- la misurazione dei parametri di temperatura e umidità superficiale della muratura mediante l'ausilio di termoigrometri a contatto;

- la misurazione dei valori di temperatura, umidità dell'ambiente e punto di rugiada mediante l'ausilio di termoigrometri e psicrometri.

Verificata la rispondenza della patologia alle caratteristiche tipiche della risalita capillare, è necessario determinare l'insieme delle forze intrinseche e di scambio con l'ambiente esterno che favoriscono la penetrazione dei flussi idrici all'interno della muratura, ovvero che ostacolano l'attivazione del meccanismo di evaporazione.

Completano la fase diagnostica le operazioni di caratterizzazione dei materiali da costruzione, che non sono sempre eseguibili, perché prevedono il prelievo di campioni dalle pareti indagate, ma che restituiscono interessanti informazioni circa la misurazione del contenuto umido interno alla parete, la struttura capillare dei materiali di cui è costituita, la loro composizione mineralogico-petrografica, le caratteristiche meccaniche e termiche, lo stato di degrado e, fondamentale, il valore dell'umidità fisiologica, intesa come il contenuto di umidità naturale del materiale in condizioni ambientali.

I valori di umidità rilevati applicando il Metodo ponderale (UNI 11085) [11] o il Metodo al carburo di calcio (UNI 11121) [12], espressi in percentuale rispetto alla massa secca, confrontati con il valore di umidità fisiologica del materiale, consentono al progettista di valutare lo stato di degrado della muratura e di definire gli obiettivi dell'intervento di risanamento che dovrà tendere teoricamente ad allineare i due valori.

Nella pratica, data la frequente impossibilità di raggiungere tale risultato ottimo, il progettista deve, secondo la propria sensibilità ed esperienza e in funzione delle condizioni al contorno, definire un soddisfacente obiettivo in termini di riduzione del grado di umidità e scegliere la tecnologia e i materiali da utilizzare per ottenere il risanamento della muratura.

Contestualmente devono essere condotte delle analisi di laboratorio sulla tipologia dei sali igroscopici che si depositano durante la fase evaporativa i quali, assorbendo il contenuto umido ambientale, generano fenomeni del secondo ordine di condensa superficiale, che si manifestano con una distribuzione "maculata" delle temperature sulla parete. La tipologia e la concentrazione dei depositi salini può essere approfondita con una diagnosi poco invasiva che prevede il prelievo di piccoli campioni di materiale da sottoporre a prove di cromatografia ionica in laboratorio, secondo la procedura indicata norma UNI 11087:2003. [13]

#### **4. Interventi tradizionali per l'umidità da risalita capillare**

Appare superfluo specificare che, nell'ambito di un complessivo progetto di recupero edilizio, l'intervento di risanamento delle murature dall'umidità da risalita capillare deve anticipare tutte le altre lavorazioni che risulterebbero inficiate dal protrarsi dei fenomeni ad essa connessi.

I metodi di intervento tradizionali possono essere distinti in quattro categorie: **interventi meccanici, chimici, evaporativi ed elettrici.**

##### *4.1 Interventi meccanici: principi di funzionamento e limiti*

Gli interventi meccanici promuovono lo sbarramento alla risalita mediante il taglio della



muratura con l’inserimento di strati di materiale impermeabile, ovvero la riduzione della superficie di contatto tra la fondazione muraria e il terreno.

Appartiene alla seconda tipologia il **metodo di Koch** (o di riduzione delle sezioni assorbenti), fondato sull’ipotesi secondo cui l’assorbimento dell’acqua sia direttamente proporzionale alla superficie di contatto della muratura con il terreno di fondazione. Tale relazione, tuttavia, incide unicamente sulla velocità di assorbimento del fluido che, in tempi relativamente più lunghi, riesce comunque a raggiungere la massima altezza di risalita.

Tra i metodi di sbarramento alla risalita, invece, vi è il **metodo “scuci-cuci”** che prevede la realizzazione di uno strato impermeabile posto alla base della muratura mediante la sostituzione dei materiali da costruzione porosi con altri materiali anticapillari. (Figura 2.A) In aggiornamento a tale metodo tradizionale, già a metà degli anni ‘50 Massari [14,15] proponeva di eseguire il taglio meccanico mediante l’utilizzo di una carotatrice ad asse orizzontale, consentendo di attutire la trasmissione di sollecitazioni dovute a urti e vibrazioni, oltre che di ridurre i tempi di realizzazione dell’intervento (Figura 2.B). Le ridotte dimensioni del taglio così ottenuto facilitano l’inserimento di barriere fisiche di diversa natura (lastre di piombo, di acciaio piane o ondulate, lamine in pvc o vetroresina, resine poliesteri, malte cementizie).

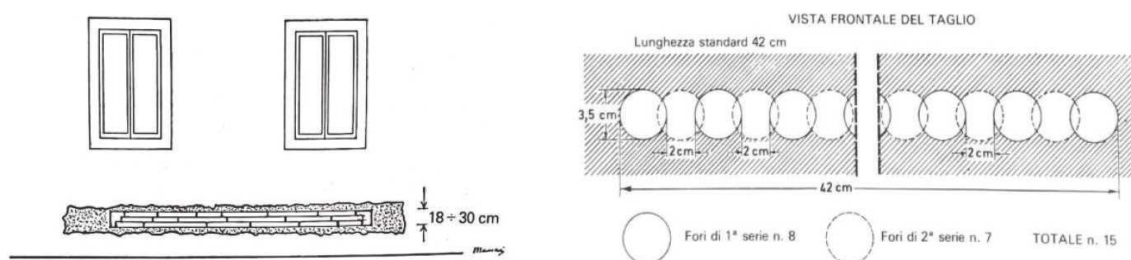


Figura 2. (A) Scuci – cuci con inserimento di materiale non poroso (G. Massari)  
(B) Realizzazione del taglio con il “nuovo metodo meccanico di Massari”

I limiti degli interventi con taglio meccanico risiedono principalmente nella mancata rimozione della causa della patologia: la realizzazione di una barriera fisica alla risalita capillare che “protegge” la struttura in elevazione, espone a condizioni di vulnerabilità ancor più critiche la porzione di muratura al di sotto degli strati impermeabili, dove continuano a risalire i flussi idrici aumentando la concentrazione di umidità.

#### 4.2 Interventi chimici: principi di funzionamento e limiti

Gli interventi chimici, alla stregua di quelli meccanici, promuovono la formazione di una barriera alla risalita capillare realizzata mediante l’iniezione di fluidi con particolari caratteristiche idrofobizzanti, all’interno delle murature.

In relazione alla viscosità del materiale, l’introduzione di queste sostanze può avvenire per **lenta infusione** o a **bassa pressione** (Figura 3). La scelta dei composti di iniezione deve essere sviluppata accuratamente verificando con attenzione la compatibilità con il materiale costituente la muratura, onde evitare che si possano attivare fenomeni di degrado interno.

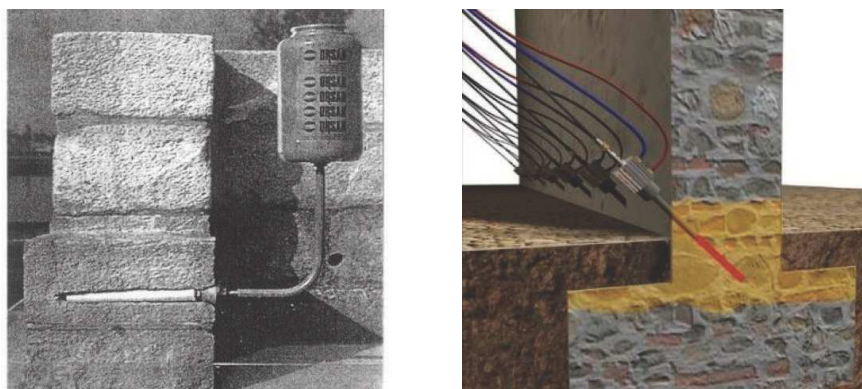


Figura 3. Barriera chimica con iniezioni a lenta infusione e bassa pressione

Come i metodi meccanici anche gli interventi di tipo chimico hanno il limite di realizzare una barriera alla risalita che lascia le sezioni di muratura disposte al di sotto dello strato impermeabile in condizioni critiche di imbibizione.

#### 4.3 Interventi evaporativi: principi di funzionamento e limiti

La classe di interventi evaporativi affida la funzione di risanamento all'incremento della componente evaporativa delle strutture murarie, che può essere perseguita mediante:

- introduzione di **sifoni o dreni atmosferici**
- sostituzione degli strati di finitura con **intonaci da risanamento**
- realizzazione di **contro-pareti e canali di ventilazione** (naturale o forzata)

L'utilizzo di **sifoni e dreni**, costituiti da tubicini forati di materiale plastico o metallico che vengono inseriti all'interno della muratura con una inclinazione di circa 20° (Figura 4), dovrebbe attivare una circolazione naturale tra l'aria umida interna alla parete e quella asciutta esterna.

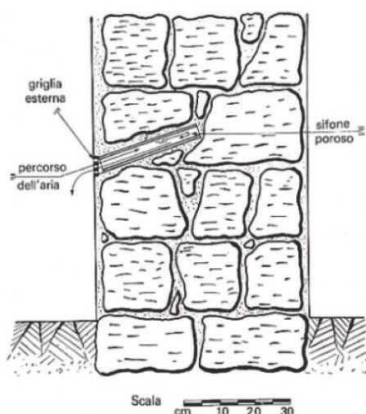


Figura 4. Il sifone atmosferico di Knapen (G. Massari)

Il funzionamento teorico di questi elementi avviene però solo in alcune particolari condizioni termo-igrometriche, che non sempre si verificano nella realtà: il fenomeno fisico richiamato si basa sull'ipotesi che l'aria asciutta esterna vada a sostituire l'aria

umida interna al sifone con conseguente asportazione dell'umidità. In realtà trattandosi di due fluidi a densità variabile e quindi soggetti a fenomeni non costanti, l'aria umida interna esce dal sifone solo se è a temperatura minore di quella esterna. Per garantire l'efficacia dell'intervento, quindi, occorrerebbe cambiare l'inclinazione dei sifoni in relazione alla condizione stagionale. A tal fine sono stati prodotti dei sifoni a "V" che, inseriti nella muratura, favoriscono l'attivazione del flusso nei due versi. Tuttavia, la posa in opera di questi tubicini risulta complicata e determina il rischio di infiltrazione di pioggia battente al loro interno.

Anche gli **intonaci da risanamento**, in virtù della loro struttura macro-porosa, agiscono sulla componente evaporativa del fenomeno, aumentando la superficie di scambio con l'ambiente esterno ed accelerando lo smaltimento dei contenuti idrici interni alla muratura; contestualmente, tali materiali riescono ad assorbire l'aumento di volume dovuto alla cristallizzazione dei sali igroscopici (Figura 5), contenendo l'attivazione di tensioni interne ed arginando i fenomeni di degrado superficiale connessi alla formazione di microlesioni e polverizzazione del materiale.



Figura 5. Micro-struttura degli intonaci macroporosi

Sebbene gli intonaci da risanamento conferiscano una maggiore durabilità rispetto agli intonaci tradizionali e risolvano il fenomeno dei distacchi, delle formazioni superficiali di muffe e di deposito di sali, non incidono sulle condizioni di umidità interna delle murature, permanendo un equilibrio tra il flusso di risalita e il flusso evaporante.

Alla categoria degli interventi di tipo evaporativo appartengono anche quelli che prevedono la realizzazione di **contro pareti e canali di ventilazione**, naturale o meccanica, atti a forzare il processo di evaporazione e a confinarlo all'interno delle contro pareti areate che delimitano lo spazio interno. Il metodo che prevede l'installazione di canali di ventilazione alla base delle murature è oggetto di numerose campagne sperimentali [16], nell'ambito delle quali è stata dimostrata la relazione tra lo spessore murario e l'efficacia dell'intervento, maggiore per le pareti sottili.

La realizzazione delle contro pareti deve essere integrata dalla predisposizione di opportuni collegamenti con l'esterno in grado di attivare il movimento dell'aria nell'intercapedine mantenendo in equilibrio il valore del contenuto umido in prossimità della superficie evaporante.

#### 4.4 Interventi elettrici: principi di funzionamento e limiti

L'ultima categoria di interventi tradizionali afferisce alla classe dei metodi elettrici, che mirano a condizionare il movimento del fluido all'interno della muratura mediante l'introduzione di un campo elettrico che annulla ovvero si oppone a quello naturale che si sviluppa tra le pareti del sistema capillare e le molecole d'acqua, invertendo il flusso e "spingendo" l'acqua verso il basso.

Il primo tentativo, quasi subito abbandonato per insufficienza prestazionale, è stato rappresentato dal metodo dell'**elettrosmosi passiva**, consistente nell'annullamento della differenza di potenziale mediante l'introduzione di una barra metallica all'interno della muratura che, raggiungendo il terreno, avrebbe dovuto equilibrare il campo elettrico naturale e di conseguenza arrestare la risalita.

Successivamente la tecnologia si è sviluppata proponendo il metodo dell'**elettrosmosi attiva**, che affida la sua efficacia all'introduzione di un campo elettrico artificiale all'interno della muratura (ottenuto facendo passare corrente in due elettrodi collegati a una centralina), che supera il valore del campo elettrico naturale e inverte l'andamento del flusso capillare dall'alto verso il basso. (Figura 6.A)

Infine, l'evoluzione tecnologica ha condotto al metodo dell'**elettrosmosi foresi**, che utilizza il campo elettrico introdotto dall'elettrosmosi attiva per veicolare all'interno del sistema capillare le sostanze idrofobizzanti che, incidendo sui valori della tensione superficiale del sistema capillare, ostacolano l'assorbimento di ulteriori apporti idrici (Figura 6.B).

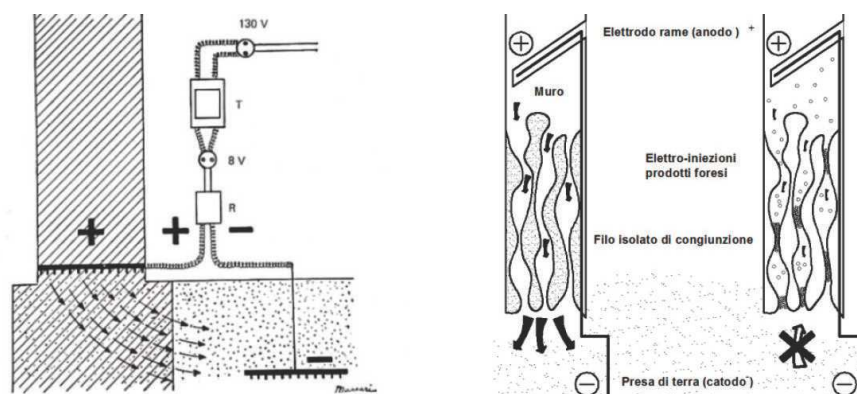


Figura 6. (A) Schema di applicazione dell'elettrosmosi attiva alla muratura (G. Massari)  
(B) Schema di applicazione dell'elettrosmosi foresi

I metodi elettrici mirano sostanzialmente all'interruzione della dinamica della risalita e affidano il risanamento della muratura alla naturale evaporazione attraverso la superficie esterna. Vi sono tuttavia limiti prestazionali nell'applicazione di tali metodi che risiedono soprattutto nell'interazione con la muratura e nella taratura del campo elettrico in funzione della variabilità nel tempo e nello spazio del potenziale naturale.



## 5. IL METODO CNT

L'attenzione della ricerca rispetto alla componente elettrica del fenomeno di risalita ha aperto la strada allo sviluppo di ulteriori tecniche che mirano ad intervenire sulla causa dell'umidità, senza coinvolgere l'edificio. In quest'ottica<sup>®</sup> è stata sviluppata la moderna Tecnologia "Charge Neutralization Technology" CNT<sup>®</sup>. Ciò che più differenzia la tecnologia CNT da qualsiasi altro sistema di tipo elettrico o elettromagnetico è il suo originale principio di funzionamento (Figura 7): anziché introdurre un campo elettrico opposto a quello naturale e tarato sui valori della polarità della muratura, variabili all'interno della stessa muratura e nel tempo, la CNT neutralizza, in corrispondenza delle sezioni di contatto muratura - terreno, la tendenza delle molecole d'acqua a polarizzarsi, facendo in modo che rimangano globalmente neutre, come in condizioni ordinarie in assenza di campi elettrici esterni.

Di conseguenza, applicando la CNT, il fluido non è più attratto per differenza di carica all'interno dei capillari della muratura e la risalita viene dunque interrotta alla radice.

L'acqua in eccesso presente nella muratura, non essendo più alimentata dalla risalita, tende a smaltirsi spontaneamente per naturale evaporazione e, una volta terminato il processo di asciugatura, la CNT continua ad esplicare l'azione di prevenzione anti-risalita garantendo il mantenimento permanente dello stato di equilibrio al valore di contenuto umido fisiologico del materiale (Figura 7).

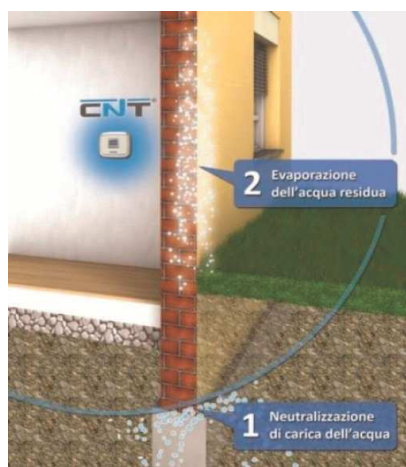


Figura 7. Principio di funzionamento della tecnologia CNT<sup>®</sup>

In tal modo, la CNT è riuscita a superare il problema della scarsa efficacia e/o instabilità di risultato che spesso inficia i sistemi a inversione di polarità che, essendo tarati sul comportamento elettrico della muratura – e non dell'acqua – possono essere disturbati dalla disuniformità e/o variabilità dei relativi valori di riferimento. La CNT rappresenta oggi l'unica tecnologia che agisce sulla causa della risalita capillare e garantisce il mantenimento della condizione di equilibrio in qualsiasi tipo di muratura, come dimostrano gli eccellenti risultati forniti dagli oltre 4.000 impianti installati dal 2009.

La caratteristica di universalità della tecnologia, efficace su ogni tipo di materiale costruttivo, e di non invasività, atteso che viene applicata mediante dispositivi di modeste dimensioni che richiedono un unico punto di attacco alla corrente elettrica coprendo un

raggio di azione sferico di 15m, rendono particolarmente interessante l'azione della CNT nell'intervento di risanamento di edifici di pregio storico, artistico ed architettonico appartenenti al Patrimonio Culturale.

## **5.1 METODI DI RISANAMENTO COMBINATI**

È importante evidenziare che il metodo CNT non rappresenta un intervento in sé compiuto in quanto, affinché si completi il processo di risanamento, è necessario che a valle della neutralizzazione, e quindi dell'eliminazione della causa dell'assorbimento di acqua dal terreno, la muratura espella il contenuto idrico residuo fino a raggiungere valori di umidità prossimi a quella fisiologica dei materiali di cui è costituita.

Pertanto, risulta interessante indagare le potenzialità della combinazione del metodo CNT con interventi di tipo evaporativo, atti ad incidere sulla seconda componente del risanamento aumentando la capacità degli strati superficiali di smaltire l'umidità residua.

Il ricorso all'abbinamento di diverse tecnologie consente di progettare interventi di risanamento con elevatissimi livelli prestazionali, in termini di riduzione del contenuto umido interno e di mantenimento nel tempo delle condizioni di salubrità.

Il progetto dell'intervento deve tenere ovviamente conto delle condizioni specifiche del contesto, delle caratteristiche peculiari della muratura, delle finiture, del valore storico e della presenza di sali depositati. In funzione delle diverse condizioni è quindi possibile intervenire mediante: l'applicazione di sifoni per lo scarico immediato di elevati contenuti idrici; la sostituzione degli intonaci ammalorati con nuovi strati traspiranti o da risanamento; l'implementazione di sistemi di controllo delle condizioni termo igrometriche ambientali utili alla regolazione dei flussi evaporativi.

L'efficacia degli interventi è massimizzata dall'interruzione, per mezzo dell'azione della CNT, dell'effetto pompa generato dal richiamo dei flussi idrici come conseguenza della movimentazione ed evaporazione dell'acqua verso l'esterno.

### **CNT - SISTEMI DRENANTI**

Nei casi in cui le murature presentano valori particolarmente elevati di umidità, e laddove è possibile intervenire con metodi invasivi, il risanamento può essere avviato mediante l'installazione di un sistema di sifoni e dreni che consentono l'immediato allontanamento dei contenuti idrici accumulati.

In questi casi l'evaporazione deve essere ulteriormente agevolata dall'eliminazione degli intonaci, specie se non traspiranti e non compatibili con il supporto, e dall'esecuzione di interventi di asportazione dei sali depositati mediante impacchi di boiacche o paste che li attraggono al loro interno per capillarità e ne consentono l'estrazione.

### **CNT - INTONACI TRASPIRANTI E/O MACROPOROSI**

Quando è possibile intervenire mediante l'asportazione degli intonaci ammalorati, l'intervento ottimale è costituito dall'abbinamento tra la CNT e l'utilizzo di intonaci traspiranti e/o macroporosi, compatibili con il supporto, che consentono di aumentare e conservare nel tempo la capacità evaporativa e contenere i sali residui depositati all'interno dei macropori.

L'intervento deve prevedere in via preliminare di liberare il supporto murario da tutti i ri-

vestimenti, specialmente se incongrui o non traspiranti, al fine di massimizzare il tempo di esposizione del paramento all'ambiente esterno e favorire l'evaporazione naturale. Successivamente è possibile realizzare i nuovi strati di intonaco, provvedendo ad asportare gli eventuali sali igroscopici depositati all'interno del sistema poroso, al fine di consentire una maggiore durabilità dell'intonaco stesso e scongiurare l'ingresso di nuova umidità per effetto dell'assorbimento del vapore acqueo ambientale.

## 6. CONCLUSIONI

L'analisi condotta ha messo in evidenza il carattere estremamente innovativo della Tecnologia a Neutralizzazione di Carica che, agendo in maniera non invasiva direttamente sulla causa del fenomeno, supera i limiti prestazionali di tutti gli interventi tradizionali. Per queste caratteristiche la CNT trova una preferenziale applicazione nell'ambito degli interventi di restauro dei Beni Culturali, con particolare riferimento agli ambienti che ospitano superfici decorate di elevato pregio, in corrispondenza delle quali non è praticabile alcun intervento tradizionale. L'emissione di un campo elettromagnetico, che utilizza l'aria per la trasmissione dell'onda, efficace a disturbare il comportamento elettrico dell'acqua, esclude ogni interazione con le murature e rende compatibile la tecnologia con la presenza di affreschi, decorazioni, rivestimenti e superfici di pregio. Inoltre, la possibilità di integrare lo strumento con un insieme di sensori in grado di rilevare, anche da remoto, le condizioni termo-igrometriche ambientali, consente di poter effettuare un continuo monitoraggio delle condizioni di evaporazione e, dove necessario, di regolare l'azione di asciugatura.

Tuttavia, proprio gli interventi eseguiti nell'ambito dei Beni Culturali, ancor più degli altri, necessitano l'azione, da parte delle Amministrazioni Centrali, di un rigoroso processo di certificazione di idoneità dei materiali, dei prodotti e delle tecnologie che, sulla scorta di attendibili verifiche sperimentali di Enti terzi garantisca il progettista e l'utente finale rispetto alla qualità ed alla reale efficacia degli interventi proposti, allo stato attuale spesso affidati alle dichiarazioni unilaterali delle aziende produttrici.

In quest'ottica l'attività di verifica prestazionale del metodo CNT<sup>®</sup> che il gruppo di ricerca interuniversitario CNT-APPs ha sviluppato nell'ambito del progetto "*Masonry affected by rising damp: charge neutralization technology applications*" in collaborazione con il partner industriale, getta le basi per la creazione di linee guida per la certificazione ed il collaudo degli interventi di risanamento, da sviluppare con il medesimo rigore metodologico che regola l'accettazione dei materiali e la verifica degli interventi in campo strutturale.

### *Personal references*

- [1] Il contributo è estratto dal seguente testo, a cui si rimanda per una completa e più approfondita trattazione: V. Vitiello and R. Castelluccio, *Il risanamento delle murature affette da umidità da risalita capillare. Il metodo CNT*, Napoli, Luciano Editore, 2019
- [2] R. Castelluccio, V. Vitiello and M. Rossetto. Heritage 4.0. Cultural sites. The integrated system C.N.T. for rising damp diagnosis – recovery – monitoring. *IX Convegno internazionale AIES*, Naples, Italy, Cervino edizioni, 2018
- [3] R. Castelluccio, V. Vitiello and M. Infante, Sperimentazione della Tecnologia a Neutralizzazione di Carica: diagnosi ed efficacia prestazionale. *Colloqui.A.Te. 2018*, Cagliari, Gangemi Editore, 700-709, 2018
- [4] M. Fumo, R. Castelluccio, M. del Rìo Merino and V. Vitiello. Monitoring systems for the test of rehabilitation of masonries affected by rising damp, *IV International Congress on Construction and Building Research - COINVEDI*, Tenerife, 2017.
- [5] R. Castelluccio and V. Vitiello. Deleting of rising damp in the archaeological site of Piazza Armerina through the application of the technology by neutralizing electrical charge T.N.C. *Le Vie dei Mercanti - XIV Forum Internazionale di Studi*, 1457-1466, 2016
- [6] R. Castelluccio and V. Vitiello. Performance analysis of method T.N.C. on masonries in tuff affected by capillary rising damp. *Colloqui.A.Te 2016*, 204-205, 2016.
- [7] R. Castelluccio and M. Rossetto. Rising Dump in Historical Buildings: Restoration using the Charge Neutralization Technology CNT Domodry®. *SMC – Water and Construction*, 2:78-88, 2015
- [8] R. Castelluccio. *Interventi con intonaci da risanamento su murature in tufo giallo napoletano affette da umidità da risalita capillare. La sperimentazione in laboratorio*. Napoli: Luciano Editore, 2013
- [9] R. Castelluccio. *I fenomeni di umidità sulle murature in tufo giallo napoletano – La risalita capillare, gli interventi con intonaci da risanamento*. Napoli, Luciano Editore, 2012

### *Generic references*

- [10] G. Roche, *La Termografia per l'edilizia e l'industria. Manuale operativo per le verifiche termografiche*. Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2012
- [11] UNI EN 11085:2003. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto d'acqua: metodo ponderale
- [12] UNI 11121:2004. Materiali lapidei naturali ed artificiali - Determinazione in campo del contenuto di acqua con il metodo al carburo di calcio
- [13] UNI 11087:2003. Beni Culturali. Materiali lapidei naturali e artificiali. Determinazione contenuto Sali solubili. Dosaggio delle specie ioniche
- [14] G. Massari, *Risanamento igienico dei locali umidi: rimedi pratici per i vari casi ...* Milano, Hoepli, 1952
- [15] Massari, I. Massari, *Risanamento igienico dei locali umidi: la condensazione nelle case popolari...* Milano, Hoepli, 1985
- [16] I. Torres, Wall base ventilation system to treat rising damp: The influence of the size of the channel. *Journal of Cultural Heritage*, 15:121-127, 2013
- [17] N. Ludwig, E. Rosina and A. Sansonetti. Evaluation and monitoring of water diffusion into stone porous materials by means of innovative IR thermography techniques. *Measurement*, 2017



- [18] E. Barreira, R.M.S.F. Almeida and J.M.P.Q. Delgado. Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components. *Construction and Building Materials*, 110:251-269, 2010.
- [19] G. Alfano, F. R. d'Ambrosio e G. Riccio, *L'umidità ascendente*