

Introduzione

Numerose sono le cause che possono determinare la presenza di umidità negli edifici storici, tuttavia quelle più comuni sono riconducibili (Fig. 1):

a) alla presenza del vapore acqueo nell'atmosfera che può condensare sulla superficie oppure all'interno della muratura; b) alla presenza di acqua nel terreno che può infiltrarsi nelle murature interrate oppure essere "attratta" nei muri per il fenomeno della risalita capillare o a causa di forze elettro-osmotiche; c) alla presenza di acqua nei materiali impiegati per la costruzione dei muri. Solitamente questo tipo di umidità si riscontra negli edifici nuovi nei primi due o tre mesi di fruizione dello stesso. Negli edifici antichi, invece, questo tipo di umidità può riscontrarsi anche per qualche secolo, se nella realizzazione delle murature - di grosso spessore - sono state impiegate malte di calce area che per il mancato contatto con l'anidride carbonica dell'atmosfera si presentano ancora non indurite; d) per la pioggia che può penetrare all'interno degli edifici se le superfici esterne e gli intonaci in particolare non sono capaci di impedire l'ingresso dell'acqua sospinta sulle pareti dell'edificio dalla forza del vento. La presenza di umidità negli edifici può essere imputabile, inoltre, ad una non corretta impermeabilizzazione delle coperture e dei terrazzi. Infine, una raccolta delle acque non ottimale unitamente ad uno smaltimento non corretto può ulteriormente aggravare la presenza dell'umidità nelle murature, soprattutto di quelle interrate; e) alla presenza di acqua determinata da cause impreviste quali rotture di condutture, serbatoi e fognature nel terreno (1). La presenza di acqua nelle murature può determinare una

Umidità nelle costruzioni: diagnosi e rimedi

Luigi Coppola

Enco, Engineering Concrete, Spresiano (TV)

serie di inconvenienti tra i quali i più importanti sono:

a) degrado dei materiali per effetto delle pressioni generate dal congelamento dell'acqua. È noto, infatti, che la trasformazione dell'acqua in ghiaccio avviene con un aumento di volume che determina la nascita di forti pressioni dell'acqua non congelata sulle pareti dei pori disseminati nella struttura dei materiali impiegati, provocandone la rottura; b) degrado per incompatibilità chimica dei materiali costituenti la muratura che in assenza di acqua potrebbero convivere senza generare reazioni chimiche distruttive (2);

c) diminuzione del confort termico degli edifici per la diminuzione della resistenza termica della muratura causata dalla presenza di acqua e di quello igienico per la inevitabile comparsa di muffe;

d) esfoliazione e distacchi superficiali degli intonaci dalla muratura per effetto del trasporto dei sali dal terreno o dalle zone più interne del muro verso l'esterno del paramento. Nei casi meno gravi i sali trasportati dall'acqua sulla superficie dei paramenti costituiscono solo un problema di carattere estetico. In altre situazioni, soprattutto in ambienti ventilati caratterizzati da velocità di evaporazione dell'acqua elevate, i sali possono

"annidarsi" nel materiale (subfiorescenze) che costituisce il paramento a qualche centimetro dalla superficie. Le subfiorescenze sono molto pericolose in quanto se l'umidità relativa scende al di sotto dell'umidità di saturazione i sali cristallizzano con un aumento di volume, generando espansioni distruttive per il paramento murario (3).

Nella presente memoria verranno discusse esclusivamente le problematiche connesse con l'umidità nelle costruzioni derivante dalla presenza di acqua nel sottosuolo, rimandando a successive memorie la discussione e la risoluzione delle patologie connesse con l'umidità di condensa e di costruzione e quelle legate alla penetrazione dell'acqua piovana per una non corretta impermeabilizzazione delle superfici esterne.

La risalita capillare

La presenza dell'umidità nelle murature fondate su un terreno imbibito di acqua avviene quasi esclusivamente per il fenomeno fisico della capillarità. Esso ha origine dalle forze di adesione che si stabiliscono in un vaso di dimensioni ridotte (capillare) tra il liquido in esso contenuto e le pareti del vaso stesso. In sostanza, un liquido che mostra affinità per le pareti di un vaso capillare immerso in una vaschetta contenente lo stesso liquido, risale spontaneamente all'interno del tubo come sospinto da una pressione capace di sostenere la massa d'acqua in contrapposizione alla forza di gravità. La risalita di acqua avviene fin quando si stabilisce un equilibrio tra pressione capillare e pressione idrostatica:

$$m \cdot g \cdot h = 2 \sigma \cos \theta / r \quad [1]$$

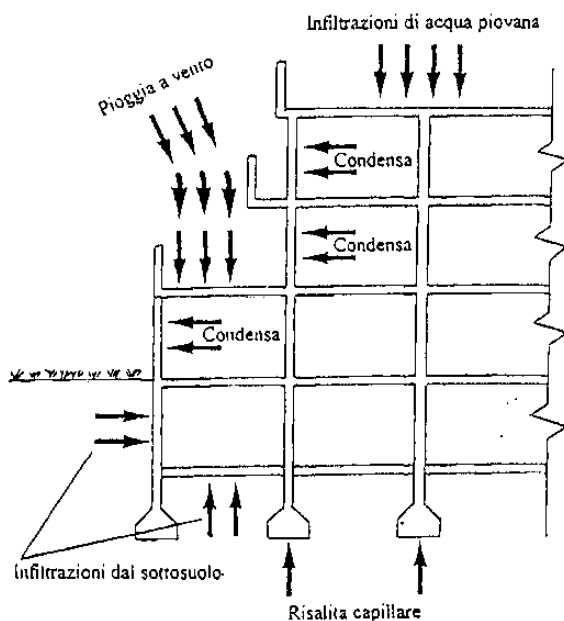


Fig. 1 Visione schematica delle cause che determinano la presenza di umidità nelle murature.

con: m = massa volumica dell'acqua
 g = accelerazione di gravità
 h = massima altezza di risalita capillare
 σ = tensione superficiale dell'acqua
 θ = angolo di contatto dell'acqua
 r = raggio del vaso capillare.

Approssimativamente l'altezza massima di risalita capillare dell'acqua vale:

$$h = 15 \cdot 10^{-6} / r \quad (2)$$

L'altezza massima di risalita capillare, quindi, dipende dalla dimensione dei pori del materiale costituente la muratura. Se si tiene conto che la dimensione media dei pori nei materiali da costruzione si aggira tra qualche micron e qualche decina di micron, dall'equazione [2] emerge che la massima altezza di risalita capillare può variare da qualche metro a qualche decina di metri. Nella realtà però - salvo qualche caso eccezionale - l'altezza di risalita capillare è sostanzialmente inferiore ai valori teorici. Le minori altezze di risalita riscontrate negli edifici sono da ascrivere all'evaporazione di acqua dalla muratura reale non tenute in conto nella definizione dell'equazione [2].

Dalle osservazioni condotte su edifici reali emerge che la risalita capillare avviene per saturazione di strati successivi posti ad altezza crescente, arrestandosi laddove si realizza un equilibrio tra acqua risalita per capillarità ed acqua evaporata. Generalmente sul paramento murario il punto massimo di risalita capillare è facilmente individuabile in quanto viene evidenziato da un segno di demarcazione che divide la parte inferiore del muro imbibita

di acqua da quella superiore che si presenta, invece, asciutta. La risalita capillare, inoltre, si manifesta con una maggiore intensità - a parità di tutte le condizioni - nei muri più spessi, i quali riescono ad adescare dal terreno un maggior quantitativo di acqua dei muri più sottili, ma ne smaltiscono una quantità equivalente a quella evaporata da questi ultimi.

Le osservazioni eseguite su edifici situati in zone caratterizzate da presenza di acqua nel sottosuolo hanno messo in evidenza che l'altezza di risalita capillare reale:

- nei pilastri isolati è pari all'incirca allo spessore del pilastro;
- nei muri perimetrali varia da circa 2 a circa 5 volte lo spessore del muro;
- nei muri di spina è pari a circa 2-6 volte lo spessore del muro.

L'acqua nel sottosuolo

L'acqua nel terreno può avere la sua origine:

- dalla presenza di una falda freatica;
- dall'acqua piovana assorbita o non sufficientemente raccolta e istradata;
- dall'acqua dispersa accidentalmente per la rottura di fognature, tubazioni, etc.

Nella prima situazione la presenza di acqua si registra durante tutto l'arco dell'anno ed interessa generalmente ed indistintamente tutti i muri perimetrali ed i muri di spina dell'edificio. L'umidità, inoltre, si manifesta in modo pressochè uniforme su tutti i paramenti, sebbene in quelli dei muri spessi ed esposti nelle zone a nord l'umidità risulta più evidente.

Quando l'umidità è determinata dall'imbibizione del terreno con acqua piovana i muri interessati

dal fenomeno sono soltanto quelli perimetrali. In genere le altezze di risalita variano considerevolmente raggiungendo i valori massimi durante i periodi più piovosi dell'anno ed annullandosi quasi completamente nel periodo estivo.

Infine, quando l'umidità è determinata dalla presenza di acqua accidentalmente dispersa sono solo i muri o le porzioni di muro a diretto contatto con il terreno coinvolto con la presenza di acqua dispersa ad essere interessati dal fenomeno.

Un attento sopralluogo dell'edificio interessato dalla presenza di umidità teso a rilevare i muri interessati dal fenomeno, il livello massimo di risalita e la sua eventuale costanza durante l'anno, le condizioni microclimatiche di insolazione e ventilazione, la percentuale di umidità in funzione dello spessore del paramento, risulta un'operazione indispensabile per stabilire le cause connesse con la presenza di umidità negli edifici; per stabilire, quindi, se essa è da ascrivere al fenomeno della risalita capillare, della condensa o delle infiltrazioni da pioggia. Un'attenta e corretta diagnosi dei fenomeni lamentati è indispensabile, cioè, per la definizione di un corretto intervento di manutenzione (4).

Gli interventi di risanamento

Per diminuire o eliminare gli inconvenienti connessi con la presenza di umidità di risalita dal terreno generalmente si interviene:

- per aumentare l'evaporazione dell'acqua dalle murature verso l'ambiente esterno;

- per ridurre o annullare il flusso di acqua che risale dal terreno;
- per ridurre il quantitativo di acqua adescato dalle fondazioni o dai muri controterra.

Nei paragrafi che seguono vengono presentate alcune tecniche di bonifica delle murature dall'umidità maggiormente utilizzate nella pratica.

I sifoni Knapen

I sifoni Knapen sono elementi prefabbricati provvisti di un canale centrale realizzati con materiali (terracotta, plastica, etc.) e forme diverse (triangoli, circolari, pentagonali), che vengono allocati in fori rettangolari (cm 7 x cm 9 circa) realizzati nella muratura da risanare (Fig. 2). I fori vengono generalmente realizzati ad una distanza dal piano di spiccato del muro superiore ai 15 cm e vengono disposti su una linea orizzontale in misura di tre per ogni metro lineare di muratura da trattare.

In presenza di murature particolarmente umide la disposizione dei fori può avvenire su due linee

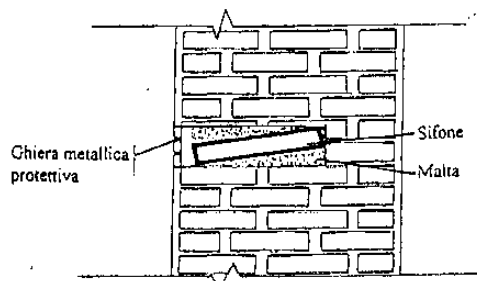


Fig. 2 Sezione schematica di una muratura dove è stato inserito un sifone Knapen

orizzontali parallele o nel caso di muri di grosso spessore si possono disporre a passo alternato su ambedue le facce del muro.

All'interno del foro si dispone un letto di malta opportunamente inclinato verso l'esterno sul quale viene successivamente sistemato il sifone, il quale viene spinto fino a farlo toccare sulla faccia interna del foro. Si proce-

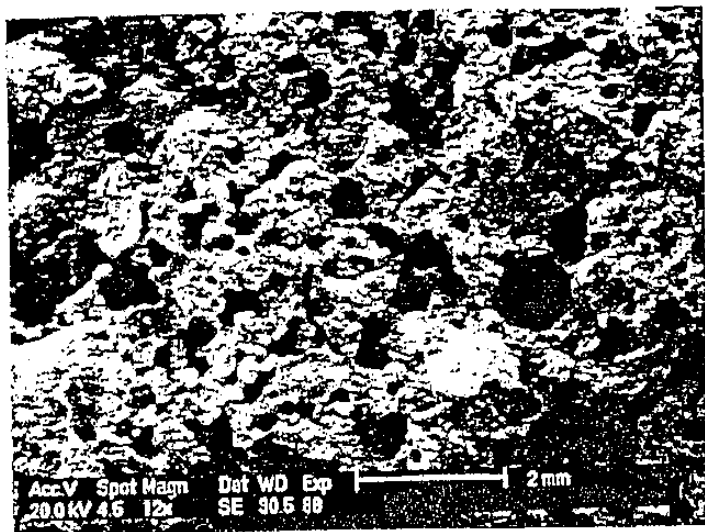


Fig. 3 Microfotografia al microscopio elettronico di un intonaco macroporoso

de, quindi, a fissare il sifone inglobandolo nella malta ed a sistemare la griglia di protezione in modo che crei un piano unico con il paramento esterno della muratura.

I sifoni Knapen hanno come obiettivo quello di aumentare lo smaltimento dell'acqua dalla muratura per evaporazione. Essi si basano sul principio che l'area esterna, più asciutta e quindi più leggera di quella che si trova nel sifone, sale all'interno del canale di aerazione del sifone spostando l'aria umida verso l'esterno.

Purtroppo, occorre segnalare che non sempre la tecnica dei sifoni Knapen ha sortito effetti benefici nei confronti delle murature reali.

Ad esempio è stato segnalato come il metodo non consenta di ottenere sufficienti risultati in mancanza di una buona ventilazione e in quei climi caratterizzati da U.R. dell'aria molto alte nel corso dell'anno (5).

Gli intonaci macroporosi

Nelle murature interessate dalla presenza di umidità dovuta ad acqua risaliente dalle fondazioni un'ulteriore tecnica, oltre quella presentata al paragrafo preceden-

te, per alleviare il carico di umidità consiste nell'applicare un intonaco costituito da uno o più strati di malte macroporose in grado di facilitare - proprio grazie all'elevata porosità - l'evaporazione dell'umidità dal muro verso l'ambiente esterno. L'applicazione dell'intonaco macroporoso, quindi, non elimina la risalita capillare di acqua nella muratura, ma favorisce soltanto lo smaltimento dell'umidità, soprattutto nei periodi della stagione calda e secca. Inoltre, la particolare struttura caratterizzata dalla presenza di cavità omogeneamente disseminate nella matrice legante (Fig. 3) consente agli intonaci macroporosi di allentare le tensioni dirompenti dovute alla formazione del ghiaccio, evitando esfoliazioni e distacchi superficiali della stabilità.

L'impiego degli intonaci macroporosi, tuttavia, se da una parte consente un facile smaltimento dell'umidità di risalita, dall'altra non può impedire l'ingresso dell'acqua piovana nella muratura. Il risultato è che si otterrà un beneficio, in termini di deumidificazione della muratura, solo se essa è situata in zone caratterizzate da un clima in cui le giornate asciutte e ventilate preval-

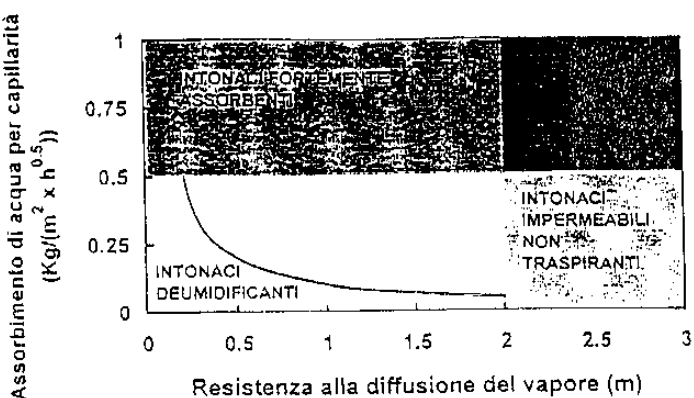


Fig. 4 Individuazione degli intonaci deumidificanti sulla base della resistenza alla diffusione del vapore e dell'assorbimento di acqua per capillarità

gono su quelle umide e piovose. D'altra parte occorre sottolineare che se si applicasse sull'intonaco macroporoso un rivestimento impermeabile per impedire l'ingresso dell'acqua piovana nel muro, ne conseguirebbe anche una maggiore difficoltà di evaporazione dell'umidità presente nel muro per effetto della risalita capillare.

Pertanto la soluzione migliore al problema della deumidificazione delle murature consiste nell'applicazione di un intonaco macroporoso idrorepellente capace di impedire l'ingresso dell'acqua piovana liquida ed allo stesso tempo caratterizzato da una bassa resistenza alla diffusione del vapore, che consenta lo smaltimento dell'umidità presente nella muratura per effetto della risalita capillare.

La normativa tedesca DIN 4108 considera idonei per la protezione delle murature umide intonaci e rivestimenti protettivi superficiali caratterizzati dalle seguenti prestazioni (Fig. 4):

- resistenza alla diffusione del vapore (S_d) non superiore a 2 m equivalenti di aria;
- assorbimento di acqua per capillarità (A) non superiore a $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$;
- il prodotto della resistenza alla diffusione del vapore (S_d) per l'assorbimento di acqua per

capillarità (A) deve essere minore di 0.1.

La resistenza alla diffusione del vapore

Per quanto attiene al primo requisito - resistenza alla diffusione del vapore (S_d) minore di 2 m equivalenti di aria - esso potrebbe essere conseguito realizzando un intonaco a calce di spessore pari a 2.5-3.0 cm caratterizzato da un valore di S_d solitamente variabile tra 0.2 e 0.4 m. Tuttavia, questa soluzione non è praticabile giacché, essendo la calce un legante di tipo aereo, l'intonaco risulterebbe dilavabile dall'azione dell'acqua piovana. Allo stesso modo deve essere escluso per la deumidificazione delle murature l'impiego di intonaci di solo cemento caratterizzati da un valore di S_d maggiore di 2 m già per spessori di applicazione di 2 cm.

Quindi, il conseguimento di una resistenza alla diffusione del vapore minore di 2 m può essere realizzata con leganti più deboli del cemento portland, ma non dilavabili dall'azione dell'acqua piovana (ad esempio calce idraulica), o con miscele di cemento e calce aerea (intonaci di malta "bastarda"), oppure "indebolendo" gli intonaci di solo cemento introducendo nella matrice legante - mediante l'impiego di

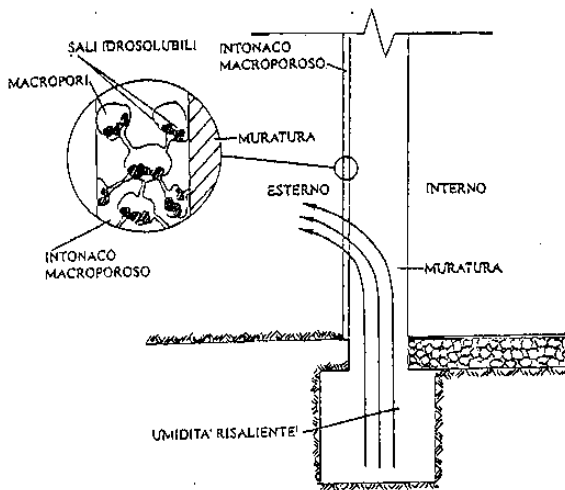


Fig. 5 Visione schematica di un intonaco macroporoso

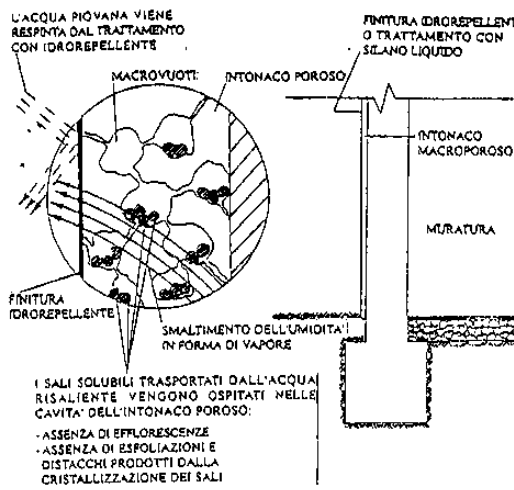


Fig. 6 Visione schematica di un intonaco macroporoso idrorepellente

tensioattivi - un sistema di microbolle opportunamente spaziate (100-200 μm) che consenta una facile trasmissione del vapore. Questo sistema ha il vantaggio di creare all'interno della matrice legante una serie di cavità nelle quali possono essere "ospitati" i sali presenti nel terreno, o nei laterizi, e che vengono trasportati dall'acqua risaliente sulla superficie della muratura. Queste cavità, inoltre, possono attenuare le pressioni indotte dalla cristallizzazione dei suddetti sali evitando esfoliazioni e distacchi dell'intonaco (Fig. 5).

L'assorbimento di acqua per capillarità

Per quanto attiene al secondo requisito - assorbimento d'acqua (A) non superiore a 0.5 kg/($\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$) - esso può essere conseguito applicando sull'intonaco poroso un trattamento superficiale non pellicolante idrofobo, capace di impedire l'assorbimento di acqua senza alterare però le proprietà di trasmissione del vapore ($S_v \leq 2 \text{ m}$). Nella pratica la riduzione dell'assorbimento di acqua si consegue:

- applicando sulla superficie dell'intonaco (a spruzzo o a pennello) un trattamento liquido a base

di alchil-alcossi silani (per brevità nel seguito silani) che ha la peculiarità di modificare l'angolo di contatto tra acqua ed intonaco macroporoso senza ostacolare la trasmissione del vapore (Fig. 6);

- applicando sulla superficie dell'intonaco una finitura cementizia (1-2 mm) additivata con silani predisposti in polvere (Fig. 6).

Gli sbarramenti fisici alla risalita capillare

Gli sbarramenti fisici alla risalita capillare hanno come obiettivo quello di interrompere il flusso di acqua risalente per capillarità dalle fondazioni. L'intervento ovviamente è imposto dalla impossibilità pratica di intervenire direttamente sulle fondazioni per arrestare la risalita capillare di umidità.

Se l'edificio sul quale occorre intervenire non possiede piani interrati allora sarà sufficiente realizzare nella muratura uno sbarramento orizzontale subito al di sotto al piano di calpestio. Nel caso, invece, che esistano degli scantinati, allo sbarramento orizzontale bisognerà accoppiare degli interventi di sbarramento verticale che impediscano l'ingresso dell'acqua dalle

zone di muratura a diretto contatto come il terreno.

Gli sbarramenti orizzontali

La tecnica degli sbarramenti orizzontali viene largamente impiegata già da molti anni. Essa negli anni passati veniva effettuata manualmente rimuovendo due corsi di mattoni per tratti lunghi circa 1 m nella zona basale della muratura; nella fessura realizzata venivano successivamente inseriti dei fogli di materiale impermeabile, generalmente piombo o rame. Si procedeva, infine, alla chiusura della fessura mediante la realizzazione di uno o più filari di mattoni che venivano contrastati con le zeppe di legno contro la muratura preesi-

stente al fine di evitare cedimenti della massa muraria.

Attualmente il taglio della muratura viene eseguita con seghe speciali costituite da una catena che scorre tra due puleggie dentate di cui una motrice (Fig. 7). Generalmente il taglio con la sega a catena è indicato per le murature costituite da blocchi disposti su filari orizzontali e nei quali il giunto di malta ha spessore superiore

al centimetro. In questi casi, infatti, essendo lo spessore della sega di 8 mm il taglio

viene eseguito esclusivamente nel giunto di malta. Queste condizioni si verificano nella pratica nei paramenti realizzati con mattoni o con blocchi di pietra squadrati realizzati con pietra tenera. Nelle murature in calcstruzzo oppure nei paramenti realizzati con pietre dure si può ricorrere convenientemente al sistema del taglio a filo. La macchina è costituita da una puleggia che fa ruotare un filo segante, dotato di sfere di acciaio diamantate, tenuto in tensione da un sistema idraulico. Il taglio viene realizzato inserendo in due fori praticati nell'elemento da tagliare i due estremi del filo segante che vengono poi congiunti sulla puleggia (Fig. 8).

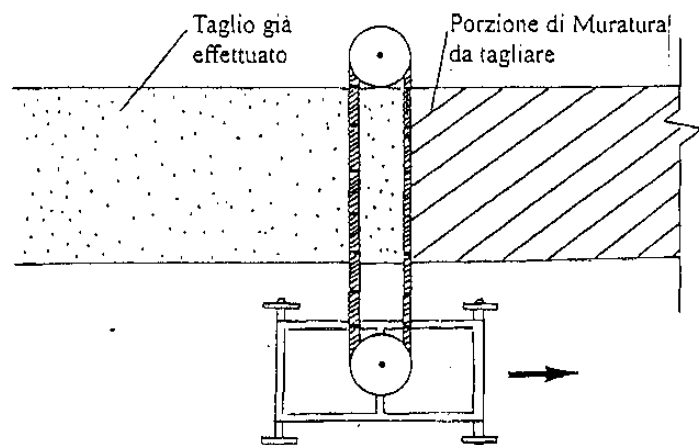


Fig. 7 Visione schematica di una sega a catena

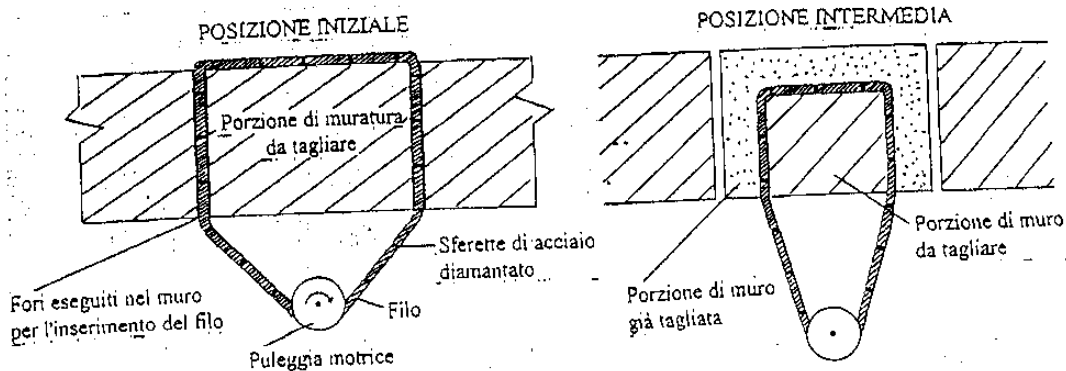


Fig. 8 Visione schematica di una sega a filo

La realizzazione del taglio all'interno della massa muraria può anche avvenire realizzando, mediante una carotatrice, una serie di fori di diametro variabile da 40 a 100 mm. I fori si realizzano in due fasi: nella prima essi vengono eseguiti con un interasse prescelto in modo che nella seconda fase di perforazione il foro eseguito nella mezzeria dell'interasse dei primi due vada a sovrapporsi parzialmente con questi (Fig. 9).

Questo tipo di tecnica ha il vantaggio rispetto al taglio con sega di ridurre le vibrazioni indotte sull'edificio e di poter effettuare tagli anche su murature di spessore superiore ai 150 cm, che rappresenta il limite massimo per il taglio con sega.

Indipendentemente dal tipo di sega o di carotatrice impiegato, dopo aver eseguito il taglio di un tratto di muratura si inserisce una lastra impermeabile in vetroresina (solitamente sabbata

per migliorarne l'aderenza al supporto murario) oppure un foglio di polietilene oppure una guaina bituminosa. Quindi, prima di eseguire il taglio nel cantiere successivo vengono forzati nella soluzione di continuità creata, dei cunei che assolvono ad una funzione statica impedendo abbassamenti della muratura. Infine, nel taglio vengono inseriti e fissati mediante stucco dei tubicini attraverso i quali vengono iniettate malte cementizie a ritiro compensato, malte cementizie idrorepellenti, oppure malte epossidiche (Fig. 10, 11). E' inutile sottolineare che per una corretta riuscita dell'intervento occorre che ci sia una sufficiente sovrapposizione dei cantieri limitrofi, in modo che le stesse guaine possano essere convenientemente sovrapposte evitando soluzioni di continuità tra i materiali impiegati che comprometterebbero l'intervento di bonifica.

Un intervento molto simile a

quello descritto consiste nell'inserimento nella muratura da bonificare di lamiera di acciaio (1.5 mm circa) al cromo mediante un martello pneumatico che imprime pressione di circa 40 kg/cm² con frequenze di 1450 colpi al minuto. Questo sistema consente di realizzare lo sbarramento orizzontale senza dover ricorrere al taglio della muratura anche in paramenti che presentano interruzioni del giunto di malta per la presenza di conci lapidei. La lamiera, infatti, è capace di tagliare anche gli elementi di laterizio o di pietra. L'impiego dell'acciaio al cromo, inoltre, impedisce che le lamiere possano essere interessate dalla corrosione.

I procedimenti di sbarramento orizzontale appena discussi sono in grado di realizzare un'efficace barriera nei confronti dell'umidità di risalita. Tuttavia, non sempre è possibile realizzare questo intervento, il quale di-

pende strettamente alla possibilità di eseguire il taglio nella muratura da bonificare. Il principale impedimento al taglio è rappresentato dalla tipologia del muro; il taglio risulta, infatti, di difficile esecuzione nelle murature in pietra dura realizzate con blocchi non squadri e non disposti su filari orizzontali paralleli. Inoltre, è opinione diffusa che la presenza del taglio passante nella muratura e l'inserimento di una lastra impermeabile possa risultare pericolosa negli edifici ubicati in zona sismica giacché il taglio costituirebbe una sorta di "cerniera" alla base dell'edificio.

Pertanto, quando si debbono bonificare dall'umidità edifici realizzati con pietre dure non squadrate, disposti su filari non paralleli e ubicate in zona sismica si interviene realizzando una serie di fori (diametro 5-30 mm; profondità circa 2/3 dello spessore del muro), disposti lungo una linea orizzontale (o realizzata nei giunti di malta) ad interasse di circa 15 cm, all'interno dei quali vengono iniettate speciali resine o prodotti idrorepellenti. Le iniezioni hanno l'obiettivo di annullare la pressione capillare dell'acqua risalente dal terreno. Questo obiettivo lo si persegue:

- ocludendo completamente i pori del materiale di cui è costituita la muratura. Questa tecnica si basa sull'impiego di resine

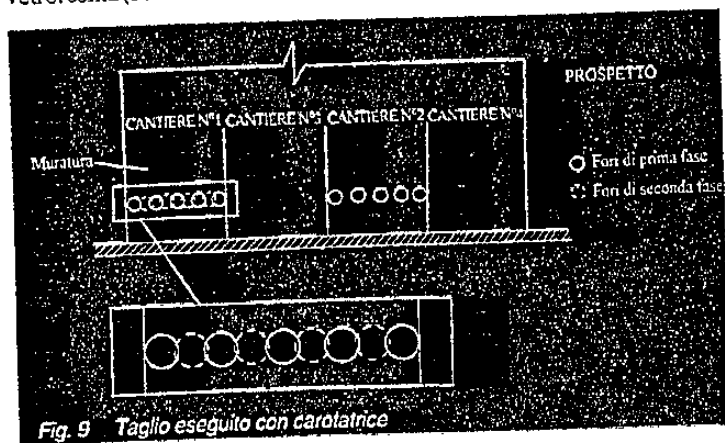


Fig. 9 Taglio eseguito con carotatrice

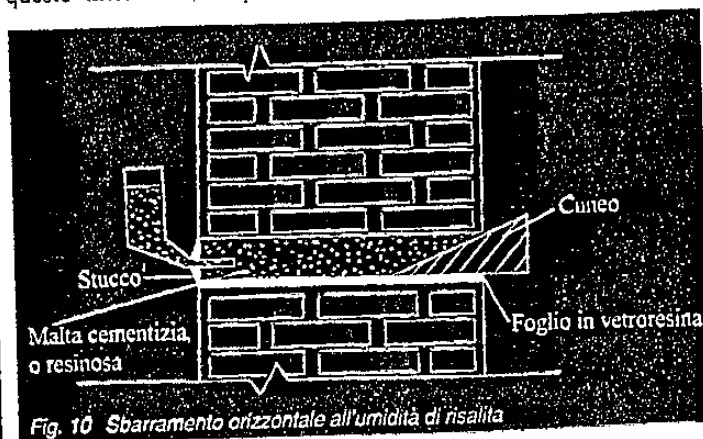


Fig. 10 Sbarramento orizzontale all'umidità di risalita

eossidiche o siliciche a bassa viscosità capaci di polimerizzare in presenza d'acqua;

- rendendo le pareti dei vasi capillari idrofobi, impedendo la nascita delle forze di adesione responsabili del fenomeno della risalita capillare. Questa tecnica si basa sull'impiego di sostanze idrorepellenti, generalmente alchil-alcossisilani utilizzati puri o mescolati assieme ad acqua e cemento per il confezionamento di boiacche idrofughe.

Indipendentemente dal prodotto impiegato, l'iniezione all'interno del muro può avvenire a pressione oppure per gravità. Nelle iniezioni a pressione generalmente i diametri dei fori sono di 5-10 mm e la pressione va regolata in base allo stato della muratura. Di solito si inizia iniettando alla pressione di 1 atm per arrivare a pressioni di 3-4 atm nella fase finale. Queste pressioni, che debbono essere controllate mediante un manometro, non debbono essere mantenute per più di 30-45 secondi al fine di evitare la nascita di fessurazioni

o dissesti nella massa muraria. Nelle iniezioni per gravità, invece, non è richiesta alcuna attrezzatura pompante; il materiale viene iniettato a lenta diffusione attraverso delle cartucce, munite di ugelli, collegate al serbatoio che contiene il liquido (Fig. 12).

Gli sbarramenti verticali

Quando nell'edificio sono presenti piani interrati per l'eliminazione completa dell'umidità degli ambienti occorre associare agli sbarramenti orizzontali per eliminare la risalita capillare di acqua, gli sbarramenti verticali per bloccare l'ingresso dell'acqua nelle murature a diretto contatto con il terreno.

Gli sbarramenti verticali possono essere realizzati con formulati epossidici, oppure con malte di cemento idrorepellenti o con prodotti cementizi bicomponenti additivati con lattici acrilici.

Generalmente se il muro controterra è di buona fattura e l'inconveniente lamentato è legato esclusivamente ad eccesso

di umidità del paramento non accompagnato da presenza di acqua superficiale, l'intervento di bonifica può effettuarsi applicando sulla superficie interna del muro un intonaco cementizio idrorepellente. Per ottenere un intervento di sicura efficacia è opportuno realizzare l'intonaco in più strati (Fig. 13). La tecnica prevede l'applicazione di due strati di malta - confezionati con un aggregato fine ($D_{max} \leq 1 \text{ mm}$)



Fig. 11 Doppio sbarramento orizzontale per impedire la risalita capillare dell'acqua in una muratura a Venezia

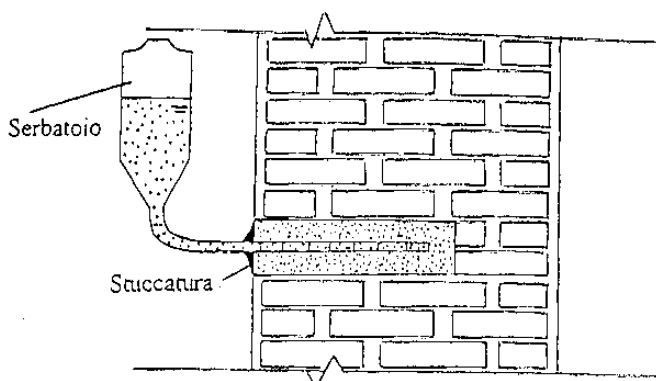


Fig. 12 Schema di iniezione per gravità

- idrorepellenti in forma di rinzaffo (4-5 mm di spessore) intervallati da uno strato di malta idrofuga di spessore pari a 7-8 mm. Il particolare sistema di posa assicura una mancanza totale di continuità tra i pori che unitamente all'impiego dell'idrorepellente garantisce una buona tenuta all'acqua (6).

Nel caso di muri in calcestruzzo che presentano una buona finitu-

ra superficiale, lo sbarramento verticale può essere realizzato con una malta cementizia impermeabile ed elastica applicata direttamente sulla superficie del conglomerato cementizio (Fig. 14). L'impermeabilità di questi rivestimenti è garantita dalla presenza di un lattice acrilico che garantisce la tenuta anche in supporti fessurati (ampiezza della fessura < 0.5 mm).

Qualora il muro controterra fos-

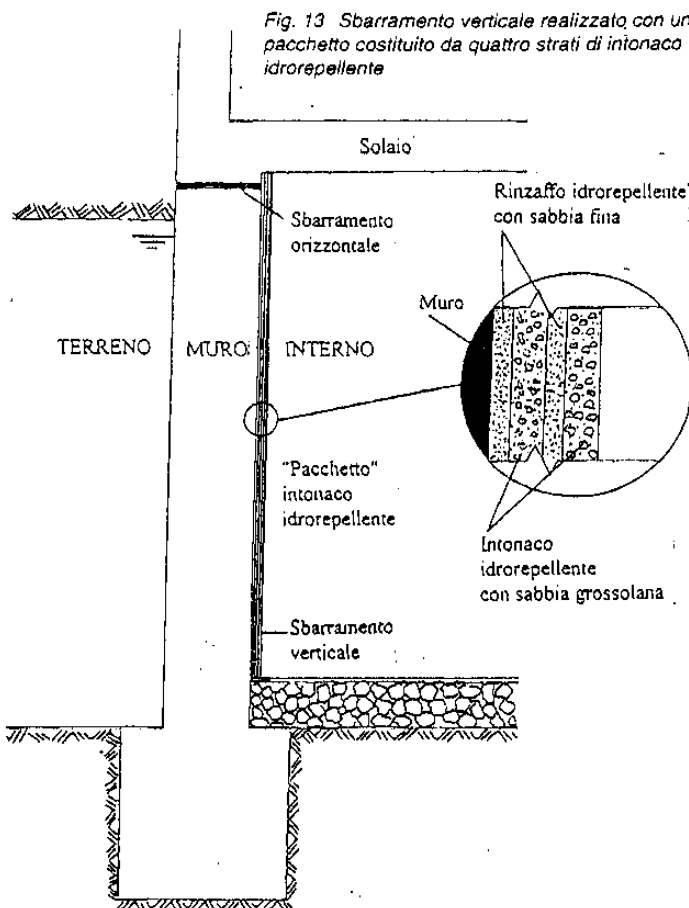


Fig. 13 Sbarramento verticale realizzato con un pacchetto costituito da quattro strati di intonaco idrorepellente

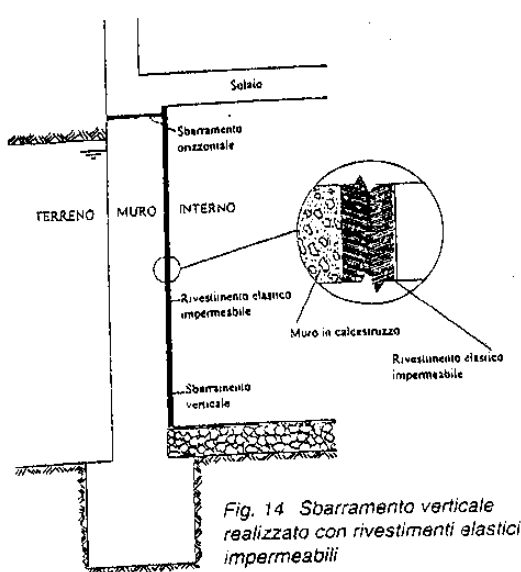


Fig. 14 Sbarramento verticale realizzato con rivestimenti elastici impermeabili

se realizzato con materiali scadenti di eccessiva porosità, sarà opportuno ricorrere ad interventi di sbarramento più radicali impiegando malte cementizie impermeabili a ritiro compensato. Le malte vengono applicate dopo aver opportunamente scarificato l'intonaco preesistente ed aver infisso nel muro controterra una serie di chiodi disposti ai vertici di un reticolo a maglia quadrata di lato 50-100 cm sulla cui testa viene

legata una rete elettrosaldata (Fig. 15). L'intervento può essere completato con una pittura di cemento idrofugo applicata in spessore di qualche mm oppure con un rivestimento cementizio elastico. Un efficace sbarramento verticale lo si ottiene con la tecnica sopra descritta impiegando un formulato epossidico in luogo della malta a ritiro compensato. Generalmente sullo strato resinoso viene successivamente

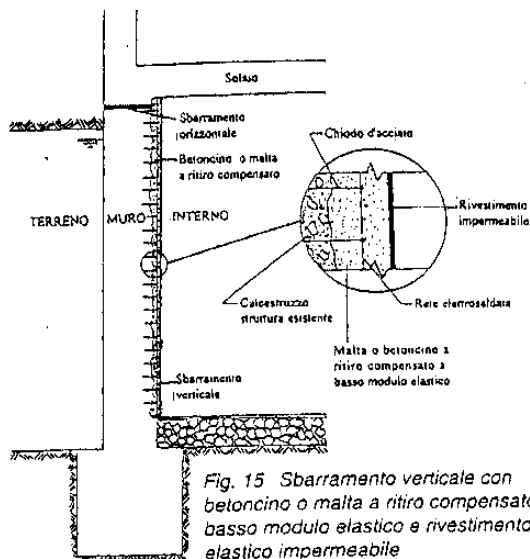


Fig. 15 Sbarramento verticale con betoncino o malta a ritiro compensato a basso modulo elastico e rivestimento elastico impermeabile

applicato (Fig. 16) un primer che favorisce l'aderenza dell'intonaco di finitura. E' da segnalare, infine, che quando lo sbarramento verticale deve essere realizzato su zone limitate soprattutto quando si debbono risanare fessure nei paramenti si può ricorrere ad iniezioni (Fig. 17) di resine epossidiche a bassa viscosità.

La tecnica dell'elettro-osmosi ha come obiettivo quello di annullare

oppure di invertire il flusso dell'umidità di risalita e si basa sulla considerazione che fra una muratura umida ed il terreno esiste sempre una differenza di potenziale elettrico (d.d.p.). A causa di questa d.d.p. (variabile da qualche decina di millivolt a qualche centinaio di millivolt) le molecole di acqua tendono a spostarsi dalle zone a potenziale positivo verso quelle a potenziale negativo. Nel sistema

muratura-terreno la struttura assume potenziale negativo rispetto al terreno; pertanto, alla risalita dell'acqua per capillarità si associa un flusso ascendente di umidità di natura elettrosmotica.

L'elettrosmosi

Sulla base delle considerazioni sopraesposte sono state messe a punto delle tecniche per sfruttare le d.d.p. naturali (elettrosmosi passiva), o generate dall'impiego di corrente elettrica (elettrosmosi attiva), per invertire il flusso dell'acqua dalla muratura verso il terreno: ciò può essere realizzato invertendo la polarità del muro da prosciugare che diventa positivo, e quella del terreno che diventa negativo. Il sistema passivo ha come obiettivo quello di cortocircuitare il muro all'altezza voluta con una zona del terreno a potenziale maggiore rispetto a quello del piano delle fondazioni. La cortocircuitazione consente alla muratura di assumere potenziale positivo rispetto al terreno, invertendo il flusso dell'acqua che migrerà pertanto verso le fondazioni prosciugando la muratura. L'intervento di bonifica con elettrosmosi passiva si realizza

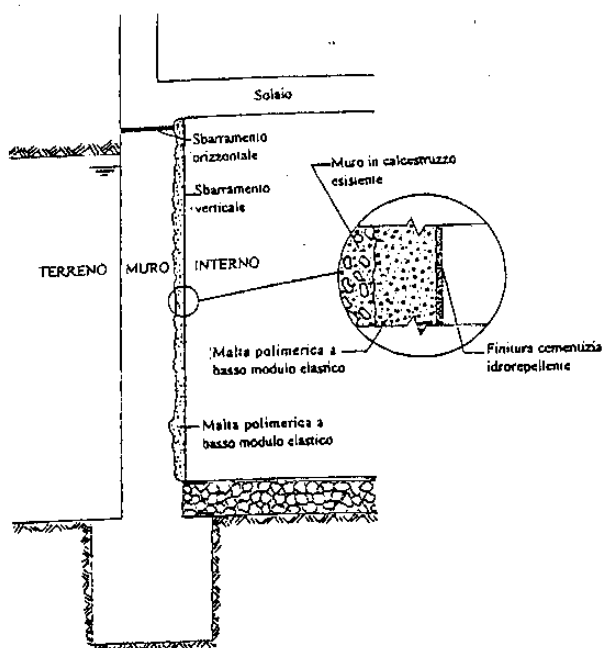


Fig. 16 Sbarramento verticale con malta polimerica a basso modulo elastico e finitura cementizia idrorepellente

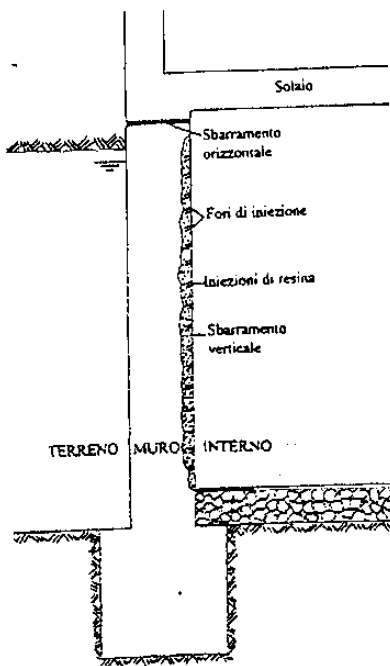


Fig. 17 Sbarramento verticale eseguito mediante iniezioni di resina

nella pratica eseguendo una traccia orizzontale internamente oppure esternamente al muro ad un'altezza di circa 80 cm dal piano di campagna. In corrispondenza di questa traccia, che può essere eseguita anche su entrambe le facce del muro se questo dovesse superare i 60 cm di spessore, vengono eseguiti una serie

campagna) con uno strato di terreno a profondità superiore al piano fondale. Come si può notare nella Figura 19 il potenziale in (2) è uguale al potenziale in (3) il quale è maggiore del potenziale di (1):

$$E_{(3)} = E_{(2)} > E_{(1)} \quad [3]$$

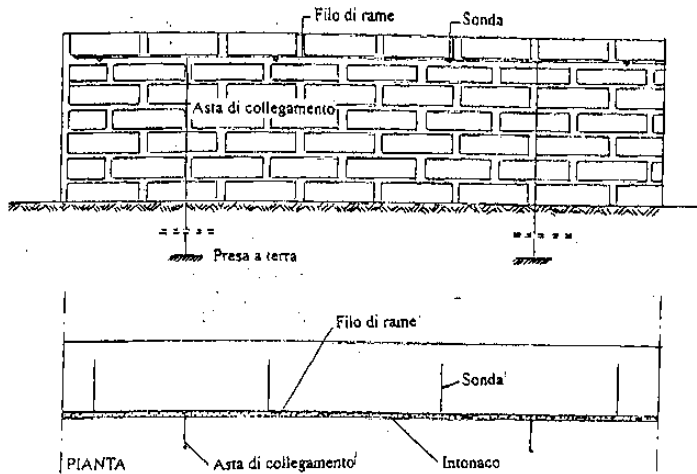


Fig. 18 Schema pratico di realizzazione del sistema di elettro-osmosi passiva

di fori (interasse 50 cm), all'interno dei quali vengono alloggiati degli elementi metallici tutti collegati da un filo di rame, connesso a sua volta con aste metalliche infisse nel terreno che fungono da prese a terra (Fig. 18).

In Fig. 19 è riportato uno schema elettrico semplificato ottenuto cortocircuitando la muratura (a 80 cm di altezza dal piano di

Pertanto, il terreno in prossimità della fondazione (1) a potenziale minore rispetto alla muratura assumerà polarità negativa; la muratura, invece, a polarità positiva determinerà un flusso di acqua verso le fondazioni che garantirà il prosciugamento del muro. Con il metodo dell'elettro-osmosi passiva, tuttavia, si riesce ad eliminare la sola umidità risaliente di natura elet-

tro-osmotica e non quella determinata dal fenomeno della capillarità. Inoltre, a questa tecnica è stato obiettato di non eliminare completamente le d.d.p. tra murature e terreno giacché queste sono imputabili non solo al fenomeno elettro-osmotico, ma anche ai gradienti di concentrazione salina esistenti nelle murature e responsabili dei flussi ascendenti di umidità.

Per i motivi sopracitati molto spesso si ricorre alla tecnica delle elettro-osmosi attiva. Il sistema attivo consiste nel creare un circuito elettrico, simile a quello real-

tesa a stabilire l'intensità di corrente che alimenta il circuito. Valori di corrente inferiori a 10 mA possono essere indice di una elevata resistenza opposta dalla muratura al passaggio di corrente e quindi di un esiguo flusso di acqua non sufficiente a bonificare la muratura umida.

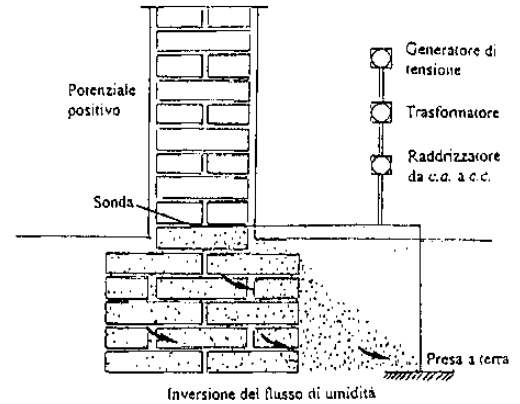


Fig. 20 Inversione del flusso di acqua con la tecnica dell'elettro-osmosi attiva

passiva, attraverso il quale si fa passare una corrente (solitamente di intensità pari a 20-30 mA) a basso voltaggio in modo da invertire la d.d.p. tra muratura e terreno e quindi anche la direzione dell'acqua (Fig. 20).

Praticamente il circuito elettrico (Fig. 21) viene alimentato da un generatore di tensione corredato da un trasformatore e da un raddrizzatore che consente il mantenimento nell'impianto di una corrente continua trasformando quella alternata del generatore. Il metodo dell'elettro-osmosi attiva non necessita di manutenzione, ma deve essere sottoposto ad una costante sorveglianza tramite un'attenta lettura dei dati

BIBLIOGRAFIA

- (1) G. Cigni, B. Codacci-Pisanelli, "Umidità e degrado negli edifici. Diagnosi e Rimedi", Edizioni Kappa, Roma, (1987).
- (2) M. Collepari, L. Coppola, "I materiali negli edifici storici. Degrado e restauro", Ed. Enco, (1995).
- (3) L. Massidda, "Materiali lapidei", capitolo 11, da "Manuale di scienza dei materiali", Ed. Mc Graw Hill, in corso di pubblicazione.
- (4) P. Bianchi, "Umidità nei prefabbricati. Analisi e tecniche di prevenzione e risanamento", Be-Ma Editrice, (1994).
- (5) G. Costanza, "Il risanamento delle murature", Recupero e Conservazione, pag. 29-42, (1994).
- (6) F. Stronati, "La garanzia di una tenuta perfetta", Realtà Mapei, pg. 11-13, Dicembre (1995).

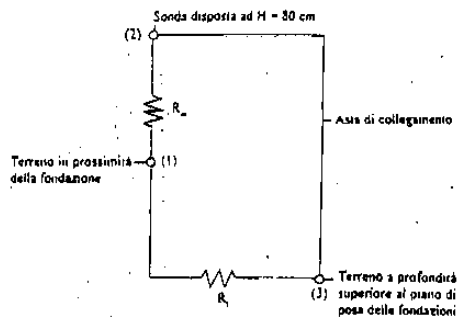


Fig. 19 Schema elettrico semplificato del sistema di elettro-osmosi passiva
(R_m = resistenza elettrica della muratura;
 R_t = resistenza elettrica del terreno)

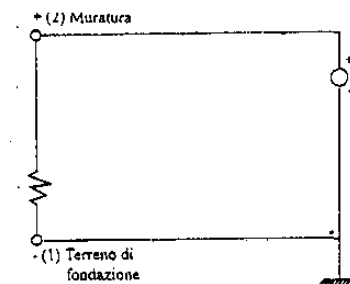


Fig. 21 Schema elettrico semplificato dell'elettro-osmosi attiva