Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Edgardo Pinto Guerra

Risanamento di murature umide e degradate

Sintomi e cause - Rimedi - Soluzioni progettuali

Dario Flaccovio Editore

SECONDA EDIZIONE

- Lettura dei sintomi: umidità nell'aria, umidità nel muro, rigonfiamenti e distruzioni ✓
- Natura dei sali, meccanismi di distruzione, diagnosi, neutralizzazione ✓
- Prevenzione: salsedine marina, acque esterne superficiali, infiltrazioni, risalita ✓
- Soluzioni per risanamenti, tecniche speciali, verifica del risanamento ✓

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Edgardo Pinto Guerra

RISANAMENTO DI MURATURE UMIDE E DEGRADATE

Sintomi e cause – Rimedi – Soluzioni progettuali

Dario Flaccovio Editore

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

"Quelli che s'innamoran di pratica sanza scienza son
come 'l nocchier ch'entra in naviglio sanza timone o bussola,
che mai ha certezza dove si vada".
Lionardo da Vinci

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Edgardo Pinto Guerra
RISANAMENTO DI MURATURE UMIDE E DEGRADATE

ISBN 978-88-579-0089-6

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: giugno 2011

La casa e il tetto in legno : bioedilizia ed efficacia energetica / Andrea Piero Merlo … [et. al.]. - Palermo : D. Flaccovio, 2011
ISBN 978-88-579-0089-6
1. Strutture in legno. I. Merlo, Andrea Piero <1971->.
624.184 CDD-22 SBN Pal0234256
CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia ??????

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.
L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.
La fotocopiatura dei libri è un reato.
Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

INDICE

Presentazione alla seconda edizione ..... pag. 9
Prefazione ..... » 11

Parte Prima
Le cause e la diagnosi

1. Lo stato dell'arte
1.1. Generalità ..... » 17
1.2. Umidità: causa o conseguenza? ..... » 21
1.3. Gli edifici storico-artistici ..... » 22
1.4. Risanamento qualitativo o quantitativo ..... » 23

2. Leggere i tre sintomi
2.1. Generalità ..... » 27
2.2. Sintomo 1 – Umidità nell'aria di un locale ..... » 27
2.2.1. Umidità da infiltrazioni esterne ..... » 28
2.2.2. Umidità da sali igroscopici ..... » 29
2.2.3. Umidità da condensa ..... » 31
2.3. Sintomo 2 – Umidità nel muro. Bagnato, macchie e strisce bianche – La condizione di equilibrio ..... » 36
2.3.1. La condizione di equilibrio ..... » 36
2.3.2. Altezza e posizione della linea bianca ..... » 44
2.3.3. Macchie isolate o estese ..... » 49
2.4. Sintomo 3 – Rigonfiamenti e distruzioni – Danni del cemento ..... » 51
2.4.1. Intonaci distrutti o distaccati ..... » 54
2.4.2. Materiali disuguali ..... » 58
2.4.3. Calce su calce, cemento su cemento ..... » 59
2.4.4. Danni da ambiente marino ..... » 64
2.4.5. Conclusione ..... » 65

3. Provenienza dell'acqua e dei sali nei muri
3.1. Generalità ..... » 67
3.2. Acqua da infiltrazioni ..... » 67
3.2.1. Smaltimento acqua piovana ..... » 67
3.2.2. Acque sulle coperture ..... » 68
3.2.3. Acque da monte ..... » 71
3.2.4. Salsedine da burrasche marine ..... » 73
3.3. Acque da risalita capillare ..... » 74
3.4. Sali da attività umane ..... » 78
3.4.1. Sali da decomposizione organica ..... » 78
3.4.2. Sali da tubature e scarichi fognari ..... » 81
3.4.3. Sali da caseifici e salumifici ..... » 81
3.4.4. Sali da escrementi animali ..... » 82
3.4.5. Sali dalle strade ..... » 83
3.5. Acqua e sali da condensa ..... » 83
3.6. Sali dai materiali da costruzione ..... » 84

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

3.6.1. Sali dall'acqua d'impasto di malte e calcestruzzi ... » 84
3.6.2. Sali dai mattoni ... » 85
3.6.3. Sali dagli inerti ... » 87
3.6.4. Sali dai sottofondi di pavimentazioni lapidee ... » 88

4. Natura dei sali
4.1. Generalità ... » 89
4.2. I sali in soluzione ... » 90
4.3. La ri-cristallizzazione – I cristalloidrati ... » 94
4.4. L'igroscopia e la deliquescenza dei sali ... » 97
4.5. I sali più comuni nei muri ... » 99
4.5.1. I cloruri ... » 100
4.5.2. I solfati e i solfiti ... » 101
4.5.3. I nitrati e i nitriti ... » 104
4.5.4. I carbonati ... » 106
4.5.5. I sali complessi ... » 108

5. Meccanismi di distruzione
5.1. Generalità ... » 109
5.2. Degrado da cause chimiche ... » 110
5.2.1. Ettringite e thaumasite ... » 112
5.3. Degrado da cause fisiche ... » 114
5.3.1. Danni da cloruri ... » 118
5.3.2. Danni da solfati ... » 120
5.3.3. Danni da nitrati ... » 122

6. Diagnosi delle fonti dell'umidità e del degrado – le condizioni di abitabilità
6.1. Generalità ... » 123
6.2. Procedura generale per la diagnosi in situ ... » 125
6.2.1. Misura dell'umidità nel muro ... » 126
6.2.1.1. Metodi di misura ... » 127
6.2.2. Misura della risalita ... » 132
6.2.3. Misura della quantità di sali solubili in cantiere ... » 136
6.2.4. La termografia ... » 137
6.3. Analisi in laboratorio – Misure su campioni ... » 139
6.3.1. Determinazione della percentuale totale di sali solubili in laboratorio ... » 140
6.3.1.1. Il metodo della conduttività ... » 140
6.3.1.2. Il metodo della cromatografia ionica ... » 141
6.3.1.3. La diffrattometria a raggi X ... » 142
6.3.2. Prelievi dei campioni per l'analisi dei sali contaminanti ... » 142

Parte seconda
Gli interventi per un risanamento completo e permanente

7. Rassegna dei metodi per far fronte ai sali nei muri
7.1. Generalità ... » 147
7.2. Metodi basati sull'estrazione dei sali tramite impacchi ... » 151
7.2.1. Le tipologie di impacchi ... » 155

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

7.3. Metodi basati sulla neutralizzazione dei sali con converti-sali chimici ... » 159
7.3.1. Metodi basati sul rendere i sali incapaci di nuocere ... » 162
7.4. Metodi basati sull'impedire ai sali di cristallizzare ... » 163
7.4.1. L'impermeabilizzazione totale ... » 163
7.4.2. L'impermeabilizzazione con resine traspiranti non pellicolari o idrofobizzazione ... » 167
7.4.2.1. Le resine ... » 168
7.4.3. Conseguenze della idrofobizzazione ... » 171
7.5. Metodi basati sul far fronte ai sali con intonaci ... » 174
7.5.1. Aspetti generali ... » 174
7.5.2. Gli intonaci osmotici asciuganti ... » 176
7.5.2.1. Funzionamento degli intonaci osmotici asciuganti ... » 177
7.5.3. Gli intonaci risananti macroporosi assorbenti ... » 179
7.5.3.1. Intonaci macroporosi assorbenti su strati preliminari ... » 182
7.5.4. I sistemi risananti di intonaci secondo la UNI EN 998-1R ... » 182
7.5.5. Gli intonaci di sacrificio (o sacrificali) ... » 187
7.5.6. Gli intonaci di cocciopesto ... » 188
7.5.7. Cause di danneggiamento degli intonaci ... » 189
7.6. Metodi basati sul lavaggio dei sali ... » 190
7.6.1. Il lavaggio semplice ... » 190
7.6.2. Il lavaggio sotto vuoto o a depressione ... » 191
7.7. Risanamento mediante controllo delle condizioni ambientali ... » 192

8. Rassegna dei modi di prevenire l'ingresso di nuova acqua e di nuovi sali nei muri
8.1. Generalità ... » 195
8.2. Prevenire l'ingresso di salsedine marina ... » 196
8.3. Prevenire le acque esterne superficiali ... » 197
8.4. Prevenire le infiltrazioni orizzontali da muri contro terra ... » 198
8.5. Prevenire la risalita verticale ... » 200
8.5.1. Il metodo della aerazione preventiva ... » 201
8.5.1.1. L'aerazione preventiva con buchi aeranti ... » 201
8.5.1.2. L'aerazione preventiva con vespai aerati ... » 203
8.5.1.3. L'aerazione preventiva con scannafossi aeranti ... » 205
8.5.1.4. L'aerazione con intonaci evaporanti ... » 208
8.5.2. Il taglio fisico ... » 209
8.5.3. Le barriere a iniezione ... » 211
8.5.3.1. La barriera chimica o taglio chimico ... » 212
8.5.3.1.1. Metodi di riempimento ... » 214
8.5.3.2. Il taglio fisico-chimico e le boiacche ... » 217
8.5.3.3. Difficoltà della iniezione ... » 219
8.5.4. Il taglio elettrostatico o elettrosmosi attiva ... » 222
8.5.4.1. Le argille ... » 225
8.5.5. Effetti e conseguenze della barriera alla risalita ... » 228

9. Soluzioni per i risanamenti
9.1. Generalità ... » 233
9.2. Soluzioni per muri faccia a vista ... » 233

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

9.2.1. Premessa ... » 233
9.2.2. Le tipologie di soluzione ... » 234
9.2.3. Consolidamenti-impregnazioni-protezioni ... » 237
9.2.4. Il risciacquo ... » 239
9.2.5. Principali classi di intervento ... » 239
9.3. Soluzioni per sanare i muri intonacati ... » 241
9.3.1. Intonaci sali-trasportanti assorbenti deumidificanti ... » 242
9.3.2. Intonaci sali-bloccanti a norma UNI EN 998-1R ... » 243
9.4. La soluzione controparete ... » 244
9.5. Soluzioni per risanare i locali interrati e i muri contro terra ... » 248
9.6. Soluzioni per sanare i pavimenti ... » 256
9.7. Tecniche speciali per i muri a sacco ... » 260
9.7.1. I muri a sacco a paramento ... » 260
9.7.2. I muri interamente a sacco ... » 262
9.8. Tecniche speciali per i muri in blocchi portanti o in forati ... » 263
9.9. Prevenire la condensa ... » 264

10. Verifica quantitativa di un risanamento – percentuali di contaminazioni "pericolose" o "sicure"
10.1. Generalità ... » 267
10.2. Norme europee ... » 268
10.3. Proposta ... » 271

PARTE TERZA
Appendice

Nozioni sui fenomeni fisici
A.1. La porosità e la permeabilità ... » 275
A.1.1. Il coefficiente di imbibizione ... » 277
A.1.2. La permeabilità ... » 279
A.2. La capillarità e la risalita capillare ... » 280
A.2.1. Le forze molecolari – bagnato e non-bagnato ... » 281
A.2.2. La tensione superficiale ... » 283
A.2.3. La diffusione capillare ... » 285
A.2.4. La risalita capillare ... » 286
A.3. La traspirabilità ... » 288
A.4. La condensa ... » 291

Bibliografia ... » 293

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Presentazione
ALLA SECONDA EDIZIONE

All'apparire della prima edizione l'impostazione innovativa dell'argomento aveva suscitato apprezzamenti da parte della stampa specializzata. Nei tre anni successivi sono pervenuti all'autore numerosissimi riconoscimenti da parte di tutti i tipi di addetti ai lavori direttamente interessati, anche dall'estero. Infatti, l'opera viene specificamente citata con titolo e nome anche nel testo della seconda edizione di *Stone Conservation – An overview of current research* pubblicato dal Getty Conservation Institute, 2011 a cura di Eric Doehne, Clifford A. Price, testo molto considerato nella cultura anglo-sassone in materia. È motivo di grande conforto all'autore.
Questa seconda edizione offre una parziale ri-organizzazione dei capitoli per una esposizione ancora più chiara e agevole nonché diverse aggiunte e riferimenti di utile materiale informativo e grafico, anche innovativo.

Lo scopo primario del volume è sempre quello di essere uno strumento di consultazione per la pratica operativa e progettuale facilitando il giudizio sull'offerta commerciale. Parallelamente, vuole presentare le tecniche più avanzate per il risanamento su larga scala dei deterioramenti della superficie, intonacata o meno, della massa muraria di edifici comuni, storicamente importanti o meno, ma sempre parte della nostra eredità culturale.
Come il precedente, il volume non riguarda la tradizionale competenza del restauratore storico-artistico che si occupa della conservazione-restauro "fina" di superfici lapidee soltanto su microscala con pulizie, consolidamenti, ecc. Questi procedimenti esulano da questa trattazione, anche se, essendo molti dei fenomeni e delle cure comuni, ci sono inevitabilmente sovrapposizioni.
È da osservare che il persistente non-riconoscimento della distinzione tra queste due scale di intervento sul piano formale da parte della nostra cultura ufficiale, nonché da parte delle nostre Autorità, ha provocato, e provoca, una scarsa sua attenzione alle esigenze tecnico-normative della prima categoria. Questa lacuna è da sempre causa di grandi perdite di materiale di eredità culturale. Ringrazio i lettori.

Edgardo Pinto Guerra

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Prefazione

Già nel 420 a.C. Erodoto nota con disappunto la presenza di strisce bianche e macchie di umidità comunemente visibili sulle murature o sugli intonaci dei templi greci. Da allora, la colpa di questi deterioramenti del materiale murario è sempre stata attribuita genericamente alla "umidità". Si può dire che la maggior parte delle persone, tecnici compresi, con le quali si parla dell'argomento ne sia convinta. Pur tuttavia, da un punto di vista tecnico, così dicendo si tramanda un enorme equivoco: l'umidità, come comunemente intesa, anche se quasi sempre presente, non è affatto la responsabile *diretta* dei deterioramenti lamentati. Non è una *causa* ma bensì una *conseguenza* (tra le tante) dell'agire di altri fenomeni.

L'identificare un sintomo come origine dei danni causati da una malattia, e decidere di curarlo, vuol dire partire concettualmente con il piede sbagliato. La confusione tra le cure del sintomo e quelle della malattia comporterà facilmente l'andare incontro a fallimenti, come ve ne sono tanti.
In altre parole, bisogna porre al centro del discorso le *cause* dell'umidità piuttosto che l'umidità in sé. Curata la causa il sintomo scomparirà automaticamente.

Alle volte le conseguenze di scelte fatte sulla base di curare il falso obiettivo "umidità" possono essere pesanti: edifici e opere del nostro patrimonio hanno subìto irreversibili perdite che potevano forse essere evitate affrontando la questione nel modo corretto.

È necessario innanzitutto distinguere i due fenomeni: la responsabilità principale dei *danni* (esclusa la grande categoria dei gravissimi danni provocati dallo smog, cioè dalle cosiddette *croste nere*, o dal gelo) è da attribuirsi all'azione dei *sali solubili trasportati nella muratura dall'ingresso dell'acqua negli anni*, mentre la presenza di umidità vera e propria (esclusa la condensa) è dovuta sia all'ingresso di nuova acqua (compresa la risalita) sia alla presenza degli stessi sali.
Persino molto del degrado biologico del materiale causato da muschi, alghe, funghi e licheni dipende dalla quantità di sali nel substrato, in quanto spesso è di essi che si nutrono tali organismi.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Figura 1
Danni causati non dalla “umidità” di Venezia ma dal sale portato da spuma marina
e da acqua di mare in risalita capillare dalla laguna

Figura 2
Sali da evaporazione di risalita
in laboratorio in diversi mattoni

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Il ruolo fondamentale dei sali nel degrado è stato sempre riconosciuto dalla letteratura scientifica ma sembra non siano state tratte sufficienti conclusioni sul piano pratico operativo per manufatti architettonici comuni, mentre ciò è da sempre avvenuto per i restauri "fini" ricadenti sotto l'egida dello storico-artistico, riservati solo a manufatti di particolare pregio.

Porre il contenuto di sali nel muro come innovativo punto di riferimento consente di unificare e inquadrare in una unica visione l'argomento, di giustificare tecnicamente e di comprendere lo scopo e la ragione d'essere della diagnosi e di tutte le soluzioni di prevenzione e cura del fenomeno "umidità". Altrimenti, tutte le soluzioni offerte appariranno riferite solo ad aspetti specifici della questione, indipendenti, circoscritti e in apparenza scollegati gli uni dagli altri, generando il più delle volte confusione e difficoltà di comprensione del fenomeno globale.

Il testo è organizzato in tre parti con l'intento di presentare gli argomenti nel modo il più possibile ordinato, semplice e divulgativo:

- la prima parte descrive i sali, l'importanza e le conseguenze della loro penetrazione nelle murature e i danni che provocano in esse; inoltre, la diagnosi delle condizioni da sanare;
- la seconda parte esamina dettagliatamente le varie tecniche di cura e la loro applicabilità con i relativi vantaggi e svantaggi;
- la terza parte è una appendice di approfondimento dei termini e delle nozioni fondamentali ricorrenti nella materia.

L'auspicio è che l'architetto, l'ingegnere, il geometra progettista o l'impresario possano ricavare sufficienti nozioni per permetter loro di inquadrare tecnicamente in maniera corretta la questione e quindi di poter valutare criticamente le proposte tecnico-commerciali di un settore nel quale ancora abbondano facili terminologie, superficialità, approssimazioni e luoghi comuni. Per il progresso dell'Arte.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Parte Prima
Le cause e la diagnosi

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

1. LO STATO DELL'ARTE

1.1. Generalità

Nel settore del risanamento edile, che l'umidità, specialmente da risalita, bagni un muro è cosa nota, ma che il muro possa essere mantenuto bagnato prevalentemente dai soli sali presenti in esso, anche in assenza di risalita, non lo è quasi affatto. Pur essendo gli operatori del settore consapevoli dell'esistenza dei sali, sembra non essere preso in considerazione il fatto che essi sono la principale causa del degrado e delle distruzioni di un intonaco, dei mattoni o delle pietre di un muro. Di dette distruzioni viene generalmente ritenuta responsabile genericamente la "umidità". Ciò dimostra quanto sia vaga la separazione concettuale tra i fenomeni causati dai sali presenti da anni in un muro e quelli dovuti a una risalita d'acqua in atto, che porta sì umidità nel muro, ma che non è l'unico fenomeno che agisce.
La piena comprensione dei meccanismi realmente in atto non sembra essere ancora entrata nella comune prassi edilizia. Tanto meno ancora la corretta diagnostica dei fenomeni e i metodi con cui curarli permanentemente.
L'esperienza comune di chi pratica il settore "risanamento" sostiene questa valutazione. Anni di esperienza danno la sensazione che pochi operatori abbiano chiara la problematica. In moltissimi casi la questione si trova relegata nella categoria mentale del "fastidioso problema estetico" da lasciar risolvere all'impresa.

L'estratto del seguente articolo pubblicato su un quotidiano nazionale pochi anni fa in merito al restauro appena finito di un importante edificio storico è illuminante riguardo all'atteggiamento comune.

> È già a pezzi […] Intonaci che si staccano negli androni, ma anche all'interno della struttura restaurata di fresco. Chiazze scure sulle pareti gialline su cui da poco è stato apposto uno strato di "marmorino". […] Che cosa succede al […] grandioso progetto dell'architetto […] che si pensava fosse ormai terminato, tanto che si prospettava di aprire […] già il prossimo autunno?
> Dalla Regione minimizzano: "Abbiamo affidato una perizia al professor […], docente ed esperto di restauro dell'Università […]" – dice il direttore dei Beni culturali […] – "E sa che cosa è venuto fuori? Che i muri erano impregnati dei sali presenti nelle urine umane.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

> Lì un tempo c'erano le scuderie, e con i cavalli stavano gli stallieri: sa com'è, nella reggia non c'erano certo i gabinetti. E così, quei sali evaporando hanno spaccato la superficie degli intonaci. Adesso, nel giro di un mese, si rifarà il lavoro. Si tratterà di spendere 80mila euro in più. Certo, non sarà una tragedia: ma per questo incidente di percorso le imprese appaltatrici non hanno mai consegnato il cantiere.

Solo interpellando uno specialista del restauro la grande importanza dei sali (sicuramente in questo caso originati più dai cavalli che dagli stallieri) è stata apprezzata. Questa sottovalutazione sarà costata 80 mila euro, più il costo della perizia, il costo degli altri simili intonaci che saranno probabilmente da rifare tra breve, il tempo perso.

Bisognerebbe chiedersi come mai si sia verificato un simile "incidente di percorso" in un normale restauro edile, sopratutto se grande e importante. Gli operatori direttamente coinvolti erano tutti in buona fede. Infatti il motivo fondamentale è una lacuna culturale generalizzata dovuta al fatto che l'argomento "Umidità e danni da sali solubili, cause e rimedi" non viene generalmente insegnato *come tale* in un corso a sé stante nei percorsi universitari, di specializzazione o di Scuola edile, e raramente nei corsi avanzati di restauro, forse in quanto argomento interdisciplinare. I distinti aspetti della questione vengono compiutamente trattati in diversi corsi (Restauro architettonico, Scienza dei materiali, Chimica fisica, Ingegneria idraulica, Fisica, ecc.) ma sembra che essi non vengano mai configurati in una trattazione unica dell'argomento.

Il risultato è che, in assenza di formazione accademica, il vuoto culturale viene colmato dagli agenti rappresentanti delle grandi e piccole ditte, dalle quali vengono formati, che producono materiali edili per il risanamento e per il restauro, specialmente intonaci. In assenza di possibilità di valutazione critica ciò finisce per condizionare le scelte progettuali a tutti i livelli.
La maggior manchevolezza riscontrabile in questa "visione delle cose" circolante nel settore è la tesi di un *singolo* male denominato *umidità* da curare con *singola* cura. La non-distinzione fra i fenomeni dell'umidità causata dalla risalita in atto e i danni accumulati nel tempo dai sali portati dalla stessa risalita ha effetti nefasti. Nondimeno, le vere grandi problematiche connesse ai sali contenuti nel muro da sanare devono essere affrontate in qualche modo e le grandi aziende produttrici di intonaci lo fanno, ciascuna a modo proprio, comunicandolo chiaramente o meno.

I metodi principalmente adottati (da soli o in combinazione) dalla pratica progettuale ed edilizia comune per far fronte ai sali sono:

- cercare di renderli innocui chimicamente;
- cercare di assorbirli all'interno di intonaci macroporosi;

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

- cercare di bloccarli all'interno del muro con resine incorporate in pitture o intonaci;
- cercare di sciacquarli fuori dal muro con acqua deionizzata.

Nella pratica, nessuno di questi metodi si rivela efficace per risolvere il problema permanentemente, salvo casi di lieve contaminazione. Anche se non ci sono cifre ufficiali in merito, si può stimare che, nel caso degli intonaci, nel 40-50% dei casi la cura proposta non funziona per più di qualche anno, se non per più di qualche mese. A questo proposito la figura 1.1 mostra un intonaco fotografato a Venezia dopo pochi mesi dalla sua stesura. Per le facciavista non intonacate la percentuale non è stimabile ma i fallimenti sono sicuramente superiori.

Figura 1.1
Venezia. Nuovo intonaco assorbente distrutto nel giro di pochi mesi perché steso su muro molto contaminato da sali

La carenza di cultura nella materia sembra essere generale. Solo di recente (nel 2002) l'Unione Europea ne ha preso coscienza e ha cercato di colmare la lacuna istituendo specifiche ricerche[1] sulla possibilità di desalinizzare substrati mediante intonaci e impacchi. Obiettivo principale della ricerca è di "fornire a coloro che sono responsabili della manutenzione del patrimonio storico costruito (architetti, consulenti, proprietari e Autorità) chiare linee guida per la scelta di intonaci, più compatibili con, e resistenti, ai sali."
Tra gli obiettivi preliminari si trovano "l'elaborazione di un modello del movimento dei sali e del degrado da loro causato all'interfaccia substrato-intonaco" e "lo studio della cristallizzazione dei sali e delle forze espansive in questi sistemi", nonché "l'analisi dei meccanismi di degrado e delle condizioni nelle quali si verificano".

In altri paesi la ricerca della soluzione al problema è iniziata prima. Ad esempio in Australia, dove il problema "danni da sali" è gravissimo a causa dei particolari cicli climatici del luogo, le ricerche sulla possibilità di risolverlo alla radice estraendo e rimuovendo i sali sono state promosse dal governo nel 1975. Gli in-

[1] Progetti *Compass* e *Desalination*.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

tonaci sacrificali (oggetto delle recenti ricerche europee) sono stati sperimentati con limitati successi fino al 1998, anno in cui sono iniziate ricerche private basate sull'estrazione diretta mediante impacco di cellulosa modificata. Nel 2002, dopo due anni di verifica della validità del prodotto, è stato brevettato un impacco[2] adatto all'impiego edile su larga scala per tutti i muri e intonaci.

La nuova possibilità di riportare un muro al suo stato di pulizia originale invertendo il processo di contaminazione ha messo in mano ai tecnici un nuovo potente strumento nella progettazione di recuperi e di restauri. Rappresenta senza dubbio un grande passo avanti nella pratica edilizia corrente, progettuale e pratica. Anche la ricerca europea, nei progetti di cui sopra, sta prendendo coscienza che la vera soluzione sta negli impacchi.

Vista la possibilità di ridurre il contenuto salino dannoso diventa di forte attualità avere norme guida nazionali e internazionali di percentuali di riferimento di contaminazione (ad esempio si vedano le percentuali riportate dalla WTA tedesca nella tabella 10.1, i valori della tabella 10.2 delle norme austriache, le soglie per intervento di dissalazione secondo il Ministero della cultura francese della tabella 10.3).
Una proposta più esaustiva, ad avviso dell'autore, è quella illustrata alla tabella 10.4, che specifica maggiormente quanto già contemplato dal WTA nella tabella 10.1.
Riassumendo, tutte le proposte ritengono che un substrato può considerarsi *sano per la conservazione*, cioè non a rischio di degrado, quando il contenuto *totale* di sali solubili nei primi 2 cm della superficie è inferiore allo 0,20% in peso (si veda paragrafo 6.2.1 "Determinazione della percentuale totale di sali solubili in laboratorio").
Pertanto, nel contesto di questo volume, *sanare* vorrà dire ridurre lo stato di contaminazione del muro malato, ossia ridurre la quantità o l'effetto dannoso dei sali solubili in esso contenuti perché quelli in eccesso saranno stati estratti e rimossi, oppure perché gli stessi, seppur in quantità sconosciuta, saranno stati trattati in modo da non poter agire per causare danni.
Un muro si potrà considerare *risanato* quando sono state eliminate anche le fonti di nuova acqua esterna contenente sali che potrebbero ristabilire la situazione di contaminazione. Sanare temporaneamente può essere relativamente facile, risanare davvero molto più difficile.
Vi sono molte situazioni temporanee nelle quali si ha un substrato sano ma non risanato.

[2] L'unico impacco di grande efficacia a larga scala edile ad oggi sul mercato.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

1.2. Umidità: causa o conseguenza?

Non c'è parola più comune e allo stesso tempo più sfuggente di *umidità*. Usata correttamente descrive uno stato. Affermare "c'è umidità in questa stanza" oppure "questo muro è umido" è corretto.
Allo stesso tempo, la parola viene spesso impiegata come *causa* di fenomeni: dichiarare "l'umidità mi ha distrutto la coperta nell'armadio" sembra ovvio ma non è esatto. In realtà la lana è marcita in quanto distrutta da muffe che hanno potuto proliferare grazie all'ambiente umido.
Si potrà osservare che la distinzione è noiosa e pedante in quanto agli effetti pratici il risultato finale è lo stesso: concettualmente non è affatto così e il non farla genera infinita confusione.

L'umidità come causa viene comunemente indicata a sproposito in tema di danni a muri, stucchi o affreschi. Ad esempio affermare che "l'umidità ha causato danni al muro o all'intonaco (o all'affresco)" è tecnicamente errato e fuorviante perché gli attori della reale catena causa-effetto sono diversi e più complessi.
Le affermazioni corrette sarebbero: "l'acqua che entra ancora oggi nel muro ha trasportato in esso sali solubili negli anni. L'acqua che continua a entrare e i sali nel muro provocano l'umidità oggi presente. L'azione dei sali al variare delle stagioni negli anni ha distrutto l'intonaco (o danneggiato lo stucco)", oppure "la risalita capillare ha imbibito d'acqua il muro antico costruito con malta aerea contenente gesso. La presenza dell'acqua ha sia indebolito la malta aerea, che causato reazioni chimiche che hanno prodotto sali di ettringite e di thaumasite (si veda il paragrafo 5.2 "Degrado da cause chimiche") con i solfati del gesso. Questi sali hanno rotto la malta e danneggiato l'affresco" (figura 1.2).

Figura 1.2
Foto di stucchi e affreschi distrutti non dall'umidità ma da sali, probabilmente di ettringite e di thaumasite, provocati dal contatto gesso/calce in presenza di umidità

È estremamente importante rendersi conto che non è mai l'umidità che agisce direttamente nel causare danni: sono i materiali che, trovandosi in situazioni cau-

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

sate da altri fattori, alcuni dei quali generano anche umidità, subiscono trasformazioni dannose. L'umidità è sempre una conseguenza, non una causa.
Per un risanamento permanente vanno posti in essere metodi per eliminare o trattare le cause. Dopo, il sintomo sparirà automaticamente. Senza avere chiara questa fondamentale distinzione si cade in equivoci che possono avere ripercussioni pratiche anche molto gravi.

1.3. Gli edifici storico-artistici

Gli edifici storici sono soggetti alle stesse condizioni d'impiego, decadimento, manutenzione, conservazione e di restauro di qualsiasi altro edificio, con in più un valore aggiunto non materiale. Questi edifici possono essere grandi e importanti, ma più spesso si tratta di edilizia "povera", non per questo meno antichi e ricchi di storia e di tradizioni che devono essere rispettate.

Le scelte progettuali di conservazione-restauro devono sempre tener conto delle loro peculiarità attraverso analisi, valutazioni e trattamenti speciali in aggiunta a quelle di un edificio moderno; in particolare, se devono essere reimpiegati, deve essere rispettata la loro natura originaria.

Si può dire che l'ambiente costruito europeo si divide in tre epoche. Per oltre 2500 anni, dall'antichità fino a circa il 1860, tutti gli edifici sono stati costruiti utilizzando esclusivamente malte tradizionali, vale a dire fatte con calci aeree e idrauliche, non con cemento, un materiale completamente diverso.
Dal 1860 fino al 1930 l'uso della calce era ancora la normalità, ma vari cementi erano in corso di sperimentazione e sono stati progressivamente introdotti nella pratica comune, producendo le cosiddette *malte bastarde*, utilizzate sia per murare che come intonaci.
Durante la seconda guerra mondiale il cemento è stato massicciamente prodotto. Dopo il boom edilizio del dopoguerra, dal 1950-'60 ad oggi, è invalso l'uso generalizzato del cemento, con l'improvvisa scomparsa delle calci tradizionali. Con esse sono scomparsi 2500 anni di conoscenze e di tecnologie connesse.

Gli edifici "storici" possono appartenere a entrambe le prime due categorie, ma per quanto riguarda lo scopo principale di questo volume non c'è molta differenza tra di loro in quanto essi condividono tre caratteristiche architettoniche:

1. hanno una struttura di muri portanti e travoni di legno o longherine d'acciaio o volte, che si differenzia dal moderno sistema di travi-pilastri in calcestruzzo;
2. i muri e le loro fondamenta erano quasi sempre costruiti senza tener conto della risalita capillare di umidità dal suolo al loro interno. Nessuna barriera è stato

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

prevista (con importanti eccezioni come Venezia, dove gli edifici sono stati sollevati su un piedistallo di pietra d'Istria impermeabile, scelto proprio per questo scopo);
3. il pavimento del piano terra poggia direttamente sulla terra, su uno strato di ciottoli (l'acciottolato), senza sottostante impermeabilizzazione. Questo è fonte di umidità dal suolo, con l'accompagnamento inevitabile di sali. In passato i benestanti semplicemente evitavano il problema vivendo al primo piano.

Oggi, dopo anni o secoli di umidità ascendente, molti di questi pavimenti e pareti sono umidi e degradati, invasi dai cristalli di sali solubili. Per questo motivo è necessario ripristinare tali edifici con amorevole cura e attenzione.
Sembrerebbe ovvio che per il restauro e la conservazione della nostro patrimonio storico si debbano conoscere le vecchie calci tradizionali e quelle "bastarde" e le loro caratteristiche essenziali. Purtroppo, è da dire, con grande rammarico, che, a partire dal dopoguerra fino ad oggi, questo aspetto è stato praticamente ignorato dalla formazione sia accademica sia degli istituti tecnici che delle scuole edili.
La "moda" dell'uso del cemento come legante del "progresso" ha imperversato dappertutto. Molti tecnici, costruttori e muratori, soprattutto nelle comunità rurali dove gran parte dell'eredità del passato sopravvive, sono ancora convinti che il cemento debba essere utilizzato sempre, comunque, dappertutto, con gli effetti disastrosi descritti al paragrafo 2.4.3 "Calce su calce, cemento su cemento", alle volte non rispettando le specifiche dei propri regolamenti edilizi e delle raccomandazioni delle Soprintendenze. Solo di recente questa tendenza sta lentamente cominciando a invertirsi.

1.4. Risanamento qualitativo o quantitativo

Si possono muovere tre serie osservazioni alle proposte commerciali per i risanamenti:

- per brevità e convenienza viene proposta una serie di soluzioni globali preconfezionate definite indistintamente *deumidificanti* o *risananti* o *antiumidità*;
- viene normalmente proposta *una* soluzione come se ci fosse *un* problema da risolvere. Invece, per essere permanente, un risanamento necessiterà quasi sempre di due tipi di intervento, diversi e separati;
- le metodologie e/o i prodotti vengono quasi sempre venduti in modo soltanto *qualitativo*. Viene cioè proposto il raggiungimento di un risultato solo estetico, senza dimostrazione quantitativa, cioè con cifre, di che cosa e in quale misura si è risanato.

Ad esempio, la norma europea UNI EN 998-1R, *Specifiche per malte per opere mu-*

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

rarie – Malte per intonaci interni ed esterni – Malte da risanamento, non menziona a quale o quanta contaminazione salina essi possano far fronte o rispetto a quali substrati essi siano efficaci (si veda paragrafo 7.5.4 "I sistemi risananti di intonaci secondo la UNI EN 998-1R").
Fa lodevole eccezione la scheda tecnica di uno dei più importanti produttori di intonaci risananti assorbenti (si veda paragrafo 7.5.3 "Gli intonaci risananti macroporosi assorbenti") che informa l'utente che il proprio prodotto non elimina la causa responsabile della presenza di acqua e di sali nella muratura ma tende piuttosto a ridurre gli effetti derivanti dalla presenza di tumidità operando in tal modo una riduzione del fenomeno, aggiungendo inoltre che tutti gli intonaci risananti esplicano la loro funzione sino a completa saturazione salina dei macropori d'aria; poiché la velocità di saturazione varia da caso a caso, non è possibile prevedere la durata nel tempo dell'intonaco risanante.

La diminuzione dell'umidità contenuta nel muro dopo un certo lasso di tempo non fornisce nessuna garanzia della durata di un intervento dal punto di vista del futuro eventuale degrado.

L'approccio qualitativo comporta che:

- non venendo quasi mai eseguite analisi del muro da trattare (ad esempio, quanta risalita è in atto o quali, quanti e dove sono i sali da trattare) non si possono decidere preventivamente le modalità di intervento;
- non è possibile dimostrare l'efficacia del risanamento, non essendo possibile un confronto in cifre tra prima e dopo l'intervento (ad esempio, di quanti sali sono stati neutralizzati, trasformati, convertiti, assorbiti, bloccati, ecc.).

Una ragione tecnica alla base di questo comportamento forse c'è. Non potendo (perché fino a poco tempo fa non vi era modo di farlo su scala edile) invertire il processo di contaminazione salina causa del degrado dei lapidei estraendo e rimovendo dal muro i sali causa dei danni, questo è stato semplicemente ridotto ad argomento di secondo piano.

È importante affermare che mentre in passato alle parole *deumidificazione*, *rischio di degrado*, *risanamento*, *risanante*, *antisale*, ecc. non si era dato un preciso significato tecnico, al giorno d'oggi è possibile farlo, e così porre l'intera operazione su semplici basi tecniche verificabili con cifre. In altre parole, è possibile dare a dette parole contenuti *quantitativi* (si veda tabella 10.4). Fortunatamente questo modo di vedere sta lentamente entrando nella prassi.

Si riportano, ad esempio, in tabella 1.1, i dati di una tipica verifica di un risana-

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

mento prima/dopo trattamento con impacco per estrarre i sali. Come si può notare, il trattamento di estrazione ha avuto successo (complessivamente i sali sono stati estratti all'84%). Con il contenuto salino totale ridotto a meno del 0,2%, il muro si può considerare bonificato e pulito, cioè non più a rischio di deterioramento.

	Ione							Totale (%)
	Calcio (Ca)	Potassio (K)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Cloruro (Cl)	Nitrato (NO_3)	Solfato (SO_4)	
Muro originale	0,240	0,110	0,025	0,050	0,030	0,215	0,540	1,210
Muro trattato	0,095	0,020	0,005	0,010	0,010	< 0,005	0,050	0,190
Percentuale estrazione (%)	60,4	81,8	80,0	80,0	66,7	100	90,7	84,3

Tabella 1.1. Chiesa della Commenda, Faenza, XIII secolo (data: febbraio-marzo 2005). Interno abside, zona bassa muro in mattoni. Risultati analisi bonifica da sali con impacco di cellulosa modificata (dati Servizio tecnico Westox Cocoon)

Oggi una verifica quantitativa della contaminazione, e perciò di un risanamento, di questo tipo, pur auspicabile come normalità per il futuro, viene molto raramente eseguita anche perché molti metodi in uso per trattare o per tenere sotto controllo i sali non la consentono.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

2. LEGGERE I TRE SINTOMI

2.1. Generalità

Se si paragonano la condizione di umidità e i danni sui muri a una malattia, per poterla curare è necessario prima di tutto identificarne correttamente i sintomi.
I tre "sintomi" visibili e apparenti per cui di solito si ritiene di dover intervenire su muri facciavista oppure su intonaci sono:

- umidità nell'aria di un locale;
- un muro bagnato, con strisce o linee bianche;
- rigonfiamenti e/o distruzioni della superficie.

Il primo e il terzo sintomo sono solo conseguenze del secondo, nondimeno è conveniente distinguerli. Una situazione di condensa invece potrà facilmente causare il primo sintomo, ma solo raramente, o in casi estremi, gli altri due; sarà invece molto spesso accompagnata da muffe.

2.2. Sintomo 1 – Umidità nell'aria di un locale

Con il termine *umidità* viene comunemente descritto uno stato dell'aria percepito come più umido di quanto ci si aspetterebbe. L'eccessiva umidità dell'aria (oltre il 60-65% di umidità relativa) causa stati di disagio e di debolezza, fino a malesseri.
È comune pensare che l'origine dell'eccessiva umidità sia dovuta soltanto a un muro bagnato da infiltrazioni esterne (tipo risalita) oppure da condensa. Ciò è vero, ma solo parzialmente.

L'accresciuta umidità nell'aria può originare da uno a più di tre fenomeni molto diversi, ciascuno provocato da una causa specifica che va individuata separatamente dalle altre. Ciò che confonde le cose, e che non viene comunemente riconosciuto, è che le tre cause sono indipendenti l'una dall'altra, ma possono coesistere.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Le tre possibili origini di umidità nell'aria in un locale sono:

- evaporazione d'acqua dal pavimento e/o dai muri del locale a causa di infiltrazioni in atto;
- presenza di sali igroscopici nei muri;
- formazione di condensa nell'aria.

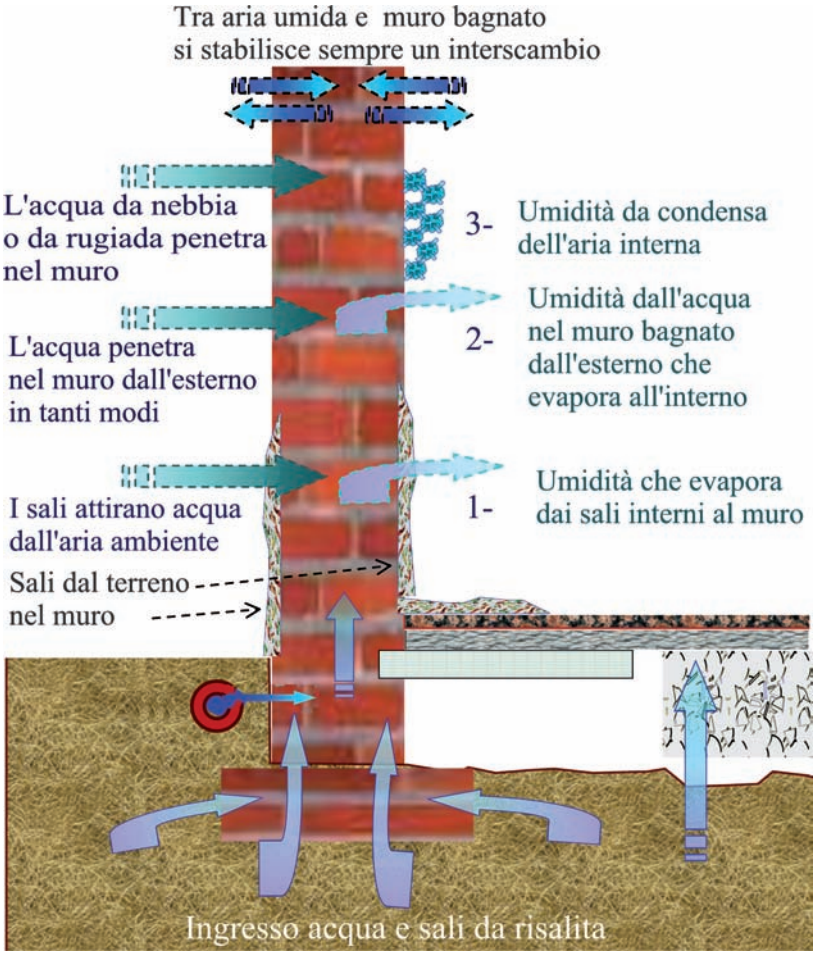

Figura 2.1
Le tre fonti di umidità nell'aria: 1. da muri bagnati da acqua dall'esterno (compresa la risalita); 2. da presenza di sali igroscopici; 3. da condensa

2.2.1. Umidità da infiltrazioni esterne

Le infiltrazioni esterne d'acqua sono spesso erroneamente considerate l'unica fonte dell'umidità ambientale, il che porta scorrettamente a pensare di eliminare l'umidità ambientale curando solo questa.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

L'eventuale acqua presente per qualsiasi motivo in una qualsiasi superficie bagnata, intonacata o no, liscia o ruvida, evaporerà da questa nell'aria circostante aumentandone l'umidità se, a quella temperatura, l'umidità relativa (U.R.) dell'aria a contatto con essa lo consente. In altre parole, se l'aria è abbastanza asciutta da ricevere altro vapore d'acqua. L'evaporazione cesserà solo se e quando l'aria sarà satura di vapore d'acqua (U.R. = 100%), anche se la superficie è ancora fradicia. La superficie evaporante può essere interna, da un solaio o da un muro, oppure esterna, ad esempio verso un cortile o su strada.

Le superfici possono essere bagnate da acqua proveniente da varie fonti, interne (un bagno o una cucina dove viene generato del vapore) o esterne tipo infiltrazioni. Questo ingresso può essere occasionale (ad esempio solo durante piogge o temporali) oppure permanente (risalita o condotte che perdono). I diversi modi d'ingresso verranno trattati nel paragrafo 3.2 "Acqua da infiltrazioni".

L'umidità da risalita fa parte di questa categoria di ingresso quasi permanente ed è un caso particolare così importante e diffuso che verrà trattato a parte nel paragrafo 3.3 "Acqua da risalita capillare".
È praticamente impossibile, salvo in situazioni di laboratorio strettamente controllate, prevedere quanta evaporazione ci sarà da una determinata superficie in un determinato momento in quanto le variabili in gioco sono molteplici.
Nondimeno, si possono avere alcune indicazioni da esperimenti fatti[1] ricavando dei coefficienti pratici di evaporazione superficiale delle diverse strutture murarie che consentono di calcolare, per una parete mediamente umida e per date condizioni di temperatura e di grado igrometrico dell'aria, quanta sia l'umidità mediamente scaricata nell'ambiente in ogni unità di tempo.
Per mezzo di analisi empiriche e analisi statistiche, per materiali da costruzione come il mattone leggero, il calcare tenero, il tufo e la malta di calce, sono state ottenute evaporazioni unitarie comprese fra 4 e 10 gm/m^2 ora, nei comuni casi di pareti umide.
L'evaporazione unitaria aumenta da 3 a 5 volte sotto l'azione di un debole vento, e aumenta da 2 a 3 volte sotto l'azione del sole; in queste condizioni di vento e di insolazione, le evaporazioni unitarie dei vari materiali saturi aumentano tutte insieme quasi parallelamente.

2.2.2. Umidità da sali igroscopici

L'umidità dovuta a sali igroscopici è la causa di umidità ambientale forse più ignorata o trascurata nella pratica.

[1] I dati sono cortesia del Centro restauro e recupero campano.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Se in passato dei sali in soluzione sono penetrati nel muro o nel pavimento, col passare del tempo si sono accumulati sulla superficie e, invisibilmente, subito sotto di essa. Potenzialmente invisibili, soprattutto in muri molto porosi quali i tufi, possono essere presenti da vecchia o vecchissima data (capitolo 3 *La provenienza dell'acqua e dei sali nei muri*).
Moltissimi dei sali comunemente presenti nei muri attirano a sé acqua dall'umidità dell'aria ambiente; essi vengono tecnicamente descritti come *sali igroscopici* (paragrafo 4.4 "L'igroscopia e la deliquescenza da sali"). L'esperienza comune è quella del sale da cucina (cloruro di sodio) che si inumidisce, ma altri sali sono capaci di attirare più acqua del sale da cucina. Questi sali arrivano a inzupparsi completamente (fenomeno della deliquescenza, trattato nel paragrafo 4.4) e così facendo mantengono il muro (o la cantina) sempre bagnato, in assenza di qualunque infiltrazione – cioè anche se la fonte d'ingresso dell'acqua è stata eliminata. Naturalmente, in presenza di risalita in atto le due acque si confonderanno nel muro bagnato.
In questa situazione la quantità di bagnato nel muro può essere dovuta ben più alla igroscopicità dei sali che non alla risalita (Lewin, 1981). Questo fatto viene molto raramente preso in considerazione nella pratica.

Figura 2.2
Comparsa di umidità localizzata spiegabile con l'inserimento a cuci-scuci nel muro, durante la ristrutturazione, di vecchi mattoni di recupero contaminati da sali igroscopici

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Esempi di questa situazione sono, come si è visto, la ex-stalla per cavalli (si veda paragrafo 1.1) o per bovini impiegata magari per secoli o i locali all'interno dei quali si sono prodotti formaggi o si sono lavorati prosciutti e salami. Tali locali possono essere oggi umidi solo perché molto contaminati.

Alle volte sintomi di contaminazioni, quali macchie di umido e/o di bianco da cristalli di sali, compaiono nei luoghi più inaspettati dopo ristrutturazioni di vecchi edifici: possono verificarsi ad esempio in mezzo a una facciata intonacata al primo piano, quasi certamente causati dagli interventi a cuci-scuci nella muratura eseguiti usando vecchi mattoni provenienti da demolizioni in loco durante il cantiere. Probabilmente facenti parte di una stalla al piano terra, tali mattoni sono intrisi di sali nitrati che ora agiscono nella loro nuova collocazione (vedi figura 2.2.).

La potenza e la capacità di assorbimento di vapore acqueo da parte di certi sali igroscopici e deliquescenti che si trovano comunemente nei muri sono facilmente confermabili. In un qualunque supermercato si trovano piccole scatole con gabbie di plastica descritte come *deumidificanti* da mettere negli armadi o in altri luoghi umidi per asciugarli.
All'interno delle gabbiette e dei ricambi vi sono quasi sempre solo cristalli di cloruro di calcio asciutti. Dissigillati ed esposti all'aria ambiente questi cristalli assorbono da essa un'enorme quantità di umidità. Pian piano i cristalli assorbono tanta acqua da diventare uno sciroppo liquido che viene raccolto in una vaschetta nella parte bassa del contenitore. A questo punto non resta che sostituire il tutto.
Tali cristalli funzionano egregiamente[2]. Questo stesso sale è molto spesso presente nei muri e non c'è da sorprendersi se basta da solo a mantenerli umidi.

2.2.3. Umidità da condensa

Il caso di umidità ambientale da condensa è piuttosto comune. La formazione di condensa all'interno è il fenomeno equivalente della formazione di *rugiada* all'aperto. Entrambi dipendono *solo* da abbassamenti di temperatura dell'aria. All'interno di un locale è il risultato di una situazione totalmente diversa e indipendente dalle precedenti (infiltrazioni o presenza di sali), anche se può essere presente in contemporanea ad esse. Avviene primariamente nelle zone dove l'aria ambiente viene raffreddata dal contatto con superfici fredde presenti nel locale. Se in un certo punto delle pareti di un locale la temperatura della superficie è abbastanza bassa da raffreddare l'aria a contatto con essa, tanto da alzare localmente la U.R. oltre il 100%, lì si avrà condensazione e bagnato visibile.

[2] Il cloruro di calcio anidro assorbe fino a sei molecole di acqua di idratazione, con un'umidità relativa percentuale finale del 21,2%. Il sale esaidrato continua poi ad assorbire umidità dall'aria fino alla deliquescenza (31,6% di umidità relativa percentuale) (paragrafo 4.5 "I sali più comuni nei muri").

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Prevedibilmente, si verifica più che altro, ma non solo, sulle pareti interne dei muri perimetrali più freddi, quelli che guardano a nord o nord-est, in cantine d'estate, in luoghi non molto aerati all'interno di edifici dove circola poco l'aria riscaldata dai termosifoni d'inverno (sottoscala chiusi).
La condizione di sovra-saturazione dell'aria rispetto alla sua temperatura può facilmente verificarsi anche in presenza di eccesso di vapore a temperature normali, ad esempio in un bagno dopo una doccia oppure in una piccola cucina dove viene scolato una grande pentola di pasta. In questi casi viene immesso molto vapore in un locale dove una ampia superficie delle pareti è impermeabilizzata da piastrelle e non può smaltirlo, il che porta alla formazione di condensa sui vetri freddi (specchi e finestre). Dal che l'importanza, ignorata in molta edilizia a basso costo del recente passato ma compresa appieno dagli antichi, di avere muri e intonaci traspiranti, ossia che riescono a equilibrare le variazioni di umidità assorbendola e poi rilasciandola.

D'inverno la condensa può formarsi su un pavimento freddo perché poco isolato termicamente dal vespaio, aerato o no, sottostante oppure in un locale costruito a sbalzo sul vuoto. Se la soletta che lo sostiene non è ben coibentata si avrà grande perdita di calore verso il basso; questo porterà a un locale abbassamento della temperatura che potrà originare condensa in quel locale.
Negli edifici moderni i cosiddetti *ponti termici* nelle pareti esterne sono fonti di condensa localizzata[3]. Se l'interno di un locale è più freddo dell'esterno, ad esempio un interrato o una cantina d'estate, l'aria che penetra verrà raffreddata e si formerà facilmente condensa. In queste condizioni ventilare è non solo inutile, ma peggiorativo, in quanto più aria calda si immette più si avrà condensa.
Per tenere quindi il più possibile asciutte le cantine da vino bisogna considerare due situazioni: se la cantina tende all'umido perché vi sono normalmente delle infiltrazioni d'acqua naturale (ad esempio da pareti di tufo) è bene tenerla chiusa d'estate e aperta d'inverno in quanto d'estate per asciugarla si dovrebbe immettere tanta aria riscaldata artificialmente da superare di molto il ritmo di fornitura di nuova acqua; se la cantina non è soggetta ad infiltrazioni naturali si può tenere chiusa d'estate e d'inverno.

L'eliminazione della condensa è *soltanto* una questione di prevenzione, cioè impedire in qualche modo alla zona fredda di formarsi. Ciò dovrebbe essere assicurato in via preventiva in fase di progetto. Molto spesso gli intonaci coibenti sono un buon rimedio.

[3] I ponti termici sono quei punti nella cortina perimetrale che racchiude un edificio dove l'isolamento termico è molto inferiore a quello del resto della parete. Ad esempio in corrispondenza del sistema travi-pilastro in cemento armato quando questo non è arretrato rispetto al muro perimetrale oppure laddove l'intonaco che copre entrambi non ha sufficienti proprietà isolanti. In edifici con ossatura d'acciaio i ponti termici si formano dove le testate delle travi sono male isolate termicamente e perciò dissipano calore all'esterno.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Anche se il fenomeno è complesso e appartiene per sua natura alla fisica (la sua soluzione riguarda la buona pratica edilizia e l'ingegneria impiantistica), è necessario e utile averne delle nozioni di base che permettano, quanto meno, di riconoscerlo quale fonte di umidità e di degrado nei muri (si veda a proposito l'appendice A.4 "La condensa" e il paragrafo 3.5 "Acqua e sali da condensa").
Oltre allo stato dell'aria, la formazione di condensa è anche influenzata in minor misura dalle caratteristiche del materiale ad essa esposto (l'adsorbimento).

Concludendo si può affermare che ciò che è importante tenere presente ai fini di una diagnosi è che, *non essendoci altre fonti di umidità oltre alle tre elencate*, identificare separatamente la o le fonti giuste è sempre possibile.

Di seguito si illustrano alcuni esempi di cause della presenza di umidità.

Una causa: caso 1 – solo da infiltrazione

È il caso di un muro bagnato a causa di un pluviale discendente che perde oppure perché interessato da una risalita d'acqua continua dal terreno.

Una causa: caso 2 – solo da vecchi sali

Umidità persistente nella sala da pranzo ricavata dalla vecchia stalla di un casolare di campagna ristrutturato a residenza estiva. Nel corso della ristrutturazione nei muri perimetrali sono state inserite barriere alla risalita e l'acqua è stata allontanata dall'esterno dei muri. I muri sono stati semplicemente intonacati con intonaci speciali che si macchiano e si rovinano.
In questo caso l'unica fonte dell'umidità sono i vecchi sali di origine animale rimasti nei muri, troppi per essere tutti assorbiti dall'intonaco che si è saturato.

Una causa: caso 3 – solo da sali, salsedine

Come menzionato, l'impregnazione da salsedine portata dalle burrasche marine

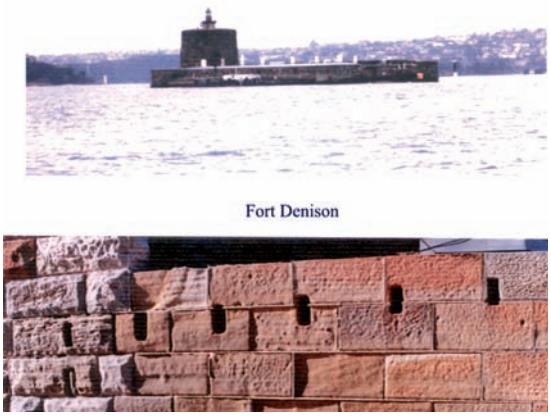

Figura 2.3
Erosione dell'arenaria con la quale è costruita la postazione di difesa con singolo grosso cannone di un'isola nella baia di Sydney, Australia

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

è forse complessivamente la maggior causa di distruzione di materiale al mondo (si vedano ad esempio le figure 1 della prefazione, 2.3, 2.39, 9.1). Ne sono affetti qualsiasi pietra e qualsiasi intonaco.

Una causa: caso 4 – solo da condensa

Si tratta di un caso raro ma meritevole di essere menzionato. La figura 2.4 mostra

Figura 2.4
Polveriera Guzman a Orbetello (GR). Costruita nel 1692 con muri spessi tre metri, la temperatura dell'aria interna non raggiunge mai quella esterna, soprattutto d'estate. Si forma sempre condensa

Figura 2.5
Vista dell'interno della Polveriera con il vecchio intonaco di cemento. La condensa si forma sopratutto sul soffitto dove per prima si raffredda l'aria calda che sale. L'acqua penetra il muro rivestito con vecchia calce. La combinazione provoca la formazione di sale di ettringite le cui delicate "dita" di cristalli sporgenti sono visibili

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

la bellissima Polveriera Guzman sulla sponda della laguna a Orbetello, costruita dagli Spagnoli nel 1692 con mura spesse tre metri. Essendo quasi impossibile che d'estate l'interno raggiunga la temperatura esterna, se viene immessa e lasciata circolare l'aria calda e umida esterna, dentro si forma tanta condensa da piovere regolarmente. La condensa si forma sul soffitto perché è lì che si accumula l'aria calda quando entra nell'edificio.

Due cause: caso 1 – da risalita e vecchi sali

Spesso l'umidità presente nel muro è originata da due cause distinte che agiscono contemporaneamente: una è la risalita ancora oggi in atto, che porta nuovi sali, l'altra la presenza dei vecchi sali nel muro portati nel passato dalla risalita stessa.

Figura 2.6
Parete di ex-stalla in ristrutturazione nella zona del delta del Po. Risalita e sali sono arrivati a livello del soffitto. I cristalli dei sali hanno intasato tutta la parete e ridotto di molto l'evaporazione e la risalita. L'umidità è oggi mantenuta in massima parte dall'igroscopia dei sali

Due cause: caso 2 – da condensa e da sali

Umidità persistente in un locale seminterrato impermeabilizzato all'esterno ma poco isolato termicamente e dove i vecchi sali nei muri non sono stati trattati

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

dopo l'impermeabilizzazione esterna. In questo caso è ben possibile che l'umidità sia originata sia da condensa sia dall'igroscopia dei sali.

Tre cause – da risalita, da sali e da condensa

È il caso di una cantina soggetta a umidità di risalita in atto, con vecchi sali presenti nei muri e, d'estate, formazione di condensa causata dall'ingresso di aria calda e umida dall'esterno.

2.3. Sintomo 2 – Umidità nel muro. Bagnato, macchie e strisce bianche – la condizione di equilibrio

Il secondo sintomo che sollecita un intervento di risanamento è la presenza visibile in un muro di bagnato, spesso ma non sempre accompagnato dall'apparire di macchie o strisce bianche di cristalli all'esterno, tutte cose che causano una sgradevole, e fondata, sensazione sia estetica che di malsana umidità nell'ambiente. Oltre tutto, quasi sempre il bagnato e le macchie sono il preludio del marcire del muro o dell'intonaco. Un muro bagnato con un tasso d'umidità del 30% in volume può contenere 300 litri d'acqua per metro cubo, ossia nove litri d'acqua per metro quadro in 3 cm di spessore d'intonaco.
Da quanto detto precedentemente, è chiaro che, escluse le situazioni dovute a sola condensa, i sintomi visibili *oggi* sono dovuti a infiltrazioni di acqua e sali avvenute negli anni, molto probabilmente ma non necessariamente ancora in atto.

2.3.1. La condizione di equilibrio

Ogni muro vive continuamente un suo bilancio idrico, nel quale una stessa quantità d'acqua entra ed esce per evaporazione delle pareti esposte all'aria (senza dimenticare che una piccola parte evapora anche dentro il muro).
L'evaporazione che avviene dalla superficie è solo quella dell'acqua. I sali in essa contenuti in soluzione vengono depositati come cristalli sulla superficie e/o entro i primi 1,5-2 cm di spessore a seconda delle condizioni ambientali locali (figura 2.7). Più ancora all'interno del muro i sali sono presenti sempre come sciroppo di soluzione salina.
I principali parametri dell'aria esterna che governano la quantità di vapore acqueo che evapora dalla superficie di un muro sono pochi e intuitivi:

- la temperatura;
- la U.R.;
- la velocità dell'aria che lambisce la superficie evaporante[4].

[4] Ciò che governa la quantità di vapore acqueo nell'aria *interna* ai capillari di un materiale (come