



RENZO SPEDICATO

MURATURE UMIDE

CAUSE E RIMEDI

PREVENZIONE E INTERVENTI DI RISANAMENTO
NEGLI EDIFICI ESISTENTI

PREFAZIONE di Marco Argiolas – Patologo Edile®



**PRONTO
GRAFILL**

Clicca e richiedi di essere contattato
per informazioni e promozioni



WEBAPP INCLUSA

GRAFILL

Renzo Spedicato

MURATURE UMIDE - CAUSE E RIMEDI

Ed. I (03-2026)

ISBN 13 978-88-277-0530-8

EAN 9 788827 705308

Collana **COME FARE PER**

I documenti grafici e fotografici riprodotti in questo libro,
ove non diversamente specificato, sono stati realizzati dall'Autore (Renzo-ArtHome).



**Licenza d'uso da leggere attentamente
prima di attivare la WebApp o il Software incluso**

Usa un QR Code Reader
oppure collegati al link <https://grafill.it/licenza>

Per assistenza tecnica sui prodotti Grafill aprire un ticket su <https://www.supporto.grafill.it>

L'assistenza è gratuita per 365 giorni dall'acquisto ed è limitata all'installazione e all'avvio del prodotto, a condizione che la configurazione hardware dell'utente rispetti i requisiti richiesti.

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 - 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 - Fax 091/6823313 - Internet <http://www.grafill.it> - E-Mail grafill@grafill.it

**CONTATTI
IMMEDIATI**



Pronto GRAFILL
Tel. 091 6823069



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Tipografia Publistampa S.n.c. - Palermo**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

PREFAZIONE di Marco Argiolas – Patologo Edile®	p.	9
RINGRAZIAMENTI	"	11
PERCHÉ QUESTO LIBRO	"	13
1. TIPOLOGIE DI UMIDITÀ E IMPATTI SUGLI EDIFICI	"	15
1.1. Sindrome dell'Edificio Malato: cause, sintomi e soluzioni	"	15
1.2. Le tipologie di umidità nelle murature: meccanismi, diagnosi e strategie di intervento	"	19
1.3. L'umidità igroscopica nell'edilizia: meccanismi, diagnosi e implicazioni per il risanamento	"	26
1.4. Umidità meteorica (<i>penetrating damp</i>)	"	30
1.5. Umidità di rimbalzo (<i>rain splash</i>)	"	37
2. DIAGNOSTICA DELLE PATOLOGIE EDILIZIE SISTEMI, PROTOCOLLI E STRUMENTAZIONI PER INDAGINI DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE	"	44
2.1. Introduzione alla diagnostica edilizia	"	44
2.2. Quadro normativo di riferimento	"	44
2.3. Classificazione delle tecniche diagnostiche	"	45
2.4. Termografia infrarossa	"	45
2.5. Georadar (GPR – <i>Ground Penetrating Radar</i>)	"	47
2.6. Prove ultrasoniche	"	48
2.7. Prove soniche su muratura	"	48
2.8. Prova sclerometrica	"	49
2.9. Metodo combinato SONREB	"	50
2.10. Indagine pacometrica (magnetometria)	"	50
2.11. Prove con martinetti piatti	"	51
2.12. Prova penetrometrica su malta	"	52
2.13. Prova di taglio diretto (<i>shove test</i>)	"	52

2.14.	Prova di carbonatazione	p.	53
2.15.	Mappatura del potenziale di corrosione	"	54
2.16.	Analisi della concentrazione di cloruri	"	55
2.17.	Diagnostica dell'umidità: metodi e strumenti	"	55
2.18.	Sonda a neutroni (storico)	"	58
2.19.	Resistografia (diagnosi del legno)	"	58
2.20.	Prova Pilodyn	"	59
2.21.	Indagini endoscopiche	"	59
2.22.	Prove di carico statiche e dinamiche	"	60
2.23.	Carotaggio e prove distruttive	"	60
2.24.	Prova <i>pull-out</i>	"	61
2.25.	Prova <i>pull-off</i>	"	61
2.26.	Sonda Windsor (<i>Windsor probe test</i>)	"	62
2.27.	Prova <i>break-off</i>	"	63
2.28.	Reazione alcali-aggregato	"	63
2.29.	Prove su strutture in acciaio	"	64
2.30.	Monitoraggio strutturale	"	65
2.31.	Indagini geotecniche	"	66
2.32.	Analisi dei sali e delle efflorescenze	"	66
2.33.	Metodi elettrici a bassa tensione e frequenza	"	66
2.34.	Ricerca perdite con alta tensione (<i>high voltage leak detection</i>)	"	68
2.35.	Traccianti fluorescenti: la fluoresceina sodica	"	69
2.36.	Traccianti fumogeni per infiltrazioni d'aria	"	70
2.37.	<i>Blower door test</i> : verifica della tenuta all'aria dell'involucro edilizio	"	73
2.38.	Conclusioni	"	78
3.	PARALLELISMO TRA RISALITA DELL'ACQUA NELLE PIANTE E UMIDITÀ DI RISALITA NELLE MURATURE	"	80
3.1.	Principi fisici comuni: la capillarità	"	80
3.2.	Applicazioni biomimetiche: sfruttare i principi delle piante per gestire l'umidità di risalita	"	82
3.3.	Riflessione critica sulle applicazioni biomimetiche: tra teoria e pratica	"	84
4.	BARRIERE CHIMICHE CONTRO L'UMIDITÀ DI RISALITA TIPOLOGIE, SISTEMI DI INIEZIONE E RIFERIMENTI NORMATIVI	"	87
4.1.	L'umidità di risalita: introduzione e principi	"	87
4.2.	Barriere chimiche: approfondimento tecnico-scientifico	"	93
4.3.	Quadro normativo e certificazioni	"	99
4.4.	Evidenze scientifiche e studi di riferimento	"	100
4.5.	Fattori critici di successo e limitazioni	"	101

4.6.	Durabilità e aspettative di vita	p. 101
4.7.	Conclusioni e raccomandazioni operative	" 102
5.	SALI NELLE MURATURE	
	CAUSE, MECCANISMI, PATOLOGIE E CORROSIONE DEI METALLI	" 103
5.1.	Tipologie di sali igroscopici	" 103
5.2.	L'umidità di risalita come veicolo dei sali	" 105
5.3.	Efflorescenze e sub-florescenze saline	" 106
5.4.	Cristallizzazione	" 108
5.5.	Il solfato di sodio: un caso paradigmatico	" 111
5.6.	Dinamiche del sistema $MgSO_4-H_2O$	" 111
5.7.	Fattori ambientali	" 113
5.8.	Caso studio: l' <i>opus caementicium</i> di Nora	" 114
5.9.	Implicazioni per la diagnosi e il trattamento	" 115
5.10.	Protocollo operativo	" 115
5.11.	Corrosione dei metalli causata dai sali	" 116
6.	LE MUFFE NEGLI EDIFICI	
	CAUSE, FATTORI SCATENANTI, TIPOLOGIE, RISCHI PER LA SALUTE, MODELLI PREDITTIVI E TECNICHE DI BONIFICA	" 120
6.1.	Evoluzione storica della ricerca sulle muffe negli edifici	" 120
6.2.	Cause e fattori scatenanti della crescita fungina	" 121
6.3.	Classificazione delle muffe indoor	" 123
6.4.	Altre muffe rilevanti	" 127
6.5.	Come e dove si formano le muffe negli ambienti domestici	" 132
6.6.	Patologie associate all'esposizione alle muffe	" 136
6.7.	Modelli predittivi di crescita delle muffe	" 138
6.8.	Rimedi per le muffe: evidenze scientifiche e tecniche di bonifica	" 139
6.9.	Soluzioni operative per il risanamento di muffe e condense	" 142
6.10.	Conclusioni e prospettive	" 144
7.	VESPAIO AERATO	
	NORMATIVE TECNICHE E CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO	" 145
7.1.	Quadro normativo di riferimento	" 145
7.2.	Metodi di calcolo per il dimensionamento	" 146
7.3.	Formule tecniche e calcoli	" 148
7.4.	Regole di posizionamento delle bocchette	" 148
7.5.	Raccomandazioni operative	" 149
7.6.	Analisi tecnica: vantaggi e limiti del vespaio aerato	" 150
7.7.	Il vespaio ideale	" 152
7.8.	Quando il vespaio è efficace: quadro sinottico	" 153
7.9.	Conclusioni	" 153

8. LE ALLUVIONI E L'ACQUA ALTA**INTERVENTI DI RIPRISTINO****E PROTEZIONE DEGLI EDIFICI**

p.	154
8.1.	Progressione dei danni da acqua "
8.2.	Fasi del piano di ripristino "
8.3.	Rischi post allagamento "
8.4.	Gestione del vespaio "
8.5.	Deumidificazione interna "
8.6.	Gestione degli impianti "
8.7.	Intervento sulle murature "
8.8.	Caso studio: allagamenti frequenti "
8.9.	Problematiche dell'efficienza energetica nelle abitazioni con umidità di risalita e murature umide "
	167

9. COME ASCIUGARE UNA CASA BAGNATA**OLTRE LA SEMPLICE AERAZIONE**

"	172
9.1.	La propagazione dell'acqua nelle strutture moderne "
9.2.	Differenze tra vecchie e nuove costruzioni "
9.3.	L'importanza dell'indagine strumentale "
9.4.	I rischi del ristagno prolungato dell'umidità "
9.5.	La soluzione professionale "
	174

10. CONDENSA INTERSTIZIALE**E PROBLEMATICHE IGROTERMICHE IN EDILIZIA****NORMATIVE, FISICA DEL FENOMENO,****METODI DI CALCOLO, DIAGNOSI, PATOLOGIE,****SISTEMI ETICS E STRATEGIE DI PREVENZIONE**

"	175
10.1.	Quadro normativo "
10.2.	Fisica del fenomeno "
10.3.	Metodo di Glaser "
10.4.	Simulazioni igrotermiche dinamiche "
10.5.	Ponti termici "
10.6.	Isolamento interno degli edifici esistenti "
10.7.	Sistemi ETICS su murature umide "
10.8.	Membrane intelligenti (<i>smart vapor retarders</i>) "
10.9.	Condensa estiva e <i>solar vapor drive</i> "
10.10.	Perdite d'aria e trasporto convettivo "
10.11.	Cambiamenti climatici e rischio umidità "
10.12.	Danni da gelo-disgelo (<i>freeze-thaw</i>) "
10.13.	Strategie di prevenzione e controllo "
10.14.	Gli intonaci tradizionali in calce (approfondimento a cura del Tecnico ricercatore Luigi Vantangoli) "
	191

11. VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA PUNTUALE	
ANALISI TECNICA, NORMATIVA E SCIENTIFICA.....	p. 195
11.1. Introduzione alla VMC puntuale	" 195
11.2. Installazione e montaggio della VMC	" 196
11.3. Prestazioni reali: il recupero di calore.....	" 197
11.4. Applicazioni e benefici della VMC.....	" 198
11.5. Conclusioni: la VMC puntuale aiuta davvero?.....	" 199
12. LE INFILTRAZIONI NEI PREDALLES	
ANALISI, METODOLOGIE DI INTERVENTO E RESINE IDROESPANSIVE	" 200
12.1. I predalles: una soluzione costruttiva moderna	" 200
12.2. Il cordone bentonitico	" 201
12.3. Il meccanismo delle percolazioni	" 202
12.4. Soluzioni tecniche	" 204
12.5. Le resine idroespansive per iniezione	" 206
12.6. Tabella comparativa: resine idrofile vs idrofobiche	" 208
12.7. Verifica strutturale e considerazioni finali.....	" 208
12.8. Documentazione fotografica	" 209
13. LE IMPERMEABILIZZAZIONI CON RESINE	
UNA TRA LE PIÙ EFFICACI RISPOSTE CONTRO	
LE PROBLEMATICHE INFILTRATIVE DELLE ACQUE METEORICHE	" 211
13.1. Un tema di crescente centralità: il contesto climatico ed edilizio.....	" 211
13.2. Problematiche comuni nei casi di rifacimento completo	" 212
13.3. Tipologie di resine e caratteristiche chimico-fisiche	" 213
13.4. Il ciclo applicativo e la gestione dei punti critici.....	" 213
13.5. Analisi comparativa: sistemi tradizionali vs resine	" 214
13.6. Caratteristiche tecniche e certificazioni di eccellenza	" 214
13.7. Documentazione fotografica	" 215
13.8. Conclusioni.....	" 216
14. ACQUA SOTTO IL MANTO IMPERMEABILE	" 217
14.1. Il problema fondamentale	" 217
14.2. La sequenza corretta secondo il Codice di Pratica I.G.L.A.E.	" 217
14.3. Schemi stratigrafici.....	" 219
14.4. Le conseguenze dell'acqua sotto il manto impermeabile	" 222
15. CACCIA ALL'INVISIBILE SOTTO IL GIARDINO	
INDAGINE PER INFILTRAZIONE DI UN TETTO VERDE (SENZA DEMOLIRE):	
UN CASO STUDIO DI DIAGNOSTICA MOLTO ARTICOLATO	" 226
15.1. L'Indizio: oltre l'apparenza visiva	" 226
15.2. La scienza della conducibilità: il sistema MTA.....	" 227

15.3.	Vedere attraverso i muri: il georadar e l'analisi visiva	p. 228
15.4.	La diagnosi finale: l'effetto "vasca satura"	" 230
15.5.	La soluzione: risolvere senza demolire	" 231
15.6.	Conclusione.....	" 231
16.	I CORPI PASSANTI NELLE IMPERMEABILIZZAZIONI	" 232
16.1.	Definizione e classificazione dei corpi passanti	" 232
16.2.	Il problema tecnico: la discontinuità del sistema impermeabile	" 233
16.3.	Sistemi di tenuta per corpi passanti	" 233
16.4.	Dettagli esecutivi e corretta posa in opera	" 235
16.5.	Caso studio: infiltrazioni da attraversamenti non sigillati	" 237
17.	LA SPINTA IDROSTATICA NELLE STRUTTURE INTERRATE	" 241
17.1.	Definizione e principi fisici fondamentali	" 241
17.2.	Direzioni di applicazione della spinta idrostatica	" 242
17.3.	Quadro normativo di riferimento.....	" 242
17.4.	Quantificazione delle forze in gioco: esempio di calcolo (interrato tipo).....	" 243
17.5.	Danni e patologie strutturali	" 244
17.6.	Sistemi di prevenzione e mitigazione	" 245
17.7.	Aspetti critici nelle fasi costruttive.....	" 246
17.8.	Lesioni e infiltrazioni nelle strutture in calcestruzzo armato.....	" 250
18.	GESTIONE DELL'UMIDITÀ E DELLE INFILTRAZIONI NEI LOCALI SEMINTERRATI E INTERRATI	" 261
18.1.	Il punto critico dove l'edificio incontra il terreno.....	" 261
18.2.	Lo scannafosso: intercapedine tecnica per il controllo dell'umidità	" 264
18.3.	Caso studio: intervento su casa di nuova costruzione per infiltrazioni nel vespaio areato.....	" 268
18.4.	Conclusioni operative	" 270
	CASI STUDIO	" 271
	Caso Studio 1 – Risanamento e riqualificazione di un seminterrato.....	" 272
	Caso Studio 2 – Risanamento di un vano interrato	" 283
	Caso Studio 3 – Risanamento da umidità di risalita.....	" 294
	Caso Studio 4 – Impermeabilizzazione pre-getto	" 304
	LA WEBAPP INCLUSA: CONTENUTI E ATTIVAZIONE	" 319
	Contenuti della WebApp.....	" 319
	Requisiti hardware e software	" 319
	Attivazione della WebApp	" 319

PREFAZIONE

I problemi di acqua e di umidità nelle costruzioni sono sempre più diffusi, mentre i professionisti realmente competenti sul tema restano una rarità. Questo perché si tratta di ambiti complessi, che richiedono grande esperienza, capacità di analisi, attenzione ai dettagli e la disponibilità a rimettersi in gioco di fronte a casi nuovi e imprevedibili. Spesso ciò che sembra un problema banale nasconde cause profonde, con conseguenze che vanno ben oltre ciò che si osserva superficialmente.

Conosco Renzo da quasi quindici anni e ho avuto modo di apprezzare le sue competenze, la sua conoscenza approfondita e la sua continua volontà di migliorarsi. Questo libro nasce dalla sua passione per la materia e dalla sua esperienza: raccoglie studi, tecniche e soluzioni concrete per chiunque debba affrontare problemi legati all'umidità, alle muffe, alla risalita muraria e alle impermeabilizzazioni. Non è soltanto un manuale tecnico, ma una guida chiara e pratica, utile sia a professionisti sia a chi si avvicina al tema per interesse personale.

Comprendere l'umidità e la risalita muraria significa andare oltre la semplice manutenzione: è una questione di sicurezza, salute, sostenibilità e valorizzazione degli edifici. Conoscere i meccanismi che provocano muffe o infiltrazioni permette di proteggere le nostre case e migliorare la qualità della vita di chi le abita.

L'autore analizza con metodo le principali criticità costruttive causate dal complesso rapporto tra acqua e edifici, interpreta i dati raccolti attraverso la sua vasta esperienza e propone un percorso chiaro e lineare che chiarisce i dubbi più frequenti e offre soluzioni concrete.

Sfogliando queste pagine, il lettore troverà risposte, spunti di riflessione e consigli pratici, scoprendo come la conoscenza e la cura degli edifici possano trasformarsi in sicurezza e benessere. È un viaggio che parte dai muri delle nostre case, ma arriva alla qualità della vita di chi le abita.

Esprimo la mia sincera stima per Renzo e gli auguro che questa sua fatica editoriale porti grandi soddisfazioni, sia oggi che in futuro.

Marco Argiolas – Patologo Edile®

RINGRAZIAMENTI

La realizzazione di questo libro è stata possibile grazie al prezioso contributo di professionisti e aziende che hanno messo a disposizione competenze ed esperienza.

Un ringraziamento particolare va al **dott. Paolo Mariani**, fondatore della Tecnored (PV Color), per la collaborazione ventennale e per il prezioso contributo al capitolo dedicato al sistema Tecnored.

Un sincero ringraziamento all'**arch. Antonio Broccolino** per il contributo al capitolo sulle impermeabilizzazioni; a **Marco Argiolas**, patologo edile®, per la collaborazione al capitolo sulle muffe; al geofisico **Marco Manca** per la stesura del capitolo sull'umidità igroscopica; a **Luigi Vantangoli**, tecnico ricercatore, per il contributo al capitolo sugli intonaci tradizionali in calce; e all'**ing. Roberto Madorno** per la collaborazione sul capitolo delle barriere chimiche.

Per la documentazione tecnica relativa ai sistemi e alle metodologie operative, ringrazio inoltre **Davide Nogara** di Diemme Arte Casa S.r.l. per il materiale sull'asciugatura post-allagamento, **Luca Panisi** di Ricerca Perdite S.r.l. per le informazioni sulle tecniche di indagine strumentale e il **geom. Marco Gusmini** di GRG Resin Surfaces per la documentazione sulle resine impermeabili.

Un ringraziamento a **Paolo Panuccio** per il materiale fotografico sulle resine idroespansive.

Infine, ma non meno importante, un sentito ringraziamento all'**ing. Gerardo Ivan Santucci** e alla **dott.ssa Carmen Baccari** di Baxsa S.r.l. per la preziosa collaborazione al caso studio di Loreto.

PERCHÉ QUESTO LIBRO

Trent'anni di esperienza nel settore del risanamento edilizio – tra ricerche personali, formazione continua, cantieri e vent'anni come titolare d'impresa – mi hanno portato a una consapevolezza tanto semplice quanto scomoda: nel campo delle patologie da umidità si lavora ancora troppo spesso per tentativi, senza un metodo diagnostico rigoroso né il supporto di una cultura tecnica condivisa. Ancora oggi, infatti, non esiste un consenso univoco sulla metodologia corretta per bloccare la risalita capillare nelle murature.

Non scrivo queste parole per muovere critiche a colleghi o professionisti. Scrivo perché in questi anni ho visto troppi interventi fallire, non per mancanza di impegno, ma di conoscenza. Ho visto murature «risanate» che, dopo pochi mesi, presentavano gli stessi problemi. Ho visto, soprattutto, una crescente distanza tra chi comprende i fenomeni fisici che governano il comportamento dell'umidità nelle strutture e chi si limita ad applicare soluzioni senza interrogarsi sulla loro appropriatezza.

Nel mondo del risanamento esistono diverse filosofie e metodologie. Vent'anni fa ho scelto di approfondire e adottare la tecnica della barriera chimica contro la risalita capillare, e su questa ho costruito gran parte della mia esperienza operativa. Ciò non significa che sia l'unica via possibile: ho il massimo rispetto per altri approcci e per i professionisti che li praticano con competenza. Questo libro è incentrato su ciò che conosco direttamente, su ciò che ho sperimentato in prima persona.

Alcuni capitoli potrebbero sembrare apparentemente distanti dal tema centrale, ma chi si occupa di risanamento delle murature sa bene che tutto è interconnesso. Parlare di risalita capillare significa comprendere i meccanismi di cristallizzazione dei sali; affrontare il risanamento di locali interrati richiede conoscere le spinte idrostatiche e le problematiche legate al gas radon; intervenire sull'umidità implica capire l'umidità relativa, i ponti termici e la formazione delle muffe. Ogni patologia ne richiama altre e ogni intervento deve tenere conto di questo quadro più ampio.

Le normative e le linee guida tecniche esistono, sia a livello nazionale sia internazionale, anche se c'è ancora molto da fare. Il problema è che troppo spesso vengono ignorate o sottovalutate. Ho scelto di approfondire e inserire in questo libro numerosi riferimenti normativi e ricerche scientifiche, non per appesantire la lettura, ma per offrire al lettore basi solide su cui costruire le proprie conoscenze e, quando necessario, le proprie argomentazioni professionali. Questo libro nasce dalla volontà di raccogliere, ordinare e rendere accessibile tale patrimonio di conoscenze, traducendolo in un linguaggio tecnico ma

comprensibile, affinché diventi uno strumento di lavoro quotidiano e non un documento dimenticato in un cassetto.

Se oggi sono il professionista che sono - ammesso che lo sia - lo devo in gran parte ai cantieri quotidiani, al confronto con i colleghi e all'aggiornamento continuo attraverso letture e corsi. Alcuni di loro hanno collaborato direttamente a questo libro, altri li ho incontrati lungo il cammino, in cantiere o durante la formazione. Con tutti c'è sempre stato uno scambio aperto e diretto, fatto di domande, dubbi ed esperienze condivise. È da questo confronto continuo che nasce la vera crescita professionale.

È il libro che avrei voluto avere quando ho iniziato. È il libro che scrivo con la passione di chi ama questo mestiere e con la responsabilità di chi, dopo trent'anni, sente il dovere di condividere ciò che ha imparato.

TIPOLOGIE DI UMIDITÀ E IMPATTI SUGLI EDIFICI

1.1. **Sindrome dell'Edificio Malato: cause, sintomi e soluzioni**

La Sindrome dell'Edificio Malato (*Sick Building Syndrome* – SBS) è un fenomeno sempre più diffuso nei moderni ambienti di lavoro e abitativi. Si tratta di una condizione in cui gli occupanti manifestano sintomi acuti di malessere, apparentemente collegati al tempo trascorso nell'edificio, senza che sia possibile identificare una malattia specifica o una causa evidente. Riconosciuta ufficialmente dall'Organizzazione Mondiale della Sanità negli anni '80, questa sindrome rappresenta oggi una delle principali preoccupazioni per la salute occupazionale e la qualità della vita negli spazi chiusi.

Dati epidemiologici

Le ricerche scientifiche più recenti forniscono dati specifici sulla diffusione del fenomeno, documentando studi sulla sua prevalenza:

- **Regno Unito (2024)**: uno studio condotto su due edifici universitari ha rilevato che il 55% dei lavoratori d'ufficio manifestava sintomi associati alla SBS.
- **Cina (2024)**: in uno studio su 442 residenti di Suzhou durante la pandemia da Covid-19, la prevalenza dei sintomi è risultata del 59,3% per sintomi generali, del 45,5% per sintomi mucosali e del 49,1% per sintomi cutanei.
- **Singapore**: in uno studio longitudinale su 329 lavoratori seguiti per 12 mesi, la prevalenza dei sintomi variava dal 17,9% all'8,5% nel corso del periodo di osservazione.

Settori e popolazioni più colpite

Gli studi epidemiologici evidenziano particolari vulnerabilità nei seguenti ambiti:

- **Settori ad alto rischio**: trasporti, comunicazioni, sanità e servizi sociali presentano la prevalenza più alta di sintomi generali.
- **Differenze di genere**: le donne riportano sintomi con una frequenza circa del 20% superiore rispetto agli uomini in diversi studi.
- **Correlazione con l'asma**: secondo lo studio di Fisk e Mudarri, il 21% dei casi di asma negli Stati Uniti è attribuibile ad ambienti umidi con presenza di muffe.

Benefici documentati degli interventi

Ricerche specifiche hanno quantificato i miglioramenti ottenibili:

DIAGNOSTICA DELLE PATOLOGIE EDILIZIE

SISTEMI, PROTOCOLLI E STRUMENTAZIONI PER INDAGINI DISTRUTTIVE E NON DISTRUTTIVE

2.1. Introduzione alla diagnostica edilizia

La diagnostica edilizia rappresenta oggi un ambito fondamentale dell'ingegneria civile, finalizzato alla conoscenza approfondita dello stato di conservazione delle costruzioni esistenti. La corretta progettazione degli interventi sugli edifici esistenti parte da un'accurata diagnosi strutturale, senza la quale risulta difficile interpretare correttamente sia le resistenze meccaniche dei materiali, sia le vulnerabilità insite nella qualità edificatoria.

Le metodiche diagnostiche moderne presentano numerosi vantaggi: permettono di operare all'interno degli edifici senza sospendere le normali attività, con livelli di invasività modulabili in funzione delle necessità conoscitive e delle caratteristiche del manufatto.

Con l'introduzione delle NTC 2018 (D.M. 17 gennaio 2018) e della relativa Circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019, nonché del D.P.C.M. 9 febbraio 2011 per i beni culturali, il legislatore ha posto particolare enfasi sulla necessità di conoscere preventivamente le strutture prima di ogni intervento. Vengono, infatti, introdotti i fattori di confidenza (FC), strettamente legati al livello di conoscenza (LC) conseguito nelle indagini conoscitive.

2.2. Quadro normativo di riferimento

Il panorama normativo italiano ed europeo relativo alle prove diagnostiche è articolato e comprende numerosi riferimenti che il professionista deve conoscere per operare correttamente.

Normativa nazionale

- D.M. 17 gennaio 2018 (NTC 2018) – *Norme Tecniche per le Costruzioni*;
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 – *Istruzioni per l'applicazione delle NTC*;
- D.P.C.M. 9 febbraio 2011 – *Valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale*;
- Circolare n. 633/STC 2019 – *Criteri per il rilascio dell'autorizzazione ai laboratori*;
- UNI/PdR 56:2019 – *Certificazione del personale tecnico addetto alle PND*;
- UNI 11931:2024 – *Prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile*.

Normativa europea e internazionale

- UNI EN ISO 9712:2022 – *Qualificazione e certificazione del personale addetto alle PND*;

PARALLELISMO TRA RISALITA DELL'ACQUA NELLE PIANTE E UMIDITÀ DI RISALITA NELLE MURATURE

3.1. Principi fisici comuni: la capillarità

La risalita dell'acqua nelle piante e l'umidità di risalita nelle murature sono due fenomeni che condividono gli stessi principi fisici della capillarità, pur avendo finalità e conseguenze profondamente diverse. Questo parallelismo permette di comprendere meglio entrambi i processi e le relative implicazioni.

Entrambi i fenomeni si basano sulle proprietà molecolari dell'acqua:

- **Coesione:** le molecole d'acqua si attraggono reciprocamente attraverso legami idrogeno, formando una colonna continua.
- **Adesione:** le molecole d'acqua aderiscono alle superfici dei materiali con cui entrano in contatto (cellulosa nello xilema delle piante, materiali porosi nelle murature).
- **Tensione superficiale:** consente all'acqua di risalire contro la forza di gravità all'interno di condotti di piccolo diametro.
- **Strutture capillari:**
 - *nelle piante:* trachee e tracheidi dello xilema, condotti microscopici specializzati;
 - *nelle murature:* pori e capillari presenti nei materiali da costruzione (laterizi, pietra, malta).

La legge fisica è la stessa: più il diametro del capillare è ridotto, maggiore è l'altezza raggiungibile dall'acqua per risalita capillare.

3.1.1. Il sistema vegetale: meccanismo attivo e controllato

Il sistema di trasporto dell'acqua nelle piante è un meccanismo attivo basato sulla teoria teso-coesione-traspirazione:

- 1) **Assorbimento radicale:** le radici assorbono acqua e sali minerali disciolti dal terreno.
- 2) **Trasporto nello xilema:** l'acqua sale attraverso i vasi conduttori formando una colonna continua.
- 3) **Traspirazione fogliare:** l'evaporazione dell'acqua attraverso gli stomi delle foglie crea una pressione negativa.
- 4) **Effetto di trazione:** questa pressione negativa "tira" l'intera colonna d'acqua verso l'alto.

BARRIERE CHIMICHE CONTRO L'UMIDITÀ DI RISALITA

TIPOLOGIE, SISTEMI DI INIEZIONE E RIFERIMENTI NORMATIVI

4.1. L'umidità di risalita: introduzione e principi

4.1.1. Cause e conseguenze dell'umidità di risalita

L'umidità di risalita è una delle cause più frequenti di degrado delle murature ed è dovuta alla presenza di acqua nel terreno.

L'umidità presente nel sottosuolo può raggiungere la base della muratura e, sfruttando il principio della capillarità, risalire attraverso la parete. Questo processo può essere favorito dalla presenza di sali.

Il fenomeno interessa solitamente le pareti al piano terra o sotto il livello del suolo (esistono soluzioni studiate appositamente per i muri contro terra e per quelli interrati).

Vi sono caratteristiche particolari che permettono di distinguere l'umidità di risalita da altre forme di umidità sui muri, come la condensazione.

I tratti distintivi dell'umidità di risalita sono:

- la macchia è uniforme e procede dal pavimento verso l'alto;
- il bordo della chiazza è ben definito e di solito non supera l'altezza di un metro;
- la macchia persiste anche al variare delle condizioni climatiche e del tasso di umidità relativa;
- presenza di sali durante i periodi di elevata evaporazione ambientale.

4.1.2. Le soluzioni per l'umidità di risalita

Una volta accertato che la causa dell'umidità presente sulla parete è la risalita capillare dell'acqua, è possibile analizzare le tecnologie disponibili nel recupero edilizio e studiare le diverse soluzioni al problema dell'umidità di risalita:

- **Interventi meccanici:** taglio della parete alla base e inserimento di materiali che bloccano la risalita dell'umidità;
- **Interventi chimici:** creazione di una barriera chimica all'interno della muratura;
- **Interventi elettrosmotici:** inversione della direzione dell'acqua tramite corrente elettrica;
- **Intonaci evaporanti:** intonaci macroporosi che, grazie alla loro elevata velocità di evaporazione, assorbono rapidamente l'acqua dalla parete restituendola all'ambiente.

SALI NELLE MURATURE

CAUSE, MECCANISMI, PATOLOGIE E CORROSIONE DEI METALLI

Parlare o scrivere di sali che intaccano le murature non è semplice, poiché la letteratura relativa a questo specifico comparto del degrado edilizio è molto ampia e approfondita, soprattutto per gli operatori e gli esperti del settore.

È quasi naturale che un immobile presenti difetti, soprattutto se si tratta di edifici storici o datati. Questo accade perché nessuna costruzione è completamente esente da manutenzione, e molti edifici hanno attraversato secoli di uso e agenti ambientali. I difetti possono derivare da una costruzione non corretta, da scarsa qualità dei materiali, dalla mancanza di pratiche edilizie adeguate o da una manutenzione assente o inefficace.

A questi fattori interni si aggiungono elementi esterni e biologici che contribuiscono al degrado: esposizione ad aria, luce solare, umidità, contaminazione gassosa, caratteristiche del suolo e altre condizioni ambientali. Inoltre, le proprietà intrinseche dei materiali da costruzione giocano un ruolo fondamentale nella comparsa e nell'evoluzione dei danni.

5.1. Tipologie di sali igroscopici

I sali igroscopici rappresentano uno degli agenti principali del degrado delle murature. Per semplicità, possono essere suddivisi in tre gruppi principali: solfati, nitrati e cloruri, ciascuno con caratteristiche e comportamenti differenti.

Il gruppo dei **solfati** è il più frequente e significativo. Si tratta di sali dell'acido solforico presenti naturalmente nei materiali da costruzione, che possono assorbire grandi quantità d'acqua anche se in forma latente. Oltre alla loro presenza naturale, i solfati possono essere trasportati all'interno della muratura dall'umidità di risalita o per permeazione capillare, depositandosi nello strato sub-superficiale durante la fase di evaporazione. Sotto forma di acido solforico, possono raggiungere le superfici anche tramite il vapore acqueo o la pioggia battente, causando decoesione e corrosione superficiale dei materiali, che si manifesta come sabbia o sfaldamento stratificato. I solfati, tra cui sodio, potassio, magnesio, calcio e ferro, sono molto igroscopici e solubili, e il loro aumento di volume all'interno dei pori provoca tensioni che accelerano la disgregazione della muratura.

I **nitrati**, pur essendo meno presenti originariamente nei materiali da costruzione, sono estremamente solubili e altamente igroscopici. Possono essere trasportati in massa dall'umidità di risalita o depositarsi per condensazione, soprattutto in zone rurali vicino a stalle, concimaie o pozzi neri difettosi. Una minima parte può derivare anche da fertiliz-

LE MUFFE NEGLI EDIFICI

CAUSE, FATTORI SCATENANTI, TIPOLOGIE, RISCHI PER LA SALUTE, MODELLI PREDITTIVI E TECNICHE DI BONIFICA¹

La crescita di muffe negli edifici rappresenta una delle principali problematiche della patologia edilizia contemporanea. Si stima che la proporzione di edifici danneggiati da muffe sia del 45% in Europa, 40% negli USA, 30% in Canada e 50% in Australia (Brambilla & Sangiorgio, 2020).

Questo capitolo esamina le cause fondamentali della crescita fungina negli ambienti costruiti, ripercorre l'evoluzione storica della ricerca scientifica sul tema, presenta le principali specie fungine riscontrabili negli edifici con relative immagini identificative, analizza i meccanismi di formazione della muffa, le patologie correlate all'esposizione, lo stato dell'arte dei modelli predittivi e le tecniche di bonifica validate dalla comunità scientifica internazionale.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), occupandosi del tema già dall'inizio degli anni 2000, ha lanciato svariati appelli riguardo alla presenza di umidità e muffe negli ambienti interni, definendole una minaccia concreta per la salute della popolazione. Nel 2009, l'OMS, in collaborazione con HEAL, ha rilasciato le linee guida per la qualità dell'aria indoor, documento di riferimento ancora oggi fondamentale.

6.1. Evoluzione storica della ricerca sulle muffe negli edifici

6.1.1. Dalle origini alla rivoluzione igienista

La consapevolezza dei problemi legati all'umidità negli edifici ha radici antichissime. Già nel Levitico biblico (14, 34-57) si menziona la pericolosità degli ambienti con problemi di umidità, definita simbolicamente "piaga della lebbra" delle case. I Greci e i Romani erano già consapevoli degli effetti negativi dell'aria inquinata nelle città affollate e nelle miniere, come documentato da Ippocrate (460-377 a.C.).

Tra il XVII e il XVIII secolo furono stabilite connessioni tra gli effetti sulla salute e il lavoro in ambienti fortemente inquinati (Ramazzini, 1633-1714), la vita nelle città affollate come Londra (Arbuthnot, 1667-1735) e le condizioni lavorative pericolose. La qualità

¹ Il contenuto di questo capitolo è basato su fonti *peer-reviewed* e documenti autorevoli: OMS, ISS, EPA, IICRC, WTA, BRE, Ministero della Salute.

VESPAIO AERATO

NORMATIVE TECNICHE E CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO

Il vespaio aerato costituisce un sistema di isolamento fondamentale tra il terreno e la pavimentazione dell'edificio, con la funzione di prevenire sia l'umidità di risalita sia la penetrazione del gas radon negli ambienti abitabili. Affinché il sistema risulti realmente efficace, è indispensabile un corretto dimensionamento della ventilazione.

Il presente capitolo offre una sintesi completa e verificata delle normative italiane vigenti e dei metodi di calcolo adottati per il dimensionamento tecnico dei vespai aerati, con particolare riferimento alla Regione Lombardia.

7.1. Quadro normativo di riferimento

7.1.1. Normativa nazionale

- **D.M. 5 luglio 1975** – Decreto Ministeriale che ha introdotto per la prima volta requisiti specifici per l'isolamento dei locali abitabili dal suolo, rappresentando il primo riferimento normativo sulla materia.
- **D.P.R. n. 380/2001 (Testo Unico dell'Edilizia)** – Il Testo Unico dell'Edilizia ha consolidato l'obbligo di realizzare vespai aerati in tutti i nuovi edifici residenziali, definendo i principi fondamentali e generali per la disciplina dell'attività edilizia.
- **D.M. 14 gennaio 2008 (NTC 2008)** – Fornisce indicazioni generali sulla progettazione degli edifici, incluse le prescrizioni per la ventilazione delle intercapedini. Le NTC 2008 sono entrate in vigore il 1° luglio 2009 e sono state successivamente aggiornate con le NTC 2018.
- **D.Lgs. n. 101/2020 (Protezione dal Gas Radon)** – Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom sulla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Stabilisce limiti di concentrazione del gas radon:
 - 300 Bq/m³ per abitazioni esistenti e luoghi di lavoro;
 - 200 Bq/m³ per abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024.

7.1.2. Normativa regionale Lombardia

- **Circolare n. 103/SAN del 1991** (*Indicazioni sulla realizzazione di misurazioni di concentrazione di gas radon in ambiente chiuso, al fine della tutela della salute*) –

LE ALLUVIONI E L'ACQUA ALTA

INTERVENTI DI RIPRISTINO E PROTEZIONE DEGLI EDIFICI

Le alluvioni e l'acqua alta fanno ormai parte della cronaca italiana quasi quotidianamente. Cosa possiamo fare per i muri delle nostre case, tempestivamente, per non aggravare il degrado causato proprio dall'acqua alta?

Spesso mi trovo a risolvere problematiche in queste situazioni. Nello scenario di figura 8.1, in particolare, si aggiunge l'aggravante che l'acqua proveniente dal mare porta con sé anche i sali. La tempestività è essenziale quando si tratta di gestire i danni causati dall'acqua e, nel caso di un'alluvione, lo è ancora di più. Anche nei casi migliori, i danni causati dall'acqua che non vengono immediatamente attenzionati e risolti possono rapidamente sfuggire al controllo, rendendo più complesso il trattamento e aumentando i costi.



Figura 8.1. Danni da alluvione con aggravante di acqua marina

COME ASCIUGARE UNA CASA BAGNATA

OLTRE LA SEMPLICE AERAZIONE

Quando si verificano infiltrazioni o perdite d'acqua accidentali in una struttura edile, si è spesso portati a pensare che il problema sia di facile soluzione: si crede che basti lasciare le finestre aperte per far asciugare tutto naturalmente. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, la situazione non si risolve così facilmente. Al contrario, l'umidità può trasformarsi in un problema complesso e persistente, specialmente nelle abitazioni di recente costruzione, richiedendo un'attenzione particolare e professionale.

9.1. La propagazione dell'acqua nelle strutture moderne

In presenza di murature in mattoni o laterizio colpite da infiltrazioni piovane o perdite idriche, l'umidità non si limita a risalire per capillarità. L'acqua dispersa può diffondersi rapidamente seguendo il percorso degli impianti sotto i pavimenti o all'interno delle pareti, estendendo l'area danneggiata in modo incontrollato e spostandosi persino da un piano all'altro dell'edificio, creando una vera e propria ramificazione di criticità.

Nelle case di nuova generazione, l'impatto è aggravato da fattori tecnici ed emotivi. Spesso si tratta di immobili appena acquistati, frutto di sacrifici e di mutui a lungo termine; trovarsi con la casa bagnata a causa di un tubo rotto o di uno scarico ostruito è un evento logorante. Tecnicamente, il rischio è che la struttura manifesti conseguenze negative per anni: l'acqua resta infatti intrappolata nelle stratigrafie termoisolanti, nei materassini antirumore, nei cappotti termici o nelle contropareti in cartongesso. Anche i massetti alleggeriti e i corrugati degli impianti elettrici possono saturarsi d'acqua, rendendo l'asciugatura naturale pressoché impossibile o persistente per molti anni.

9.2. Differenze tra vecchie e nuove costruzioni

Anche le abitazioni di vecchia fattura subiscono danni a contatto con l'acqua, ma presentano un leggero vantaggio: la scarsità di strati isolanti moderni facilita, in certi casi, la traspirazione. Questo non significa che il risanamento sia una "passeggiata", ma che l'approccio tecnico debba necessariamente variare in base alla tipologia costruttiva.

Nelle strutture tradizionali (calcestruzzo e laterizio), l'acqua si sposta naturalmente dalle zone saturate a quelle asciutte. Questo fenomeno porta con sé il rischio di **efflorescenze saline**: quando l'acqua evapora in superficie, i sali disciolti cristallizzano, diventan-

CONDENSA INTERSTIZIALE E PROBLEMATICHE IGROTERMICHE IN EDILIZIA

NORMATIVE, FISICA DEL FENOMENO, METODI DI CALCOLO, DIAGNOSI, PATOLOGIE, SISTEMI ETICS E STRATEGIE DI PREVENZIONE

La condensa interstiziale rappresenta uno dei fenomeni più insidiosi e dannosi che possono verificarsi all'interno degli elementi costruttivi degli edifici. A differenza della condensa superficiale, facilmente individuabile, la condensa interstiziale si forma all'interno della stratigrafia delle pareti, delle coperture e dei solai, rimanendo nascosta fino a quando i danni non diventano evidenti e, spesso, irreversibili.

Il fenomeno si verifica quando il vapore acqueo presente nell'aria, migrando attraverso i materiali da costruzione per effetto della differenza di pressione parziale tra ambiente interno ed esterno, incontra strati a temperatura inferiore al punto di rugiada e condensa in forma liquida. Questo processo, apparentemente semplice, coinvolge complesse interazioni tra trasferimento di calore, diffusione del vapore acqueo, proprietà igroscopiche dei materiali e condizioni climatiche.

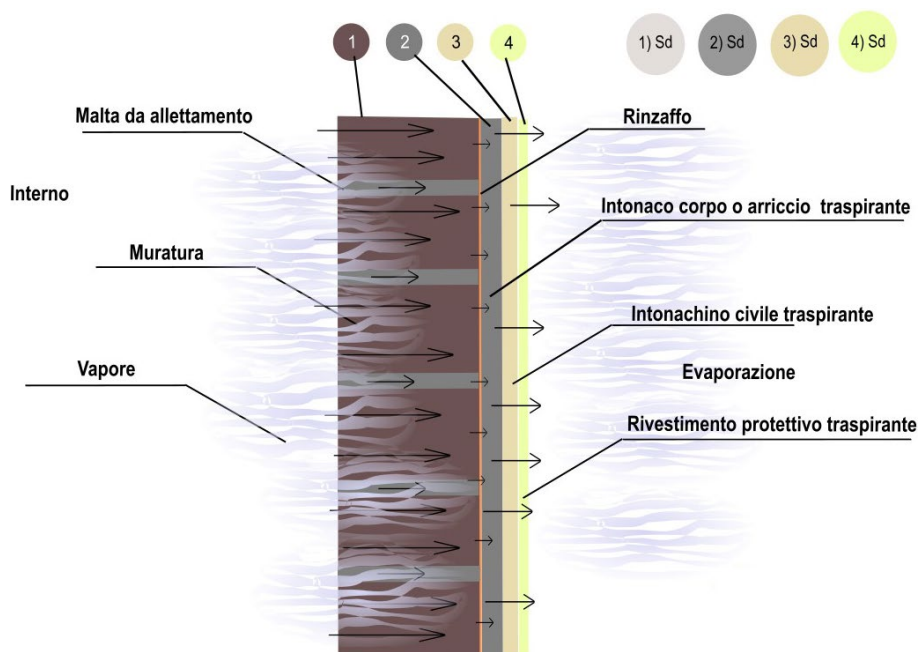


Figura 10.1. Attraversamento del vapore di una muratura con rivestimento traspirante

VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA PUNTUALE

ANALISI TECNICA, NORMATIVA E SCIENTIFICA

11.1. Introduzione alla VMC puntuale

La VMC puntuale, nota anche come VMC decentralizzata o *"single-room"*, è un sistema di ventilazione meccanica controllata che rinnova l'aria direttamente nell'ambiente in cui è installata, senza bisogno di canalizzazioni. A differenza dei sistemi centralizzati, queste unità si collocano nella parete perimetrale e gestiscono il ricambio d'aria di ciascun locale.

Il principio di funzionamento si basa sull'estrazione dell'aria viziata interna e l'immissione di aria fresca dall'esterno, con recupero dell'energia termica attraverso uno scambiatore di calore. L'aria in uscita cede il proprio calore (o fresco, in estate) all'aria in entrata, riducendo le dispersioni energetiche.

11.1.1. Tipologie: flusso alternato vs doppio flusso continuo

Sistemi a flusso alternato (*push-pull*)

Utilizzano un singolo condotto attraverso il quale l'aria viene alternativamente estratta e immessa, con cicli di circa 60-70 secondi. Lo scambiatore è di tipo rigenerativo, generalmente in ceramica porosa a nido d'ape, che accumula il calore durante la fase di estrazione e lo cede durante la fase di immissione.

Nota importante

Secondo la definizione 3.21 della norma UNI EN 13141-8:2022, un'unità a flusso alternato è definita come *«un paio di dispositivi di ventilazione meccanica utilizzando uno scambiatore di calore ad accumulo che funzionano in maniera sincronizzata ed opposta variando periodicamente la direzione del flusso d'aria»*. Una singola unità a flusso alternato NON realizza ventilazione bilanciata.

Sistemi a doppio flusso continuo (biforo)

Dispongono di due canali separati e due elettroventole che operano simultaneamente: una estrae l'aria viziata mentre l'altra immette aria fresca. Lo scambiatore è di tipo statico a flussi incrociati o controcorrente. I flussi d'aria non si mescolano mai direttamente, garantendo una filtrazione continua e un recupero termico costante.

LE INFILTRAZIONI NEI PREDALLES

ANALISI, METODOLOGIE DI INTERVENTO E RESINE IDROESPANSIVE

12.1. **I predalles: una soluzione costruttiva moderna**

L'introduzione dei *predalles* negli anni '50 ha segnato un'importante evoluzione nel settore delle costruzioni. Questa tecnologia ha rivoluzionato l'approccio costruttivo tradizionale, offrendo significativi vantaggi in termini di ottimizzazione dei tempi e razionalizzazione dei costi. Grazie alla parziale prefabbricazione, il sistema a *predalles* ha raggiunto un efficace equilibrio tra prestazioni strutturali ed efficienza realizzativa.

I *predalles* sono lastre prefabbricate costituite da una piastra di calcestruzzo armato, dello spessore di circa 5 cm, con intradosso piano e finito, armate con tralicci elettrosaldati di altezza variabile. Questi elementi, larghi fino a 120 cm e lunghi fino a 14 metri, vengono completati in opera con il getto di calcestruzzo collaborante.

12.1.1. **La problematica delle infiltrazioni**

Le infiltrazioni nei *predalles* rappresentano una problematica più frequente di quanto comunemente si pensi. I punti critici che richiedono particolare attenzione sono:

- i raccordi tra superfici orizzontali e verticali;
- le zone di attraversamento degli scarichi e degli impianti;
- i giunti di dilatazione, gli angoli e i risvolti;
- la potenziale formazione di condensa interna.

12.1.2. **L'importanza della fase diagnostica**

Nell'approccio a queste problematiche, la fase diagnostica risulta fondamentale. La prima azione consiste nell'identificazione precisa dei punti di ingresso dell'acqua, attraverso un'indagine approfondita. Per questa fase ci si avvale di professionisti specializzati, dotati di strumentazioni avanzate. Tuttavia, quando tale approccio non è praticabile per vincoli di budget o limitazioni strutturali, diventa necessario intervenire dall'interno.

12.1.3. **Le conseguenze delle infiltrazioni**

Le conseguenze sono particolarmente gravose: il percolamento può danneggiare irrimediabilmente i veicoli parcheggiati nelle aree interessate e richiedere protezioni continue

LE IMPERMEABILIZZAZIONI CON RESINE

UNA TRA LE PIÙ EFFICACI RISPOSTE CONTRO LE PROBLEMATICHE INFILTRATIVE DELLE ACQUE METEORICHE

13.1. Un tema di crescente centralità: il contesto climatico ed edilizio

Nel costruire contemporaneo, l'impermeabilizzazione di lastrici, terrazzi e balconi non è più una mera questione di tenuta all'acqua, ma una sfida tecnologica complessa, influenzata dal mutamento radicale delle condizioni climatiche. La resilienza delle superfici orizzontali è oggi messa a dura prova da sollecitazioni meteoriche che superano i parametri di progetto tradizionali.

Sempre più spesso, a distanza di pochi anni dalla costruzione iniziale, ci si trova a dover affrontare problematiche di infiltrazioni delle acque meteoriche dovute a vari fattori, i principali dei quali sono: una errata o mancata progettazione dei sistemi impermeabili e dei loro punti critici; stratigrafie costruttive di lastrici solari, balconi o coperture non corrette, oppure in cui manca l'interazione tra manti impermeabili, strati di isolamento termico, massetti delle pendenze, finiture estetiche e, non ultimo, l'attraversamento degli impianti elettrici e idraulici con il sistema impermeabile.

13.1.1. L'adeguamento ai nuovi picchi pluviometrici

Come se non bastasse, il patrimonio edilizio esistente eredita sistemi di raccolta e convogliamento delle acque meteoriche dimensionati per regimi di precipitazione del secolo scorso. Oggi, la frequenza di eventi estremi, caratterizzati da una straordinaria densità d'acqua in intervalli temporali ridotti (le cosiddette "bombe d'acqua"), mette drammaticamente in crisi pluviali e caditoie dal diametro insufficiente.

L'allagamento che ne consegue non è solo un problema di smaltimento, ma anche di pressione idrostatica sulle membrane: il ristagno causa spesso il superamento dei risvolti verticali delle guaine, progettati per altezze contenute. L'acqua, non trovando sfogo rapido nei condotti, si incunea nei punti critici tra serramenti, soglie e imbotti, determinando infiltrazioni interne alle unità immobiliari che spesso si manifestano lontano dal punto d'ingresso, rendendo la diagnostica molto complessa.

13.1.2. Le trasformazioni incongrue dell'edilizia storica

L'edilizia attualmente presente sul nostro territorio presenta troppo spesso criticità strutturali intrinseche, di origine ed in vari casi indotte da trasformazioni successive:

ACQUA SOTTO IL MANTO IMPERMEABILE

Una problematica ricorrente nei sistemi di copertura continua è la presenza di acqua all'intradosso dell'elemento di tenuta, un difetto che non dovrebbe mai verificarsi ma che si riscontra frequentemente a causa di capitolati errati e approssimativi.

Con gli spunti forniti da un articolo tecnico-scientifico dell'Arch. Antonio Broccolino¹, consulente di società d'ispezione a fini assicurativi, questo capitolo analizza le situazioni progettuali più critiche proponendo soluzioni conformi al Codice di Pratica I.G.L.A.E.

14.1. Il problema fondamentale

Il problema fondamentale risiede nella logica di progettazione di un sistema di copertura continua, che dovrebbe garantire l'assoluta tenuta stagna all'acqua dello strato impermeabile (elemento di tenuta, nella terminologia UNI). Non è quindi accettabile che, dopo il completamento dell'opera, possa sussistere alcuna possibilità di raccolta o permanenza d'acqua all'intradosso dell'elemento di tenuta.

In quest'ottica risultano particolarmente problematiche alcune scelte progettuali, quali la posa del massetto delle pendenze all'estradosso dei pannelli termoisolanti, l'utilizzo di impermeabilizzazioni provvisorie sotto il massetto, la realizzazione della stratigrafia impermeabile su un vespaio non correttamente aerato e l'impiego di un massetto di pendenza alleggerito con inerte parzialmente sciolto (drenante).

14.2. La sequenza corretta secondo il Codice di Pratica I.G.L.A.E.

Copertura termoisolata a tetto caldo

La stratigrafia corretta prevede, dal basso verso l'alto:

- 1) supporto di base (già inclinato o con massetto delle pendenze);

¹ Antonio Broccolino, «Acqua sotto il manto», Impresa & Cantiere – Impermeabilizzazioni Dettagli, *Specializzata* n. 203, Ottobre 2011, pp. 546-551.

Si ringrazia l'Arch. Antonio Broccolino per aver messo a disposizione il suo articolo e per il prezioso contributo tecnico-scientifico nel campo delle impermeabilizzazioni e della diagnostica delle coperture continue. La sua pluriennale esperienza come consulente tecnico e la rigorosa metodologia di analisi delle patologie edilizie, fondata sul Codice di Pratica I.G.L.A.E., costituiscono un riferimento imprescindibile per i professionisti del settore.

CACCIA ALL'INVISIBILE SOTTO IL GIARDINO

INDAGINE PER INFILTRAZIONE DI UN TETTO VERDE (SENZA DEMOLIRE): UN CASO STUDIO DI DIAGNOSTICA MOLTO ARTICOLATO

Caso studio fornito da Luca Panisi di *Ricerca Perdite S.r.l.*

Spesso, quando un giardino pensile inizia a presentare problematiche di infiltrazioni, la sentenza sembra già scritta: bisogna demolire e rifare il manto impermeabilizzativo. È l'incubo di ogni proprietario: vedere il proprio angolo di verde trasformarsi in un cantiere di demolizione lungo e costoso.

Ma esiste un'alternativa? La risposta è sì. Dopo una prima analisi visiva si passa a una ricerca della perdita vera e propria.

Questa lettura ci porterà dentro le fasi di questa diagnosi complessa, raccontando come la tecnologia e un protocollo rigoroso abbiano permesso di vedere ciò che l'occhio umano non poteva cogliere, salvando il giardino dalla demolizione.

15.1. L'Indizio: oltre l'apparenza visiva

La manifestazione iniziale era un classico stillicidio: gocce d'acqua che cadevano dal soffitto dei locali sottostanti. A un primo esame, il problema appariva localizzato e puntuale. L'indagine diagnostica, tuttavia, ha rivelato uno scenario più complesso.

Mediante termografia IR ad alta risoluzione (FLIR E96), l'operatore ha eseguito la scansione dell'intradosso del solaio. Le immagini termiche hanno evidenziato anomalie fredde (aree blu/viola), delineando una distribuzione dell'umidità non percepibile a occhio nudo.

I termogrammi confermarono che l'acqua non si limitava a gocciolare in un punto, ma si canalizzava all'interno della struttura, seguendo le pendenze del solaio.

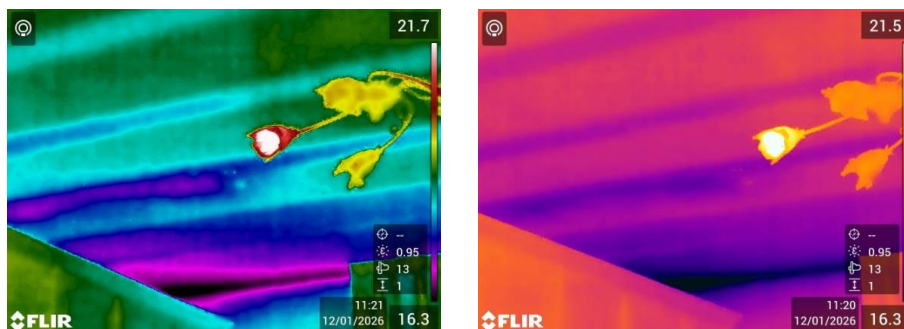


Figura 15.1. Termogrammi

I CORPI PASSANTI NELLE IMPERMEABILIZZAZIONI

I corpi passanti rappresentano uno dei punti critici più spesso sottovalutati nei sistemi di impermeabilizzazione. Tubazioni, cavi elettrici, tiranti di ancoraggio, elementi strutturali e altri componenti che attraversano una barriera impermeabile costituiscono potenziali vie per l'ingresso dell'acqua. La corretta progettazione e realizzazione di questi dettagli è fondamentale per garantire l'efficacia e la durabilità dell'intero sistema.

Come evidenziato dalla BS 8102:2022, la norma britannica di riferimento per la protezione delle strutture interrate contro l'ingresso dell'acqua, i punti di attraversamento dei servizi sono particolarmente vulnerabili alla penetrazione dell'acqua e richiedono un'attenta considerazione nella fase progettuale, in relazione alla loro posizione e spaziatura.

16.1. Definizione e classificazione dei corpi passanti

I corpi passanti sono elementi critici nei sistemi impermeabili, in quanto rappresentano qualsiasi componente costruttivo o impiantistico che attraversi uno strato impermeabile, creando una discontinuità nella barriera di tenuta all'acqua. Questa definizione include sia gli attraversamenti verticali, che perforano membrane orizzontali, sia quelli orizzontali, che attraversano pareti verticali impermeabilizzate.

Dal punto di vista della tipologia, i corpi passanti possono essere molto diversi tra loro. Tra questi troviamo le tubazioni idrauliche, come scarichi, condutture per l'adduzione idrica, impianti di riscaldamento o raffrescamento e linee del gas. Rientrano nella categoria anche le canalizzazioni elettriche, come cavidotti, tubi corrugati e passacavi per il cablaggio. Vi sono poi elementi strutturali, quali tiranti di ancoraggio, barre filettate o piastre di fissaggio, e componenti impiantistici come bocchettone di scarico, sfiati, esalatori e aeratori. Infine, i servizi esterni, come gli allacciamenti fognari o i collegamenti alle reti di distribuzione, costituiscono ulteriori corpi passanti da considerare.

Oltre alla tipologia, è utile classificare i corpi passanti in base al contesto applicativo. Possono infatti trovarsi in strutture interrate, come fondazioni, muri controterra, vasche o piscine, oppure in coperture, come tetti piani, terrazze o coperture a giardino pensile. Infine, possono interessare opere civili più complesse, come gallerie, tunnel, dighe o canali.

Questa classificazione discorsiva evidenzia come i corpi passanti siano punti particolarmente vulnerabili nelle impermeabilizzazioni, richiedendo attenzione progettuale e tecnica nella loro gestione.

LA SPINTA IDROSTATICA NELLE STRUTTURE INTERRATE

17.1. Definizione e principi fisici fondamentali

La spinta idrostatica rappresenta la pressione esercitata da un fluido in quiete su una superficie a contatto con esso. Nel contesto dell'edilizia interrata, questo fenomeno assume un'importanza critica per la stabilità e l'integrità delle strutture sotterranee quali cantine, garage interrati, parcheggi sotterranei e locali tecnici.

Il principio fisico alla base della spinta idrostatica deriva dalla legge di Stevino, secondo cui la pressione in un punto di un fluido in quiete è proporzionale alla profondità del punto rispetto alla superficie libera del fluido stesso.

La formula fondamentale è:

$$P = \rho \times g \times h$$

dove:

- P = pressione idrostatica [Pa o kPa];
- ρ = densità del fluido [kg/m^3] (per l'acqua $\approx 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$);
- g = accelerazione gravitazionale [$9,81 \text{ m}/\text{s}^2$];
- h = altezza della colonna d'acqua [m].

Un aspetto fondamentale della pressione idrostatica, noto come “paradosso idrostatico”, è che essa dipende esclusivamente dalla profondità e non dalla forma o dal volume del contenitore. Ciò significa che la pressione alla base di una parete interrata sarà identica indipendentemente dall'estensione orizzontale della falda acquifera.

Tabella 17.1. Valori di pressione idrostatica in funzione della profondità

Profondità (m)	Pressione (kPa)	Pressione (kg/m^2)	Equivalente (bar)
1,0	9,81	1.000	0,10
2,0	19,62	2.000	0,20
3,0	29,43	3.000	0,29
4,0	39,24	4.000	0,39
5,0	49,05	5.000	0,49
6,0	58,86	6.000	0,59

GESTIONE DELL'UMIDITÀ E DELLE INFILTRAZIONI NEI LOCALI SEMINTERRATI E INTERRATI

18.1. Il punto critico dove l'edificio incontra il terreno

Il seminterrato rappresenta il punto di maggiore vulnerabilità di un edificio. Qui, dove la costruzione entra in contatto diretto con il terreno, si concentrano tre problematiche principali: infiltrazioni d'acqua, umidità di risalita e gas radon. Quando non affrontate, queste generano conseguenze sanitarie serie: muffe e condense. Tutte invisibili nelle fasi iniziali, tutte capaci di causare danni significativi alla struttura e alla salute.

Affrontare questi problemi separatamente è un errore che si paga caro. La soluzione risiede in un approccio integrato, supportato da normative precise e tecniche consolidate.

18.1.1. Le tre problematiche dal terreno

I seminterrati possono essere interessati da infiltrazioni d'acqua, umidità di risalita e gas radon, con possibili danni a strutture e salute:

- 1) **Le infiltrazioni d'acqua:** nei seminterrati l'acqua del terreno – di falda o da accumulo meteorico – esercita pressione idrostatica sulle pareti controterra e sulla soletta di base. Se l'impermeabilizzazione è assente, inadeguata o degradata, l'acqua penetra attraverso fessure nelle pareti di fondazione, giunti mal sigillati, passaggi impiantistici e difetti nella soletta.
- 2) **L'umidità di risalita capillare:** si tratta di un fenomeno diverso dalle infiltrazioni: l'acqua presente nel terreno risale nei materiali porosi (cemento, pietra, mattoni) per capillarità. Durante la risalita trasporta sali minerali che cristallizzano nelle murature, causando efflorescenze saline, esfoliazione della pittura e distacco degli intonaci. Il problema nasce quasi sempre da un'impermeabilizzazione orizzontale inadeguata o assente.
- 3) **Il gas radon:** il radon è un gas radioattivo naturale – inodore, incolore e insapore – che si origina nel sottosuolo dal decadimento dell'uranio nelle rocce. Risale in superficie attraverso crepe e fenditure del terreno ed entra negli edifici, dove può accumularsi raggiungendo concentrazioni pericolose. I dati dell'Istituto Superiore di Sanità sono chiari: in Italia il radon è responsabile di circa 3.300 decessi all'anno per tumore polmonare, rappresentando la seconda causa di questo tipo di tumore dopo il fumo di sigaretta. Il rischio aumenta del 16% per ogni incremento di 100 Bq/m³ di concentrazione media.

CASI STUDIO



**PRONTO
GRAFILL**

**CLICCA per maggiori informazioni
... e per te uno SCONTO SPECIALE**

STATO DI FATTO



LA WEBAPP INCLUSA: CONTENUTI E ATTIVAZIONE

Contenuti della WebApp

La **WebApp inclusa**, parte integrante della pubblicazione, gestisce le seguenti utilità:

- **Approfondimenti sul Gas Radon negli edifici:** rischi, misurazione e tecniche di mitigazione.
- **Speciale Testo Unico Edilizia:** banca dati di normativa e giurisprudenza costantemente aggiornata a cura della redazione di www.lavoripubblici.it.
- **Quadro normativo, riferimenti bibliografici e fonti scientifiche** pertinenti agli argomenti della pubblicazione.

Requisiti hardware e software

- Dispositivi con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android;
- Accesso ad internet e browser web con Javascript attivo;
- Software per gestire documenti PDF e Office.

Attivazione della WebApp

- Collegarsi al seguente web link:

https://www.grafill.it/pass/0530_8.php

- Inserire i codici **[A]** e **[B]** presenti nell'ultima pagina del libro e cliccare **[Continua]**;
- Accedere al **Profilo utente Grafill** oppure crearne uno su **www.grafill.it**;
- Cliccare sul pulsante **[G-CLOUD]**;
- Cliccare sul pulsante **[Vai alla WebApp]** a fianco del prodotto acquistato;
- Fare il *login* usando le stesse credenziali di accesso al **Profilo utente Grafill**;
- Accedere alla WebApp cliccando la copertina esposta sullo scaffale **Le mie App**.

