



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Architettura

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Luglio 2025

UMIDITÀ DA RISALITA, MUFFE E CONDENSE NEGLI EDIFICI: CASO DI STUDIO EDIFICIO NEL VERCELLESE

Relatore:

Riccardo Pollo

Candidato:

Angelo Ubertalli

INDICE

	Prefazione	4
1	L'umidità negli edifici	5
1.1	Introduzione	5
1.2	Umidità e umidità relativa (U.R.%)	6
1.3	Cause dell'umidità, prevenzione e correttivi	8
1.4	L'umidità nelle costruzioni	9
1.4.1	Umidità di origine meteorica	9
1.4.1.1	Prevenzione	10
1.4.1.2	Correttivi	10
1.4.2	Umidità da cause impreviste e accidentali	11
1.4.2.1	Prevenzione	12
1.4.2.2	Correttivi	12
1.4.3	Umidità da condensa	13
1.4.3.1	Prevenzione	13
1.4.3.2	Correttivi	14
1.4.4	Umidità igroscopica	14
1.4.4.1	Prevenzione	14
1.4.4.2	Correttivi	15
1.4.5	Umidità da contatto col terreno	15
1.4.5.1	Cantine	16
1.4.5.2	Prevenzione	16
1.4.5.3	Correttivi	17
1.4.6	Umidità residua di costruzione	18
1.4.6.1	Prevenzione	19
1.4.6.2	Correttivi	19
1.4.7	Umidità da risalita	19
1.4.7.1	Altezza della risalita	21
1.4.7.2	Effetti dell'umidità	24
1.4.7.3	Prevenzione	27
1.4.7.4	Correttivi: interventi che non risolvono il problema	27
1.4.7.5	Correttivi: soluzioni per l'umidità di risalita	28

2	Le condense	30
2.1	Introduzione	30
2.2	Condensa superficiale	30
2.3	Condensa interstiziale	31
2.4	Condensa invernale e condensa estiva	35
2.5	Modalità correttive della condensa nelle costruzioni	36
2.6	La condensa sui ponti termici	37
2.7	Modalità correttive dei ponti termici	37
2.8	La barriera al vapore	38
2.9	Fattore forma dell'edificio	39
2.10	La condensa sui vetri	40
2.10.1	Correttivi	40
2.11	Asciugatura del bucato in casa	41
2.11.1	Prevenzione	41
2.12	La cappa della cucina	41
2.12.1	Prevenzione	41
2.13	Aerazione e ventilazione	41
2.13.1	Aerazione	42
2.13.2	Ventilazione meccanica	43
3	Le muffe	46
3.1	Introduzione	46
3.2	Quando si forma la muffa	47
3.3	Dove si forma le muffa	48
3.4	Relazione tra umidità e muffa	49
3.5	I diversi tipi di muffa	52
4	Caso di studio	55
4.1	Inquadramento	55
4.2	Indagine su edificio	60
4.3	Analisi storica delle manifestazioni	61
4.4	Rilievi	62
4.5	Seminterrato	67
4.5.1	Presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali	67
4.5.2	Presenza diffusa di umidità e di sali sulle superfici delle murature	71
4.5.3	Distacchi di calcestruzzo dalle armature delle strutture	73
4.6	Involucro edilizio verticale	77

4.6.1	Problematiche di natura infiltrativa	77
4.6.2	Intonaci distrutti o distaccati	79
4.6.3	Presenza di condense	80
4.6.4	Presenza di muffe	82
5	Caso di studio interventi correttivi proposti	84
5.1	Correttivi su edificio	84
5.2	Seminterrato	85
5.2.1	Presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali	85
5.2.2	Presenza diffusa di umidità e di sali sulle superfici delle murature	91
5.2.3	Distacchi di calcestruzzo dalle armature delle strutture	92
5.3	Involucro edilizio verticale	95
5.3.1	Problematiche di natura infiltrativa – Intonaci distrutti o distaccati	95
5.3.2	Presenza di condense	96
5.3.3	Presenza di muffe	99
	Conclusioni	101
	Bibliografia	102

PREFAZIONE

In questo lavoro si è cercato di fornire un quadro dei fenomeni di degrado legati all'umidità di risalita attraverso il richiamo al contesto generale e discutendo un caso concreto di analisi del fenomeno e di proposta di intervento

Il fenomeno dell'umidità di risalita è particolarmente rilevante in molte aree del Piemonte che presentano delle acque superficiali e costruzioni con strutture in muratura portante.

Da un punto di vista tecnologico e costruttivo il tema si presenta particolarmente interessante e di non semplice soluzione pratica.

1-L'umidità negli edifici

1.1 Introduzione

L'umidità è la prima causa di degrado delle costruzioni. Essa può agire in maniera diretta oppure indiretta, danneggiando le strutture, i materiali, le finiture e tutto ciò che è contenuto all'interno dei locali compresi mobili, oggetti, vestiario spesso in maniera irreversibile. Inoltre, l'umidità negli edifici, può provocare danni anche seri alla salute delle persone che risiedono o che lavorano nei locali umidi e malsani.

L'acqua produce azioni dirette e indirette sui materiali, sui sistemi edilizi.

Le azioni dirette indotte direttamente dall'acqua e dell'umidità si possono riassumere in:

- Impregnazione, imbibizione e idratazione
- Dissoluzione
- Dilavamento
- Danni da gelo
- Abrasione
- Corrosione
- Carichi e spinte idrostatiche o idrodinamiche
- Riduzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali
- Riduzione delle prestazioni termiche degli isolanti

Le azioni indirette sono invece quelle dove l'acqua è necessaria per attivare le azioni di danno ma non le esercita direttamente quali:

- Riduzione delle prestazioni termiche
- Aumento di volume da reazioni secondarie
- Trasporto di Sali
- Degrado biologico (muffe, batteri, insetti e vegetazione infestante)
- Corrosione elettrochimica dei materiali.¹

Le azioni di impregnazione, imbibizione, riduzione delle caratteristiche meccaniche e la riduzione delle prestazioni termiche possono avere un effetto reversibile mentre le azioni di dilavamento, dissoluzione, corrosione, marcescenza del legno, corrosione elettrochimica dei materiali, degrado biologico e aumento di volume sono purtroppo irreversibili.

Alcune azioni di degrado si autoalimentano progressivamente con il tempo. La corrosione delle armature in acciaio nel cemento armato, per esempio, è dovuta prevalentemente alle azioni espansive causate dalla formazione di ruggine cioè ossido idrato di ferro, che si origina dal contatto contemporaneo di ferro metallico, acqua ed ossigeno in ambiente avente pH sufficientemente basso. In questo caso la corrosione genera un potenziale elettrochimico capace di indurre ulteriore degrado fino alla

1.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

completa distruzione del materiale.

Il fenomeno progressivo nel tempo è molto legato al fenomeno di carbonatazione del cls con abbassamento del PH e della protezione chimica dell'acciaio.

Altre azioni di degrado invece procedono con continuità danneggiando porzioni via via crescenti del materiale interessato. Un intonaco o un rivestimento esposto all'acqua e agli agenti atmosferici, subirà un degrado crescente nel tempo, grosso modo proporzionale al periodo di esposizione.

In ogni caso l'acqua e l'umidità sono sempre dannose per i materiali, perciò occorre evitare o limitare il più possibile il loro contatto con l'edificio.

Fra i più gravi inconvenienti che l'acqua può provocare nelle murature vi è il deterioramento delle superfici quando l'acqua medesima si congela poiché in tali condizioni aumenta di volume esercitando una forte pressione sulla superficie dei pori causando il distacco di parti superficiali, via via sempre più profonde, di materiale lapideo e di legante. Il fenomeno, detto di "gelività", risulta particolarmente significativo in presenza di pietre gelive. La permanenza di umidità nei muri produce anche fenomeni che non riguardano il degrado ma piuttosto importanti rispetto alle prestazioni come per esempio la dispersione termica dell'involucro.

L'umidità, in concorso con altri composti di natura chimica o organica presenti nelle murature, nell'atmosfera o nel sottosuolo, conduce alla formazione di macchie e di efflorescenze le quali, possono portare, provocando il distacco di materiale dai paramenti.

Inoltre, le opere di efficientamento e riqualificazione energetica, per raggiungere lo scopo di disperdere meno energia possibile, riducendo le infiltrazioni attraverso i serramenti impediscono i ricambi d'aria utili per eliminare l'umidità, naturalmente presente sotto forma di vapore acqueo all'interno degli ambienti che gli spifferi dei vecchi infissi, per quanto fastidiosi, hanno sempre garantito fornendo la ventilazione necessaria a mantenere l'aria pura e sufficientemente asciutta.

1.2 Umidità e umidità relativa (U.R.%)

L'umidità è la quantità di vapore acqueo contenuta in una massa d'aria, in una sostanza o in un corpo. Esistono diverse misure dell'umidità, ma ciò che normalmente s'intende quando parla di "umidità", è l'umidità relativa.

L'umidità relativa, abbreviata in UR, indica in percentuale del massimo che ogni metro cubo d'aria potrebbe contenere sotto forma di vapore alla temperatura ambiente.

Per definizione è un numero reale compreso tra 0 e 1 per cui un'umidità relativa unitaria (100%) indica che il miscuglio gassoso contiene la massima quantità di umidità possibile per le date condizioni di temperatura e pressione.

La salubrità di un locale di un locale dipende dal tasso di umidità relativa espressa in percentuale UR% dell'aria dell'ambiente.

L'umidità nell'aria ambientale in un locale è causata da uno o più di tre diversi fenomeni molto differenti tra loro, ciascuno provocato da una causa specifica che va individuata separatamente dalle altre perché le tre cause sono indipendenti l'una dall'altra anche se possono coesistere.

Siccome la saturazione dipende dalla temperatura dell'aria, modificando la temperatura di una miscela aria-vapore d'acqua, variano i valori di umidità relativa ma si mantiene inalterato il contenuto di vapore in grammi.

Se la temperatura diminuisce, i grammi di vapore che contiene diventeranno eccessivi per la nuova temperatura più bassa. In questo caso l'eccesso sarà espulso sotto forma di goccioline d'acqua: all'aperto queste verranno chiamate rugiada, nebbia o nuvole, mentre in ambiente confinato queste si depositeranno sulle superfici come condensa.

In una massa d'aria isolata ad una certa temperatura, contenente una data quantità di vapore acqueo, al ridursi della temperatura, l'aria tende ad aumentare la sua umidità relativa, fino a raggiungere il 100%, ovvero la condizione di umidità satura.

Ad UR del 0% corrisponde a un'aria perfettamente secca (questo valore di umidità relativa non è mai raggiunto in natura, neanche nei deserti).

Quando le temperature scendono, corrispondenza delle ore notturne, il punto di saturazione diminuisce con il calare delle temperature.

L'eccessiva umidità dell'aria, percentuali oltre il 65% causa stati di disagio e di debolezza nell'uomo, fino a malesseri.

L'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) ha fornito dei valori di riferimento che indicano quale sia il tasso di umidità ideale per un'abitazione. Questi dati sono stati definiti sulla base del rapporto tra temperatura e umidità ideale in casa.²

In particolare, ad una temperatura pari a 18°C, l'OMS identifica come tasso ideale un'umidità compresa tra il 60% e il 70%. Se la temperatura fosse di 19°C, l'umidità in casa dovrebbe essere compresa tra il 50% e il 70%. A 20°C, dovrebbe essere compresa tra il 40% e il 70%. Salendo a 22°C, tra il 40% e il 60% e, se la temperatura supera i 24°C, l'umidità ideale in casa dovrebbe essere compresa tra il 30% e il 40%.

Per esempio, l'aria a 20°C con il 50% di UR, contiene 8,7 grammi di acqua sotto forma di vapore per m³. Se abbassiamo la temperatura della stessa aria a 10°C, l'umidità assoluta cioè il contenuto d'acqua non cambia, ma il valore di UR diventa del 92%.

Gli effetti dell'aria con UR del 92% sui materiali sono ben diversi rispetto a quelli della stessa aria avente UR del 50%. Perciò il valore di umidità relativa UR è un parametro fondamentale per poter capire e interpretare i rapporti reciproci fra umidità dell'aria e quella dei supporti, siano essi materiali costruttivi, di rivestimento o di arredo.

Nella tabella (Figura 1.1) sono riportate le quantità di vapore in g/m³ contenuto nell'aria alle varie temperature. All'aumentare dell'UR la condensazione avviene più facilmente, cioè con valori più alti di temperatura delle superfici.

A differenza dell'umidità relativa, l'umidità assoluta, abbreviata in UA, esprime la massa del vapore acqueo in un determinato volume d'aria (che è una miscela aria-vapore acqueo), più precisamente, essa misura quanti grammi di vapore acqueo sono presenti in 1 m³ d'aria umida, a una data temperatura e una data pressione.

In pratica, l'umidità assoluta è un valore di difficile interpretazione e per cui si preferisce utilizzare il rapporto di mescolanza essere espresso in kg di vapore su kg di aria secca.

Figura 1.1

Quantità di vapore in g/m³ contenuto nell'aria in funzione della sua temperatura

Temp. aria (°C)	Umidità relativa (%)												
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
30	12,1	13,6	15,2	16,7	18,2	19,7	21,2	22,7	24,2	25,8	27,3	28,8	30,3
29	11,5	12,9	14,4	15,8	17,2	18,7	20,1	21,5	23,0	24,4	25,8	27,2	28,7
28	10,9	12,2	13,6	15,0	16,3	17,7	19,0	20,4	21,8	23,1	24,5	25,8	27,2
27	10,3	11,6	12,9	14,2	15,5	16,8	18,1	19,4	20,6	21,9	23,2	24,5	25,8
26	9,8	11,0	12,2	13,4	14,6	15,9	17,1	18,3	19,4	20,7	22,0	23,2	24,8
25	9,2	10,4	11,5	12,7	13,8	15,0	16,1	17,3	18,4	19,6	20,7	21,9	23,0
24	8,9	9,8	10,9	12,0	13,1	14,2	15,3	16,4	17,4	18,5	19,6	20,7	21,8
23	8,2	9,3	10,3	11,3	12,4	13,4	14,4	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,6
22	7,8	8,7	9,7	10,7	11,6	12,6	13,6	14,6	15,5	16,5	17,5	18,4	19,4
21	7,4	8,2	9,2	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,6	16,5	17,4	18,3
20	6,9	7,8	8,7	9,5	10,4	11,3	12,1	13,0	13,8	14,7	15,6	16,4	17,3
19	6,5	7,3	8,2	9,0	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	13,9	14,7	15,5	16,3
18	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,0	10,8	11,6	12,3	13,1	13,9	14,6	15,4
17	5,8	6,5	7,3	8,0	8,7	9,4	10,2	10,9	11,6	12,3	13,1	13,8	14,5
16	5,4	6,1	6,8	7,5	8,2	8,8	9,5	10,2	10,9	11,6	12,2	12,9	13,6
15	5,1	5,8	6,4	7,0	7,7	8,3	8,9	9,6	10,2	10,9	11,5	12,3	12,8
14	4,8	5,5	6,1	6,7	7,3	7,9	8,5	9,1	9,7	10,3	10,9	11,5	12,1
13	4,6	5,1	5,7	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,1	9,7	10,3	10,8	11,4
12	4,3	4,8	5,4	5,9	6,4	7,0	7,5	8,0	8,6	9,1	9,6	10,2	10,7
11	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	3,8	4,2	4,7	5,2	5,6	6,1	6,6	7,1	7,5	8,0	8,5	8,9	9,4
9	3,5	4,0	4,4	4,8	5,3	5,7	6,2	6,6	7,0	7,5	7,9	8,4	8,8
8	3,3	3,7	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,1	7,5	7,9	8,3
7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8
6	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8	6,2	6,6	6,9	7,3
5	2,7	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4	4,8	5,1	5,4	5,8	6,1	6,5	6,8
4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4
3	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
2	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,0	5,3	5,6
1	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2	4,4	4,7	4,9	5,2
0	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,1	4,4	4,6	4,8
Vapore acqueo grammi per metro cubo di aria (gr/m3)													

Fonte: Isostyle S.r.l – <https://silicato.isolstyle.com>

1.3 Cause dell'umidità, prevenzione e correttivi

La presenza di persone o animali all'interno di un locale apporta vapore all'aria tramite la respirazione e alla traspirazione corporea. A questo, inevitabilmente si aggiunge il vapore prodotto dalle attività e all'utilizzo del locale quali la cottura dei cibi, l'asciugatura del bucato, la combustione del gas, la presenza di piante ecc.

Il vapore continuamente prodotto (aumento dei grammi contenuti in ciascun metro cubo d'aria) se non viene correttamente gestito ed evacuato, tenderà ad accumularsi, aumentando via via la sua quantità all'interno dell'edificio.

Quando la temperatura interna si mantiene stabile, all'aumento dei grammi di vapore corrisponderà un aumento dell'umidità relativa dell'aria, fino alla saturazione.

Con elevati valori di umidità relativa, i fenomeni di condensazione sono enormemente

facilitati. Nei punti più freddi dell'edificio, l'umidità relativa dell'aria raggiungerà localmente i valori di saturazione, e si formerà quindi dell'acqua liquida sotto forma di condensa superficiale.

Durante il normale utilizzo di una abitazione dove vivono quattro persone, vengono quotidianamente emessi circa 12 litri d'acqua sotto forma di vapore, pari a 12.000 grammi. È necessario quindi creare le condizioni perché questo vapore indesiderato possa correttamente uscire di casa.³

Le modalità sono due: o con il ricambio dell'aria, in modo da far uscire aria più umida e far entrare aria più secca equilibrando la quantità di vapore in grammi contenuta in casa, oppure facendo condensare l'umidità in eccesso mediante una macchina frigorifera, che può essere un deumidificatore o un condizionatore che funziona in modalità deumidificazione. Aerare o ventilare la casa è sempre utile per la riduzione dell'umidità, bisogna però tenere conto dei seguenti aspetti:

- La necessità di ricambio d'aria non dipende dal volume della casa ma dalla quantità di vapore al suo interno
- Durante l'inverno l'aria esterna è sempre più secca di quella interna, perciò aerare o ventilare corrisponde a deumidificare
- L'evacuazione dell'umidità non è proporzionale ai ricambi d'aria
- L'immissione di aria deve essere controllata rispetto alla temperatura

1.4 L'umidità nelle costruzioni

Il riconoscimento delle cause della presenza di umidità è essenziale per l'individuazione delle azioni progettuali, preventive e costruttive.

L'eccesso di umidità nelle costruzioni può avere diverse cause le più comuni sono:

- 1.Umidità di origine meteorica
- 2.Umidità da cause impreviste (rotture impianti ecc.)
- 3.Umidità da condensa
- 4.Umidità igroscopica
- 5.Umidità da contatto col terreno
- 6.Umidità di costruzione.
- 7.Umidità di risalita

Spesso queste manifestazioni sono facilmente distinguibili anche se presenti contemporaneamente, combinandosi e rafforzarsi a vicenda. In altri casi non vi è una distinzione netta fra i vari fenomeni.

1.4.1 Umidità di origine meteorica

L'umidità di origine meteorica è dovuta al contatto dell'edificio con acqua derivante da precipitazioni piovose, oppure da neve, ghiaccio, nebbia, brina e rugiada. Si riferisce generalmente a eventi infiltrativi, che possono essere di entità modesta o di maggior

3.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

rilevanza in funzione delle caratteristiche dell'edificio, della sua collocazione e dall'intensità delle precipitazioni.

Si tratta della principale causa di deterioramento delle costruzioni ed è quella che arreca i maggiori danni in assoluto alle opere edili.

Nelle vecchie costruzioni, specie in quelle fatiscenti, l'umidità nelle murature derivante da infiltrazioni della pioggia è sempre presente. L'acqua meteorica penetra facilmente sia nei mattoni che nelle strutture calcestruzzo.

L'acqua meteorica penetra orizzontalmente nel muro grazie alla pressione del vento ed alla capillarità del materiale dell'involucro edilizio.

Nelle pareti verticali esterne la pioggia si infila più frequentemente fra i giunti di malta che legano i mattoni o i blocchi di pietra. Le malte, infatti, fra i componenti della muratura sono quelle che presentano, nella maggior parte dei casi, un più precoce invecchiamento con conseguente perdita di consistenza e di coesione.

Ovviamente ove sono presenti distacchi fra i giunti di malta ed elementi lapidei, causati dagli sbalzi termici (giunti naturali) e da movimenti di dissesto (cedimenti differenziali nelle fondazioni, spinte delle volte ecc.) la penetrazione dell'umidità di origine meteorica è decisamente agevolata.

Anche una realizzazione corretta delle facciate dell'edificio, non impedisce che nel tempo vi possano essere infiltrazioni o perdite di tenuta delle sigillature e nei punti di discontinuità come angoli, spigoli, raccordi, giunti, variazioni di livello soprattutto se non si è provveduto ad una adeguata manutenzione.

Un'altra causa frequente di infiltrazione risiede nelle fessurazioni e nei dissesti in genere delle superfici orizzontali, quali ad esempio le cornici, fasce marcapiano, lesene, i marciapiedi, le soglie e i timpani delle porte e delle finestre, e in tutti quegli elementi, realizzati spesso in pietra da taglio che lasciano penetrare l'acqua per rotture dovute a movimenti della costruzione o per faticanza dei giunti e degli allettamenti di malta.

Le parti dell'edificio più soggette ad infiltrazioni di origine meteorica sono la copertura e le parti aggettanti quali balconi ecc.

La penetrazione può avvenire anche attraverso i tetti, quasi sempre deformati nelle loro falde per i dissesti e la degradazione dell'ossatura portante in legname oltre alla faticanza del manto impermeabile (tegole rotte e dislocate).

1.4.1.1 Prevenzione

La manutenzione ordinaria di impermeabilizzazione e sigillatura dell'involucro edilizio è estremamente importante ai fini della prevenzione dal degrado e per assicurare il mantenimento del valore immobiliare degli edifici nel tempo. A seconda del problema da affrontare esistono varie tecniche, materiali e tecnologie disponibili da valutare con attenzione a seconda dei casi da affrontare. Però, è soprattutto una attenta verifica periodica, dell'edificio poiché molti problemi che portano all'umidità di origine meteorica non sono facilmente riscontrabili.

1.4.1.2 Correttivi

I danni causati da fenomeni di origine meteorica sono essenzialmente legate alle

infiltrazioni.

Poiché questi fenomeni possono iniziare con minime penetrazioni idriche che si protraggono per molto tempo prima che inizino a comparire segni visibili i danni causati possono essere importanti, difficili da identificare e causare eventuali danni da corrosione agli elementi portanti dell'edificio, tali da incidere sull'integrità strutturale complessiva dell'edificio.

L'eliminazione del danno o del difetto che lo ha causato prevede la riqualificazione funzionale dell'elemento che ha manifestato il cedimento come il ripristino di elementi, riparazioni, sigillatura, rifacimenti e sostituzioni.

1.4.2 Umidità da cause impreviste e accidentali

L'umidità da cause impreviste e accidentali è un problema non previsto e non prevedibile in fase di progettazione che può colpire qualsiasi edificio, indipendentemente dal suo stato o dalla sua ubicazione. Questa condizione si verifica principalmente a causa di incidenti come rottura di tubature o di un impianto di scarico o guasti degli elettrodomestici, oppure ad allagamenti dovuti a cause diverse, che non sono da mettere in relazione con il corretto utilizzo dell'immobile, causando danni anche considerevoli all'edificio e alle sue strutture interne.

L'umidità eccessiva può danneggiare i materiali da costruzione, come il legno, il gesso e il metallo, indebolendo la struttura dell'edificio e riducendone la durata nel tempo.

L'acqua stagnante può infiltrarsi nei pavimenti, creando danni irreparabili e implicando costose riparazioni.

Gli impianti (idrico-sanitario, di riscaldamento, i serbatoi d'acqua, le condotte pluviali, converse, canne fumarie, fognature ecc.) sono spesso rifatti in periodi posteriori alla costruzione dell'immobile. Tutto ciò comporta percorsi delle condotte spesso irrazionali e mal protetti, la cui mancanza di manutenzione contribuisce ad un rapido degrado generale e a fenomeni di corrosione delle condutture stesse. Le perdite di liquido che ne derivano si infiltrano in vario modo nella muratura rendendo, a volte, problematica la ricerca e l'individuazione delle cause.

Le perdite più frequenti si riscontrano in genere nei serbatoi di raccolta dell'acqua potabile e nelle relative condotte di raccordo, nelle vasche di espansione dell'impianto di riscaldamento, nelle condotte verticali di scarico dei servizi igienici e, specialmente nei loro raccordi con apparecchi igienico-sanitari. Per quanto riguarda i sistemi di raccolta e smaltimento dell'acqua piovana l'infiltrazione si verifica spesso per la sconnessione o la rottura delle curve, delle converse delle falde di tetti, comignoli, ecc. Di conseguenza prima di iniziare qualsiasi operazione di restauro sarà indispensabile controllare perfettamente tutti i suddetti impianti ed elementi costruttivi mettendoli a nudo per sostituirli con dei nuovi quando non siano in perfetta efficienza o facilmente ed economicamente ripristinabili.⁴

4.Cigni G., Codacci-Pisanelli B. (1987), *Umidità e degrado negli edifici*, Edizioni Kappa, Roma.

1.4.2.1 Prevenzione

Prevenire l'umidità accidentale è essenziale per mantenere un edificio sano e sicuro. Una verifica periodica delle principali fonti di danno accidentale con la manutenzione regolare anche attraverso un piano di ispezione, è possibile se non eliminare il rischio, perlomeno ridurlo in maniera considerevole e risolvere i problemi in modo tempestivo. La regolare manutenzione degli impianti è la migliore prevenzione di questo insidioso problema.

Diverse sono le misure preventive che possono essere adottate per ridurre il rischio di umidità accidentale e i suoi effetti negativi:

_Ispezioni periodiche regolari delle tubature, delle valvole e degli elettrodomestici dell'intero edificio aiuterà a individuare potenziali problemi prima che si trasformino in gravi perdite d'acqua;

_Manutenzione delle tubature con sostituisci i tubi vecchi o danneggiati e assicurandosi che siano adeguatamente isolati. In inverno, proteggere le tubature dal gelo utilizzando isolanti termici;

_Prestare attenzione agli elettrodomestici quali frigoriferi, lavatrici, lavastoviglie e altri elettrodomestici che utilizzano acqua e alle rispettive tubazioni di adduzione e scarico acqua che devono essere controllati regolarmente per eventuali perdite o guasti. Sostituisci immediatamente le parti danneggiate o guaste;

_Monitorare tetti e coperture, in particolare controllando crepe, fessurazioni di guaine, tegole rotte (soprattutto a seguito di grandinate o del passaggio di operatori) che possono causare perdite da coperture e tetti, con grandi conseguenti disagi;

_Riparare tempestivamente perdite d'acqua individuate e le macchie di umidità sulle pareti;

_Rimandare l'intervento su un problema di umidità può solo peggiorare la situazione.

Non sottovalutare l'importanza di affrontare l'umidità accidentale, poiché agire in modo preventivo è la chiave per preservare l'integrità delle strutture ed evitare costose riparazioni in futuro.

1.4.2.2 Correttivi

L'umidità accidentale può comportare una serie di rischi significativi per le costruzioni edili.

Dopo aver riparato l'eventuale guasto o evacuato l'acqua nel caso degli allagamenti, occorrerà attendere i necessari tempi di asciugatura dell'edificio, che avviene per evaporazione. Nei casi più gravi o urgenti, sarà necessario utilizzare degli appositi deumidificatori professionali, per poter riportare prima possibile i valori di umidità dell'edificio a livelli sufficientemente bassi, tali da consentire il suo utilizzo in condizioni igieniche ottimali poiché uno dei problemi principali è la formazione di muffe e funghi, che possono svilupparsi rapidamente nelle aree umide e buie.

Questi organismi fungini non solo danneggiano la struttura dell'edificio, ma possono anche provocare seri problemi di salute, come allergie, irritazioni respiratorie e persino problemi più gravi per le persone con asma o sistemi immunitari compromessi.

1.4.3 Umidità da condensa

L'umidità da condensa è uno dei problemi più comuni nelle abitazioni, soprattutto nei vecchi edifici che non sono stati costruiti secondo requisiti tecnici recenti, e quindi senza l'obiettivo di ridurre, limitare ed eliminare l'umidità dovuta alla condensa superficiale su pareti poco isolate.

L'umidità da condensa si verifica quando il vapore acqueo presente nell'aria all'interno della stanza viene a contatto con una superficie sufficientemente fredda da raggiungere il punto di rugiada e si trasforma in un liquido, bagnando la superficie

Può verificarsi o per abbassamento della temperatura oppure per l'aumento dell'umidità relativa dell'aria.

Se si forma sulle superfici, prende il nome di "condensa superficiale", mentre se avviene all'interno di una massa porosa, generalmente un isolante termico, si chiama "condensa interstiziale".

Su elementi porosi assorbenti, come cemento, intonaco, gesso, massetti cementizi, legno e carta, la condensazione non è immediatamente visibile perché la prima umidità che forma acqua liquida che si forma viene immediatamente assorbita dal materiale.

Viceversa sui supporti non assorbenti, come rivestiti da piastrelle come cucine e bagni, vetri, telai degli infissi in metallo, lastre in pietra, superfici smaltate, la condensa risulta immediatamente visibile sotto forma di goccioline d'acqua sulle superfici che colano verso il basso.

Un ulteriore esempio di questo si ha spesso negli edifici costruiti con putrelle di acciaio nei solai. Il vapore che si condensa sulle strisce più fredde di intonaco, in corrispondenza delle putrelle, provoca un'alterazione di colore dell'intonaco che le ricopre. In questo modo si creano sul solaio delle caratteristiche strisce scure.

1.4.3.1 Prevenzione

Per prevenire le formazioni di condense si può agire nei seguenti modi:

- ventilare bene gli ambienti aerandoli adeguatamente
- limitare gli apporti di umidità nei locali, cioè generare poco vapore
- mantenere una temperatura invernale sufficientemente elevata
- evitare il riscaldamento ciclico
- evitare la creazione di umidità con le buone abitudini
- tenere sotto controllo l'umidità con un igrometro e deumidificatore
- fare un adeguata manutenzione agli infissi

La condensa si forma sempre sulle superfici fredde infatti si manifesta negli angoli, intorno alle finestre, in corrispondenza dei ponti termici, sui vetri e sulle superfici trattate a smalto. Per evitare la formazione della condensa bisogna evitare quelle condizioni che ne favoriscono la formazione quali temperature basse, riscaldamento intermittente, ventilazione non corretta.

Incrementare la temperatura superficiale di pochi gradi, può essere sufficiente per rendere impossibile la formazione di nuova condensa.

L'aerazione e ventilazione adeguata degli edifici, temperature elevate delle superfici aiutano a contrastare fastidiose formazioni biologiche di muffe, acari e batteri, che

molto spesso colonizzano le abitazioni.

1.4.3.2 Correttivi

A seguito degli interventi preventivi non sufficienti sarà indispensabile aumentare il potere isolante delle superfici dell'involucro edilizio. Oltre a correggere le parti più fredde dell'edificio ove si manifesta la condensa potrà essere necessario intervenire sull'insieme dell'immobile, apportando significativi risparmi sui costi della gestione del riscaldamento e rendendo l'ambiente più confortevole e salubre.

1.4.4 Umidità igroscopica

L'umidità ambientale può essere mantenuta dalla sola presenza di cristalli di sali comunemente presenti nelle superfici dei muri dove si sono accumulati. Ciò perché questi cristalli sono igroscopici ed assorbono acqua dall'umidità dell'aria ambiente. L'igroscopia più comune è quella del cristallo del comune sale da cucina, il cloruro di sodio, ma qualsiasi intonaco o muro contiene una certa quantità di sali igroscopici propri della struttura muraria ed anche altri sali estranei ad essa (per esempio i sali minerali del terreno). I sali trasportati dalla continua risalita capillare dell'umidità fuoriescono dal muro e si depositano sull'intonaco e sulla pittura. Una volta terminato efficacemente il processo di deumidificazione dei muri, sull'intonaco o sulla pittura, rimangono dei sali residui che possono assorbire una certa quantità di umidità dell'aria; è possibile quindi, per tale ragione, che il muro risulti asciutto all'interno ma che la pittura e/o l'intonaco con eccessivo contenuto di sali risultino ancora umidi.

L'umidità igroscopica è quella derivante dal vapore acqueo contenuto nell'aria che si trasferisce sulle superfici e sui supporti porosi, a causa delle reciproche attrazioni elettrostatiche di interfaccia esistenti fra i materiali solidi ed il vapore. Essa dipende da diversi fattori, alcuni dei quali sono caratteristici dei materiali, come la composizione chimica, forma e dimensione dei pori e la presenza o meno di sali nei supporti, mentre altri fattori sono relativi ai parametri ambientali, Come la temperatura, la pressione e l'umidità relativa.⁵

In presenza di risalita in atto la quantità di bagnato nel muro può essere dovuta ben più alla igroscopicità dei cristalli dei sali che non alla risalita. Esempi di questa situazione sono cristalli di nitrati, sali da escrementi in una ex-stalla per cavalli, pecore o per bovini oppure in caseifici nei quali si sono prodotti formaggi o si sono lavorati prosciutti e salami anche in un passato lontano.

1.4.4.1 Prevenzione

I parametri che determinano la cessione di umidità dall'aria ai supporti edili sono l'umidità relativa e la temperatura. Controllando questi parametri, i fenomeni igroscopici possono essere ridotti anche in maniera sensibile, al punto da non essere più avvertiti. Infatti se si supera il valore del 65%, il valore dell'umidità relativa si verificano le condizioni idonee per un notevole assorbimento igroscopico da parte dei

5.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

materiali che costituiscono le murature. Per ridurre o eliminare l'umidità da assorbimento igroscopico, occorre tenere bassa l'umidità relativa dell'aria e contemporaneamente bisogna aumentare la sua temperatura.

Le murature contenenti silicio, come per esempio i laterizi, sono maggiormente igroscopici, e la presenza di sali solubili al loro interno o sulle superfici tende ad aumentare l'assorbimento di umidità.⁶

1.4.4.2 Correttivi

Se non si ottengono risultati soddisfacenti tenendo bassa l'umidità relativa dell'aria e contemporaneamente aumentando la sua temperatura, bisogna intervenire in modo più energico rimuovendo il vecchio intonaco danneggiato contenente i sali che ostacolano il processo di deumidificazione. Per il risanamento degli intonaci, occorre utilizzare il rinzafo antisale che è resistente ai sali.⁷

1.4.5 Umidità da contatto col terreno

L'umidità da contatto col terreno si riferisce ai rapporti esistenti fra l'edificio ed il terreno sul quale questo è stato costruito considerando sia la muratura che poggia sul terreno che le pareti controterra quindi poste sotto il piano di campagna a stretto contatto col terreno, o a ridosso di un terrapieno.

Generalmente si tratta di muri perimetrali il cui obiettivo primario è quello di sostegno della costruzione e/o di contenimento in presenza di terrapieni. I muri controterra si possono quindi facilmente trovare in ambienti come garage, cantine, scantinati e tavernette situati in piani interrati e seminterrati.

Proprio per il loro posizionamento, i muri controterra sono facilmente soggetto di umidità. Il contatto diretto col terreno può comportare umidità di risalita ascensionale e orizzontale, umidità da condensa causata dallo sbalzo termico tra muro e ambiente o infiltrazioni che possono derivare da una spinta laterale dell'acqua presente nel terreno.

La presenza di umidità, unita alla mancanza di luce naturale e al mancato o insufficiente ricambio d'aria tipico degli ambienti seminterrati e interrati portano spesso anche alla proliferazione di muffe. Nei locali seminterrati e interrati, soprattutto nelle cantine, è infatti molto comune sentire il tipico odore di muffa.

Si tratta di una causa di umidità spesso sottovalutata, e capace di arrecare danni molto gravi alla costruzione, soprattutto se ci sono dei locali interrati. Può essere dovuta alla presenza di falde sotterranee, che modificano la loro quota nel tempo, o alla composizione del terreno, oppure ad altre cause derivanti da precipitazioni o da altri eventi accidentali. Se non sono stati predisposti degli opportuni correttivi in fase di costruzione, l'edificio può avere delle manifestazioni di danni notevoli ed è difficile individuarne la provenienza e diventa molto difficile e molto costoso risolvere le problematiche infiltrative derivanti dal contatto dell'edificio col terreno. Inoltre, è da precisare che la realizzazione di vespai aerati o di casseri a perdere tipo "igloo", "granchi" e prodotti simili a livello degli interrati o comunque al di sotto rispetto alla

6-7. Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

quota del terreno, oltre che inutile può essere molto dannosa.

I problemi di umidità in un muro o una parete controterra possono essere causati da diversi fattori quali:

_presenza di una falda nelle vicinanze della muratura;

_umidità di risalita causata da assorbimento da parte del muro e del pavimento dell'acqua che riesce a penetrare nel terreno sia essa piovana o derivante ad esempio da irrigazione di un giardino;

_problemi di condensa per un mancato isolamento derivanti dalla differenza di temperatura tra la muratura a stretto contatto con il terreno e la temperatura dell'ambiente che risulta più calda.

1.4.5.1 Cantine

Se l'aria che penetra nelle cantine in d'estate verrà raffreddata si formerà facilmente condensa. In queste condizioni ventilare è non solo peggiora la situazione, ma si avrà tanta più condensa quanta più aria calda si immette.

Per tenere le cantine da vino bisogna considerare due situazioni.

Se la cantina tende all'umido perché vi sono normalmente infiltrazioni d'acqua naturale (pareti di mattone pieno o tufo), per peggiorare la situazione è bene tenerla chiusa d'estate e aperta d'inverno. In estate per asciugarla si dovrebbe immettere tanta aria riscaldata artificialmente da superare di molto il ritmo di fornitura di nuova acqua.

Se invece la cantina non è soggetta ad infiltrazioni naturali si può tenerla aperta o chiusa d'estate e d'inverno.

I danni che si possono manifestare sono quelli causati dall'umidità che penetrando nel materiale di cui è costituito il muro estrae dei sali solubili già presenti negli intonaci o nel muro stesso. All'abbassarsi della U.R.% si possono quindi formare cristalli che possono manifestarsi all'esterno (efflorescenze) o rimanere invisibili (sub-efflorescenze).

1.4.5.2 Prevenzione

I muri a contatto con il terreno sotto il piano di campagna (muri in locali interrati per una altezza da circa 80cm e oltre) presentano problemi che andrebbero valutati in fase di progettazione e costruzione.

Si dovrà adottare una particolare attenzione nella protezione di tutte quelle parti dell'edificio che sono, o che possono trovarsi anche se per una sola volta, a contatto di acqua liquida, sia diretta che indiretta, in corrispondenza del terreno. La soluzione migliore e definitiva è quella di prevenire l'ingresso dell'acqua come ad esempio impermeabilizzando la faccia esterna contro terra al momento della costruzione.

Se è possibile disporre del terreno esterno, l'impermeabilizzazione esterna del muro può essere eseguita con guaine bituminose o bentoniche o con speciali intonaci impermeabilizzanti cementizi. Le impermeabilizzazioni sono interventi sicuri e definitivi, che eliminano gli ingressi d'acqua proveniente dal terreno, anche nei locali posti alla profondità di diversi piani interrati.

Se la presenza dell'acqua è causata dal terreno addossato alla costruzione con una pendenza tale da porta l'acqua verso l'edificio può essere eseguita una trincea perimetrale di drenaggio o una intercapedine aerata coperta da un marciapiede.

Molto spesso l'acqua che bagna i muri in prossimità del terreno viene confusa con l'umidità di risalita. Questo errore porta ad effettuare dei lavori inutili, e talvolta dannosi.

1.4.5.3 Correttivi

Superata la difficoltà di individuare le causa dalla presenza di acqua nell'edificio è possibile intervenire, correggere e risolvere il problema anche in costruzioni già ultimate.

In genere bisogna fare un esame approfondito della causa che provoca il problema di umidità e del tipo di terreno con cui il muro è a contatto effettuando scavi intorno al perimetro del fabbricato, controllare pozzi, cisterne e fognature per rilevare eventuali perdite, verificare che le acque meteoriche siano smaltite in modo opportuno e che non provochino imbibizioni del terreno a contatto con le murature di fondazione.

L'acqua sotterranea scorre naturalmente dalle zone più alte verso valle. Quando la falda freatica non ha profondità eccessiva e incontra un terreno meno permeabile di quello attraversato il quale è in discesa, come un terreno argilloso, può risalire.

Raggiunta la saturazione degli strati immediatamente al di sopra della falda freatica l'acqua viene fatta risalire dal livello superiore della falda agli strati soprastanti dove raggiunge uno stato di equilibrio. Qui per capillarità l'acqua viene trasportata a livelli ancora superiori che presentano una percentuale d'acqua sempre decrescente man mano che si sale e ci si avvicina al livello libero del suolo.

Ogni tipo di terreno infatti si comporta in maniera differente rispetto alla capacità di drenaggio che incide sulla capacità di assorbimento dell'acqua da parte del terreno e bisogna capire bene quanti e quali tipi di umidità sono presenti.

In altri casi si può vantaggiosamente impermeabilizzare l'edificio dall'interno, impiegando idonei materiali adatti alla controspinta idrica. Si tratta di interventi complessi, dove è necessaria un'adeguata qualificazione da parte dei tecnici e delle ditte coinvolte nei lavori.

Per porre fine ai problemi di umidità di risalita negli ambienti seminterrati e interrati con murature controterra servirà a poco o nulla ricorrere a pitture traspiranti, intonaci macroporosi o applicare cappotti, lastre di cartongesso o perlinati che vadano a coprire le pareti colpite da umidità. Il problema sarà solamente nascosto (per poco) e non risolto.

In caso di ambienti controterra risulteranno inefficaci anche soluzioni come centraline elettrofisiche o a barriere chimiche, soluzioni che risultano invece adatte a risanare murature fuori terra.

La soluzione più funzionale che garantisce risultati garantiti contro l'umidità di risalita nelle pareti controterra è la creazione di una barriera elettrosmotica.

Grazie all'elettrosmosi e all'inserimento all'interno delle murature di elettrodi positivi e negativi è possibile invertire il naturale campo elettrico che porta l'acqua a risalire lungo le murature. L'installazione di un impianto elettrosmotico sarà in grado di

proteggere tutti i muri controterra allontanando l'acqua dalle murature mantenendola lontana dalle pareti e facendo asciugare i muri rendendoli infine asciutti in breve tempo. In caso di presenza di infiltrazioni d'acqua dovute a spinta laterale controterra, per ottenere una deumidificazione corretta potrebbe essere necessario ricorrere anche all'utilizzo di uno specifico sistema impermeabilizzante.

Per risolvere gli eventuali residui problemi di umidità da condensa presente in locali come scantinati, cantine o tavernette dovuta allo sbalzo di temperatura tra la parete controterra e l'ambiente è possibile agire mediante l'installazione di un idoneo sistema di areazione o ventilazione forzata o coibentazione interna.

1.4.6 Umidità residua di costruzione

L'umidità residua, anche detta umidità da costruzione, è causata dalla presenza di acqua nei materiali da costruzione che resta nell'edificio subito dopo la sua costruzione o la sua ristrutturazione e, nelle giuste condizioni, evapora in modo naturale dopo la posa in opera.

L'umidità da costruzione interessa poco quando ci si occupa di edifici vecchi o comunque costruiti o ristrutturati da molto tempo anche se è da ricordare che in alcune costruzioni in cui le murature raggiungono spessori notevoli (fortificazioni, castelli, ecc.), l'umidità di costruzione può permanere per molto tempo, anche per decenni dopo terminata l'opera.

Ciò che influisce sull'umidità residua è innanzitutto la composizione del materiale utilizzato.

Bisogna considerare che per realizzare un appartamento nuovo di circa 100 mq impiegando tecniche costruttive tradizionali, sono necessari circa 8.000 litri d'acqua, (l'acqua può superare i 200 litri per metro cubo nelle murature in mattoni). Una buona parte di questi entra nelle reazioni di idratazione dei leganti ed evapora durante il tempo necessario per i lavori. La parte restante, che può raggiungere il 50% rispetto al quantitativo iniziale, viene smaltita per evaporazione naturale nell'arco di circa 3 o 4 anni. È normale quindi che un edificio appena ultimato o ristrutturato sia generalmente più umido rispetto alla sua condizione di equilibrio definitivo.

Un altro fattore particolarmente influente, infatti, sono le condizioni ambientali durante la fase di costruzione a causa dell'assenza di adeguate protezioni. Pioggia, neve, ma più in generale fattori quali temperatura e umidità relativa sono sicuramente fonte di un aumento degli apporti eccezionali di natura accidentale della quantità d'acqua accumulata.⁸

A parità di condizioni l'evaporazione dipende dalla qualità della muratura e dal suo spessore. I materiali con pori più grandi, come i mattoni a mano e la malta di calce aerea, si asciugano più rapidamente di quelli a struttura fine, come la malta di cemento, il legno, i mattoni silicio calcarei, perdono più lentamente la loro acqua.

8.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Chiaramente l'evaporazione dell'acqua contenuta nella massa muraria è tanto più facilitata quanto più le pareti sono esposte al sole, all'aria e quanto più questa è secca o mossa dal vento. Inoltre uno dei fattori che più incidono favorevolmente sul tempo di prosciugamento è la temperatura ambientale per cui con temperature elevate il prosciugamento si accelera.

1.4.6.1 Prevenzione

Non è possibile prevenire totalmente l'umidità residua da costruzione e non esiste un rimedio immediato al problema. Il miglior "intervento" è attendere la naturale deumidificazione delle pareti.

L'umidità residua è una questione da prendere in considerazione e valutare soprattutto in fase progettuale, poi durante la costruzione e infine in fase d'uso iniziale dell'edificio.

In fase di progetto si può propendere per l'utilizzo di materiali a presa rapida per la realizzazione dei massetti o inserire additivi specifici nella miscelazione di calcestruzzo e malte che favoriscono una più rapida asciugatura. L'utilizzo di lastre preconfezionate di gesso rivestito, o in gessofibra al posto degli intonaci o strutture e di rivestimenti in legno, che sono già asciutti in fase di posa, e che non apportano acqua durante la costruzione dell'edificio, consentono di prevenire il problema fin dal principio.

L'umidità presente in murature si può prevenire pure rispettando le giuste tempistiche di esecuzioni di alcune lavorazioni da eseguire.

1.4.6.2 Correttivi

La presenza di umidità residua, o da costruzione, può manifestarsi attraverso la presenza di muffe sulle pareti, spesso accompagnata da odore fastidioso, compromettendo la durabilità dei componenti edilizi e il comfort interno, con conseguenze anche per la salute delle persone che vivono ogni giorno quegli ambienti.

Per tale motivo importante che l'acqua residua da costruzione sia eliminata il prima possibile. L'unica modalità di evacuazione dell'umidità residua da costruzione è quella dell'evaporazione in aria ambientale. Se questa evaporazione viene favorita mediante maggiore ventilazione, e tenendo una temperatura interna leggermente più elevata, il tempo necessario per portarsi ai valori fisiologici sarà molto ridotto. Se invece il vapore che l'edificio libera nell'aria non potrà allontanarsi a causa di una ridotta aerazione, per di più aggravata dalla bassa temperatura, la maggiore umidità che si andrà ad accumulare favorirà la formazione di condensa, di muffe, il deterioramento delle superfici e degli arredi.

In ogni caso non bisogna dare per scontato che l'umidità presente in un immobile sia un caso di umidità residua solo perché la casa nuova.

Nel caso di ristrutturazione sia necessario sostituire degli intonaci bisogna evitare l'intervento fino a quando l'umidità residua è ancora presente. A deumidificazione conclusa si possono ripristinare anche le finiture.

1.4.7 Umidità da risalita

L'umidità da risalita o ascendente dal terreno è la causa principale delle manifestazioni

di umidità nelle vecchie murature, nei piani cantinati e anche a livello appena superiore al piano stradale o al piano di campagna e riguarda le murature e più in generale le strutture in elevazione, anche recenti, che poggiano direttamente sul terreno.

Alcune caratteristiche particolari permettono di distinguere l'umidità di risalita dalle altre forme di umidità sui muri come e la condensazione.

I tratti distintivi 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;
- _la presenza di sali durante i periodi di elevata evaporazione ambientale.

Generalmente l'umidità da risalita è dovuta al trasferimento diffuso di umidità insatura, e molto più raramente invece a capillarità ovvero al contatto con acqua liquida che risalendo la parete trasporta i sali minerali nella muratura.

La prima prende il nome di risalita non capillare, mentre la seconda è quella capillare. La risalita può essere di natura primaria, se l'umidità proviene dal terreno e se attraversa le fondazioni e le murature secondo un percorso verticale, dal basso verso l'alto. Si tratta invece di risalita secondaria, se l'umidità proviene da apporti laterali, come ad esempio da massetti e da pavimenti, o da perdite di impianti oppure da condensazione. La risalita primaria la si può trovare solo su edifici vecchi, che poggiano sul terreno attraverso opere di fondazione costituite da materiale poroso e poco compatto. Sulle costruzioni recenti, l'umidità di risalita ha quasi sempre origine secondaria, cioè deriva da acqua che non proviene direttamente dal terreno, ma bensì da apporti laterali e da cause di altra natura.⁹

Il trasferimento di umidità insatura, cioè la risalita non capillare, è invece un fenomeno lento e progressivo, che si manifesta quasi esclusivamente su murature antiche, di forte spessore, sprovviste di protezione dal terreno.

Sulle murature di recente costruzione che poggiano su fondazioni o strutture cemento armato sono identificabili come "risalita secondaria e una volta bagnato il muro, tenderà poi a seguire le stesse leggi fisiche che determinano la risalita.

Con la risalita capillare dell'acqua la parete si rovina da pochi centimetri fino a più di 2 metri di altezza, in relazione alla porosità dei materiali che la compongono, quantità d'acqua presente nel terreno, età delle murature, caratteristiche dell'intonaco applicato.

In una muratura ben fatta se i giunti di malta sono sottili la risalita dell'acqua è facilitata. Se la muratura è costruita con pietrame la risalita dell'umidità capillare sarà molto ridotta perché avrà come via di risalita solo gli strati di malta.

Nel punto in cui il tasso di risalita capillare è uguale al tasso di evaporazione si manifesta sul muro un segno di demarcazione che divide la parte inferiore umida da quella superiore asciutta.

Quando è presente la risalita capillare, non è possibile che vi sia dell'acqua liquida sulle superfici murarie, poiché la fisica del fenomeno lo impedisce.¹⁰

9-10.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

La risalita è sempre associata alla presenza di sali solubili provenienti dal terreno, che si formano sulle superfici o nei substrati a causa dell'evaporazione dell'acqua. la sola presenza di sali non indica in maniera univoca l'esistenza della risalita.

Se c'è risalita, raramente sarà presente muffa.

L'umidità di risalita favorisce la deposizione di sali sulle superfici murarie dove l'acqua evapora, e questo fatto rende l'ambiente sfavorevole alla proliferazione delle muffe.

1.4.7.1 Altezza della risalita

In un muro soggetto a risalita una quantità d'acqua è continuamente aspirata nel muro dalla sua base e risalirà fino al primo punto dove potrà incominciare ad evaporare subito fuori terra (Figura 2.1).

L'acqua proveniente dal terreno che penetra nella muratura è sempre carica di sali minerali disciolti quali cloruri, solfati, nitrati. ecc. Quando questa evapora sulla superficie del muro esposta all'aria si formano dei cristalli.

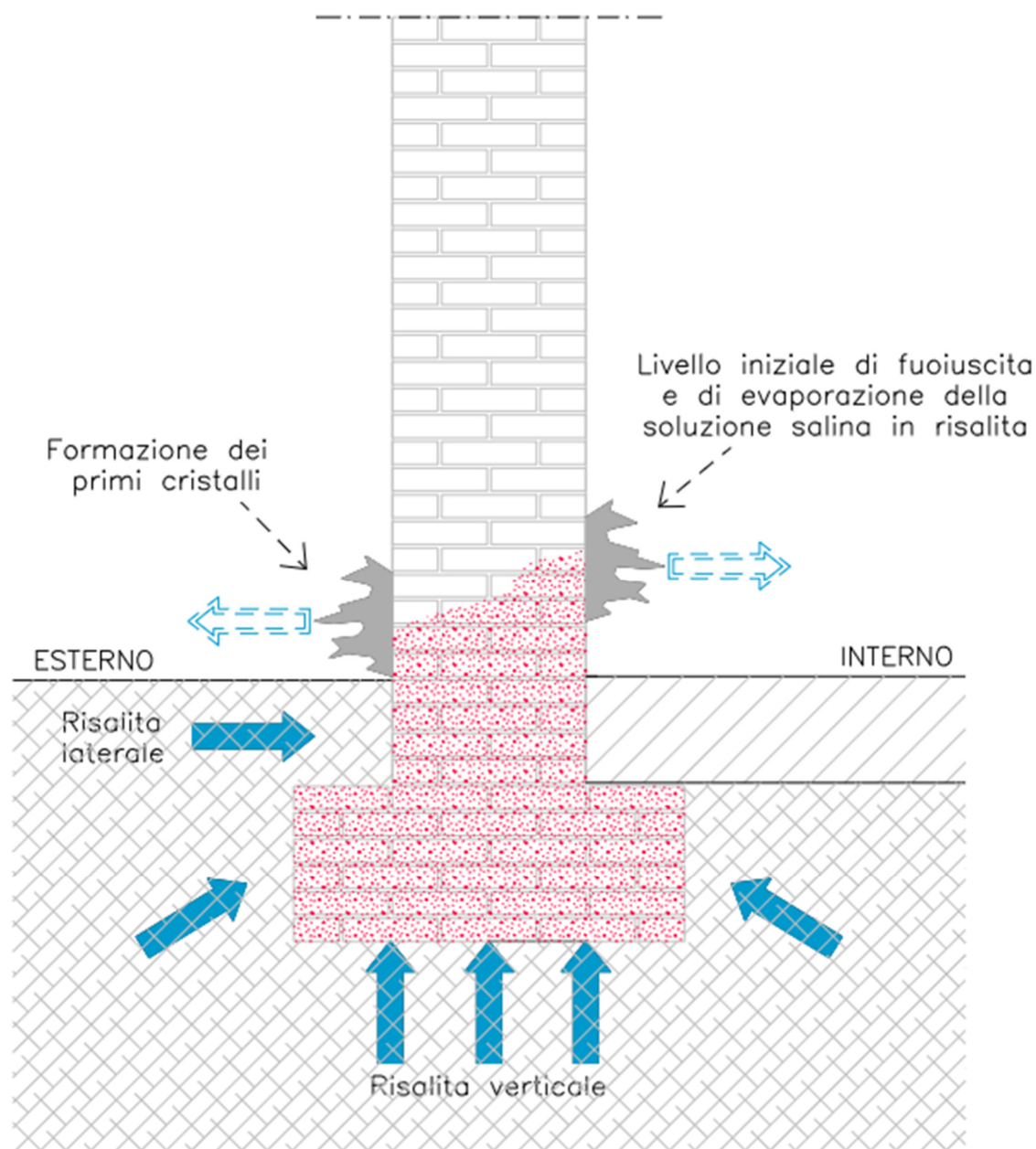
Questi Cristalli ostruiscono i capillari della superficie del muro dalla quale evaporati rendendo la perciò meno traspirante. Non essendo più possibile evaporare in quella zona l'acqua con i relativi sali avanzerà per capillarità. Questi saranno ora disponibili per salire più alto prima di ricominciare il ciclo con l'evaporazione. Il processo si ripeterà al nuovo livello più in alto dove la superficie non ancora intasata e così via.¹¹

L'equilibrio nell'area di evaporazione dell'acqua di risalita si stabilisce quando il tasso di risalita dell'acqua nel muro viene bilanciato dalla sua evaporazione. Questa è la zona dove solamente al punto più alto si avrà evaporazione da una superficie non ancora intasata e si verifica un'alternanza di zone umide e asciutte: l'acqua che sale dal terreno si incontra con l'aria e evapora. L'altezza di questa zona varia, ma in genere si trova tra i 50 cm e i 200 cm sopra il piano di calpestio (Figura 1.3).

11.Pinto Guerra E., (2011), Risanamento di murature umide e degradate, II ed., Dario Flaccovio Editore, Palermo

Figura 1.2

Punto iniziale dell'evaporazione di tutta la quantità d'acqua in risalita



Fonte: disegno dell'autore

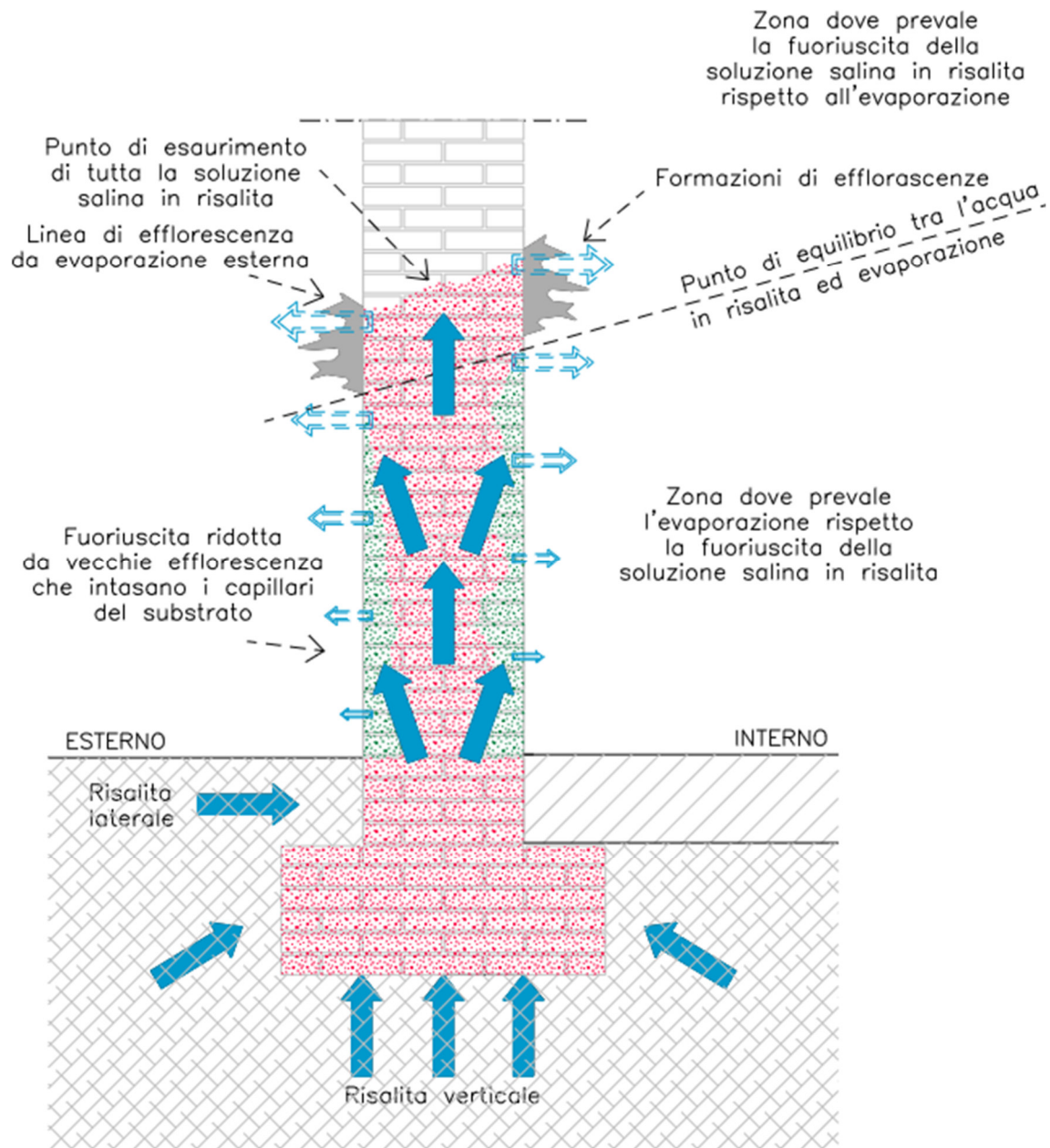
Che il muro appaia bagnato e sia visibile linea bianca di cristalli ed efflorescenze in un punto dipenderà sia dall'ammontare dell'intasamento inferiore da cristalli di sali, e quindi dalla sua permeabilità, che dalle condizioni climatiche che condizioneranno anche la posizione del fronte di evaporazione, all'interno o all'esterno della superficie, dove la risalita si esaurirà.

Che la formazione dei cristalli avvenga dentro o fuori della superficie dipenderà sia dalle condizioni climatiche che proprietà del materiale in quanto il fronte dell'evaporazione si sposterà a cavallo della superficie a seconda di esse. Questi fattori agiranno in contemporanea per cui se il fronte si sposta più all'interno la superficie apparirà

esternamente asciutta ma il muro bagnato al suo interno.¹²

Figura 1.3

L'equilibrio nell'area di evaporazione dell'acqua di risalita si stabilisce quando il tasso di risalita dell'acqua nel muro viene bilanciato dalla sua evaporazione



Fonte: disegno dell'autore

12.Pinto Guerra E., (2011), Risanamento di murature umide e degradate, II ed., Dario Flaccovio Editore, Palermo

Ogni situazione è estremamente mutevole ed in perenne stato di equilibrio precario e può variare a seconda della stagione e persino nel corso della giornata. Ne consegue che la situazione possa rovesciarsi rapidamente al punto che le efflorescenze si trasformino in sub-efflorescenze o viceversa, oppure che i cristalli, dovunque siano, possano sparire. Influenzate dai cambiamenti stagionali e dalla disponibilità d'acqua nel terreno, le strisce e le macchie bianche possono apparentemente o scomparire stagionalmente.

1.4.7.2 Effetti dell'umidità

L'umidità può avere svariati effetti sulle costruzioni e sui materiali che le costituiscono causando fenomeni che portano a danni estetici e strutturali spesso irreversibili quali alterazione e degrado.

Secondo la Normativa UNI 11182:2006 si intende per alterazione “Modificazione di un materiale che non implica necessariamente un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo” e per degrado “Modificazione di un materiale che comporta un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo”.

Il degrado soprattutto è un processo di modifiche dannose dei materiali costruttivi che comporta un peggioramento delle loro caratteristiche chimico-fisiche e strutturali, le quali possono agire anche contemporaneamente sui materiali e sui componenti delle costruzioni:

I principali processi di degrado sono:¹³

- il degrado fisico viene provocato dall'irraggiamento solare, dal vento e dalle basse temperature, che provocano la cristallizzazione dei Sali sulla superficie dei materiali e la formazione di cicli gelo/disgelo;
- il degrado chimico viene provocato dal deposito di polveri, gas e sostanze sospese nell'atmosfera che reagiscono con gli strati superficiali dei materiali;
- il degrado biologico è provocato da batteri, parassiti e microorganismi che colonizzano le superfici dei materiali.

Degrado fisico

Il degrado fisico è causato da danni di natura fisica che agiscono sui materiali come gli agenti atmosferici, il calore, le vibrazioni, l'abrasione generata dal vento, le dilatazioni termiche e quelle derivanti da sollecitazioni meccaniche e dai cicli di gelo-disgelo, ecc.

il degrado fisico può essere causato dalle azioni meccaniche dell'acqua, come ad esempio dal suo peso nel caso di allagamenti e dalle azioni idrostatiche che si esercitano sulle superfici sottoposte a pressione da battente idraulico.

Può anche essere originato dalle dilatazioni conseguenti alle variazioni di temperatura delle superfici bagnate dall'acqua. Ad esempio quando le terrazze soleggiate vengono colpite da acquazzoni improvvisi, spesso avvengono degli shock termici capaci di danneggiare seriamente i pavimenti e le sottostanti protezioni impermeabili.

13.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

Un altro frequente effetto di degrado fisico, riguarda la formazione di ghiaccio all'interno dei materiali impregnati d'acqua. La dilatazione in questo caso determina delle rilevanti azioni fisiche espansive ed espulsive, che danneggiano irreversibilmente i materiali ed i componenti edilizi. Anche la presenza di sali solubili sui materiali può dar luogo ad azioni meccaniche dovute alla loro cristallizzazione e ricristallizzazione, che in ultima analisi comportano danni fisici da distacco, polverizzazione e disgregazione.

Riduzione della resistenza meccanica dei materiali

Si tratta di un fenomeno molto diffuso soprattutto nei vecchi fabbricati e dipende dalle azioni che l'acqua e l'umidità esercitano a livello microscopico nelle porosità dei materiali. I muri diventano meno resistenti e sottoposti a parità di carico applicato, ovvero gravati dal medesimo peso, tendono a deformarsi riducendo la loro dimensione nella direzione della sollecitazione.

La manifestazione più evidente è quella di un lieve schiacciamento, che si nota prevalentemente alla base dei muri quando questi diventano più umidi. La deformazione è a carattere permanente, perciò non è suscettibile di regressione anche dopo l'asciugatura dei materiali.

Riduzione delle prestazioni termiche dei materiali

Un materiale bagnato isola molto meno di uno asciutto, e le murature umide diventano fredde anche perché disperdono calore in quantità maggiore rispetto a quando sono asciutte. E invece meno evidente che in alcuni punti, come ad esempio alla base muraria, la condizione permanente di bassa temperatura dovuta al ponte termico ineliminabile, cioè l'esistenza di una zona dove il calore si disperde maggiormente, crea le condizioni perché si formi continuamente la condensa, cioè dell'altra umidità. Perciò il sistema si autoalimenta: la maggiore dispersione crea maggiore condensa, e la condensa formata aumenta la dispersione perché rende la base muraria sempre più umida

Ulteriori effetti fisici dell'umidità sugli edifici sono:

- alterazione cromatica: variazione a carico del materiale e dei materiali che definiscono il colore generalmente estesa a tutta la superficie interessata ma può essere anche a macchie;
- colatura: traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo;
- deformazione: variazione della sagoma o della forma che interessa lo spessore del materiale;
- deformazione differenziale: perdita di materiale dalla superficie che evidenzia l'eterogeneità della tessitura e della struttura. Nel caso degli intonaci può assumere una caratteristica forma a "rosetta";
- accumulo di materiale estraneo di varia natura con spessore variabile generalmente di scarsa aderenza al materiale sottostante;
- disgregazione: decoesione con caduta del materiale sotto forma di polvere o frammenti;
- distacco: soluzione di continuità tra strati di un intonaco sia tra loro che rispetto al substrato che prelude alla caduta degli strati stessi;
- erosione: asportazione di materiale dalla superficie che nella maggior parte dei casi si

presenta compatta;

-esofoliazione: formazione di una o più porzioni laminari di spessore molto ridotto e subparallele tra loro dette sfoglie;

-fronte di risalita: limite di migrazione dell'acqua che si manifesta con la formazione di efflorescenze e/o perdita di materiale. È generalmente accompagnato da variazione della saturazione del colore nella zona sottostante;

-incrostazione: deposito stratiforme compatto e generalmente aderente al substrato;

-lacuna: perdita di continuità di superfici, parte di un intonaco o rivestimento;

-rigonfiamento: sollevamento superficiale localizzato del materiale di forma e consistenza variabile;

Degrado chimico

Riguarda il deterioramento dei componenti edilizi causato dalla trasformazione chimica dei materiali che li costituiscono, ed in particolare si tratta di corrosione, dissoluzione, dilavamento, formazione di ruggine e di ossidi sui metalli.

Una buona parte dei materiali utilizzati nelle costruzioni, viene danneggiata dall'azione di soluzioni acide. Ad esempio tutti i materiali di composizione calcarea e carbonatica, sia naturali come i marmi, i travertini, le dolomie, le calci e tanti altri, oltre a quelli artificiali come il cemento, gli intonaci, i cassetti e numerosi rivestimenti subiscono dei danni permanenti a contatto di sostanze acide. I materiali utilizzati dall'edilizia che resistono meglio all'azione degli acidi sono quelli di composizione silicea, cioè quelli che contengono silici, quarzi e silicati. I mattoni, le tegole ed i laterizi in generale sono particolarmente resistenti agli attacchi acidi, almeno nel loro normale utilizzo edile.

Il valore medio di pH 7 corrisponde alle soluzioni neutre, ovvero né acide e né basiche.

La pioggia è acqua distillata che durante la precipitazione porta in soluzione gas che le conferiscono un'acidità variabile fra pH 5,5 e pH 5,0 in condizioni normali. In presenza di maggiori quantità di inquinanti atmosferici il pH della pioggia può essere anche sensibilmente più basso, fino a 3,5 e inferiore, dando luogo alle cosiddette "piogge acide", che determinano gravi danni ai materiali da costruzione, ai monumenti, agli ecosistemi e al clima in generale.

Per ciò che riguarda i materiali edili, anche la pioggia normale, quindi non "acida", è sufficientemente aggressiva da causare dei significativi danni da corrosione nel tempo, a causa della maggiore sua capacità di solubilizzare i minerali.

Alcuni materiali come i graniti sono costituiti in prevalenza da composti silicei, quindi molto resistenti all'acqua e alle soluzioni acide, ma contengono degli altri minerali feldspatici che vengono solubilizzati e dilavati dalle piogge, e con maggior intensità se queste sono acide. Anche i vetri contengono dei componenti che sono sensibili all'attacco di soluzioni acide, infatti sono spesso oggetto di degrado causato dall'acqua.¹⁴

14.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Degrado biologico

In presenza di umidità si sviluppano numerose attività biologiche, capaci di causare azioni di degrado significative, fra le quali la colonizzazione biologica (presenza riscontrabile macroscopicamente di micro e/o macro organismi quali alghe, funghi, licheni, muschi), la patina biologica, film batterico, muffe, insetti e svariate formazioni vegetative.

Il degrado biologico è causato in maniera indiretta dall'acqua, perché questa è assolutamente necessaria affinché le varie attività biologiche possano svilupparsi. In particolare il film batterico necessita di un'umidità relativa di almeno il 61% le muffe iniziano a formarsi con il 70% per diventare significative a partire dall'80%, le alghe ed i muschi invece hanno bisogno di acqua liquida, perciò al 100% anche se presente in maniera discontinua. Le infestazioni vegetative sono dovute alle piante che secondo diverse modalità arrecato danno agli edifici. Per esempio attraverso le radici possono perforare i vari materiali impermeabilizzanti, compresi i metalli, causare l'occlusione di scarichi e pluviali, e disconnettere le murature, andando perciò a creare le condizioni che favoriscono ulteriori danni ancora più gravi e consistenti.¹⁵

1.4.7.3 Prevenzione

Se il fenomeno che si manifesta nelle costruzioni esistenti come nelle sulle murature antiche, non è possibile prevenirlo, se non proteggendo le pareti ed evitando che possa esserci ristagno di acqua liquida a contatto con la muratura per impedire gli apporti secondari.

Come per l'umidità da contatto col terreno la prevenzione coincide con una progettazione attenta e scrupolosa.

1.4.7.4 Correttivi: interventi che non risolvono il problema

Spesso vengono proposti e utilizzati (nonostante la comprovata inefficacia) interventi contro l'umidità di risalita che nulla possono contro l'umidità ascendente e non risolvono il problema.

Intonaco deumidificante

Gli intonaci macroporosi eliminano i sintomi dell'umidità, ma non risolvono il problema alla radice. Anche se la muratura si presenta apparentemente asciutta per alcuni anni, l'interno rimane perennemente umido, con una fortissima dispersione termica. Col passare del tempo i sali si accumulano sulla superficie degli intonaci sino alla saturazione degli stessi e, a quel punto, i fenomeni disaggregativi riprendono. Questa tecnica funziona bene come sistema addizionale per accelerare la dispersione dell'umidità presente nella muratura, ma non risulta efficace come soluzione unica.

15.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

_Contro parete

Creare una contro parete in cartongesso, pannelli o in laterizio ha l'effetto di nasconde il problema per un certo tempo senza fermare gli effetti della risalita. L'umidità ascendente continua ad agire: rovina muro e la contro parete e prima o poi nascono cattivi odori nell'intercapedine che nei casi gravi rendono invivibile l'ambiente. Durante la stagione invernale si formano condensa interstiziale e muffe.

_Vespaio aerato

Risulta assolutamente inutile, se per umidità s'intende quella presente nelle murature portanti. Queste, infatti, appoggiano direttamente nel terreno sottostante e la realizzazione del vespaio è del tutto superflua ad impedire all'umidità di risalire. Anzi, la compattezza del calcestruzzo e la presenza di barriere in plastica ostacolano la naturale deumidificazione della base della muratura, con il risultato inverso d'incrementare l'umidità di risalita nelle murature.

1.4.7.5 Correttivi: soluzioni per l'umidità di risalita

Allo stato attuale della tecnica esistono numerosi metodi e sistemi adatti all'eliminazione dell'umidità di risalita.

Una volta appurata che la causa dell'umidità presente sulla parete è possiamo valutare le tecnologie che il recupero edilizio fornisce e studiare le diverse soluzioni al problema dell'umidità di risalita.

Il taglio meccanico

Il taglio meccanico alla base della parete con l'inserimento di fogli impermeabilizzanti che bloccano l'umidità capillare favorendo l'asciugatura completa della muratura è una soluzione definitiva e totale, molto adottata in passato. Nonostante sia una tecnica efficace il fatto di essere molto invasiva può comportare lesioni, cedimenti o assestamenti della struttura. Per motivi antisismici il taglio del muro è ormai illegale anche se talvolta viene proposto il taglio meccanico del muro certificato antisismico.¹⁶

La barriera chimica

L'iniezione all'interno del muro di sostanze idrofobizzanti ha la stessa efficacia dell'intervento meccanico, ma non comporta problemi per la solidità della struttura. Il sistema è meno invasivo e, grazie alle tecniche di ultima generazione, risulta anche di facile applicazione.

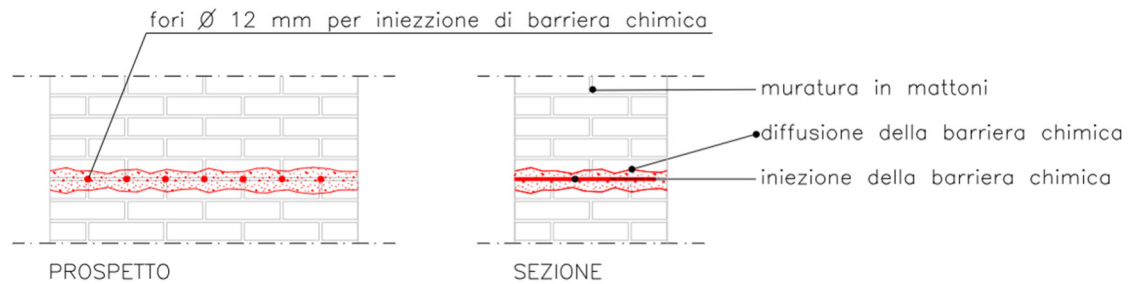
La barriera chimica prevede l'esecuzione di una serie di fori alla base delle murature che in seguito saranno riempiti tramite iniezione un liquido o un gel che crea una barriera impermeabilizzante. Dopo l'iniezione tutti i fori vanno tappati con idonea malta a presa rapida (Figura 1.4).¹⁷

16.Cigni G., Codacci-Pisanelli B. (1987), *Umidità e degrado negli edifici*, Edizioni Kappa, Roma.

17.www.volteco.com

Figura 1. 4

Barriera chimica: realizzazione di fori Ø 12mm fino alla profondità di 5cm dalla faccia opposta ad una distanza di 12cm uno dall'altro ed iniezione della barriera chimica (liquido o gel)



Fonte: disegno dell'autore

Dispositivi anti risalita

L'applicazione di corrente elettrica, grazie al processo dell'osmosi, provoca la ridiscesa dell'umidità verso la pavimentazione. Metodologia efficace, ma che può richiedere tempistiche non indifferenti.

Questi sistemi neutralizzano la sola risalita, e non le altre cause di umidità che spesso coesistono nella stessa parete.

2-Le condense

2.1 Introduzione

La legge fisica stabilisce che maggiore è la temperatura dell'aria, maggiore è la quantità di vapore acqueo che l'aria è in grado di assorbire. Nella pratica significa che la massima concentrazione di vapore acqueo possibile nell'aria dipende dalla sua temperatura. Quando l'aria si raffredda, ad una certa temperatura raggiunge la cosiddetta saturazione del vapore acqueo. L'umidità contenuta nell'aria, (umidità relativa) è a quel punto del 100%. A partire da questo punto, l'aria non è più in grado di assorbire ulteriore vapore acqueo.

La temperatura al momento della completa saturazione è anche conosciuta come temperatura del punto di rugiada, oppure semplicemente come punto di rugiada, *dove* cioè si forma la rugiada (acqua liquida).

Con lo stesso fenomeno, contrariamente a quanto comunemente si ritiene, la formazione di condensa all'interno di un ambiente non è una causa di umidità eccessiva nell'aria di un ambiente ma una sua conseguenza. La condensazione si manifesta, almeno in ambito edilizio, solo sulle superfici o all'interno delle masse porose nelle murature e nei pavimenti.

La sua formazione, quindi, dipende solo da abbassamenti di temperatura dell'aria.

Negli edifici, solitamente, la condensa si verifica sulla faccia interna dei muri perimetrali più freddi specialmente quelli esposti a nord o nord/est, in cantine durante l'estate, in locali poco areati dove circola poco l'aria riscaldata d'inverno (ad esempio nei sottoscala, ripostigli chiusi). Nel periodo invernale la condensa si può formare su un pavimento freddo dove si ha una grande perdita di calore verso il basso il che porterà ad un abbassamento della temperatura che potrà dare origine a condensa sul pavimento.

In sostanza la quantità massima di vapore che può essere contenuta nell'aria aumenta con la sua temperatura. A temperature maggiori, corrispondono maggiori quantità di vapore, secondo una legge all'incirca esponenziale.

2.2 Condensa superficiale

La condensa che si può formare su una superficie, e si chiama "condensa superficiale".

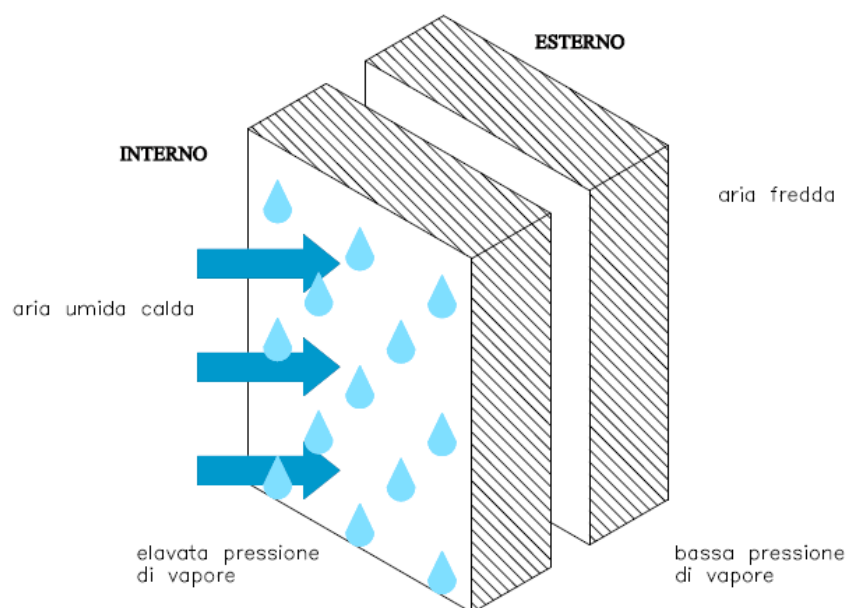
Essa si verifica quando la temperatura sulla superficie interna della parete scende al di sotto della temperatura di rugiada, in concomitanza con la presenza di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna.

Alcune tipologie tipiche di manifestazione della condensa superficiale sono la formazione di acqua liquida sui pavimenti nel caso il piano sottostante sia su un seminterrato o interrato freddo o sull'esterno ad esempio un piano pilotis, sulla superficie interna dei vetri delle finestre, sugli angoli interni, intorno agli infissi ed in presenza di zone maggiormente disperdenti come i ponti termici.¹

1.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Figura 2.1

Condensa superficiale



Fonte: disegno dell'autore

La condensazione avviene in corrispondenza del punto di rugiada, cioè un determinato valore di temperatura delle superfici, in relazione alla temperatura ed all'umidità relativa dell'aria e produce la formazione di acqua liquida. Se non si forma il liquido non si è verificata la condensazione. Sui supporti porosi, alla temperatura del punto di rugiada, l'acqua liquida si forma ma non è quindi visibile perché viene immediatamente assorbita e quindi non risulta evidente.

Viceversa, su superfici non assorbenti, come vetro, metallo, porcellana, ceramica smaltata, alcune vernici ed alcuni tipi di plastica, quando il liquido si forma immediatamente visibile.

La condensa superficiale si forma soprattutto dove vi è una maggiore produzione di vapore, come cucine e bagni, dove si ha molta dispersione di calore, e nei locali dove si ha un minore ricambio d'aria come nelle camere da letto

2.3 Condensa interstiziale

La formazione di condensa che si forma all'interno degli strati dei diversi materiali che li compongono una parete, un solaio o una copertura, si chiama "condensa interstiziale". Questi tipi di condensa sono più difficili da individuare, anche perché necessitano di tempi molto lunghi per manifestarsi.

La formazione di condensa interstiziale avviene specialmente nello spessore degli elementi che costituisce le coperture e all'interno della massa muraria. Ciò si verifica quando il vapore acqueo contenuto nell'aria passa dallo stato gassoso allo stato liquido. La differenza di temperatura, di umidità relativa e quindi di pressione di vapore tra

l'interno e l'esterno, causa il fenomeno di diffusione del vapore attraverso la parete, nel verso delle pressioni decrescenti, lungo lo spessore della parete.

Nell'aria è presente una quantità percentuale di vapore, quando questa percentuale è massima, con umidità relativa al 100%, si raggiunge il punto di rugiada, l'aria diventa satura ed il vapore acqueo in eccesso si condensa.

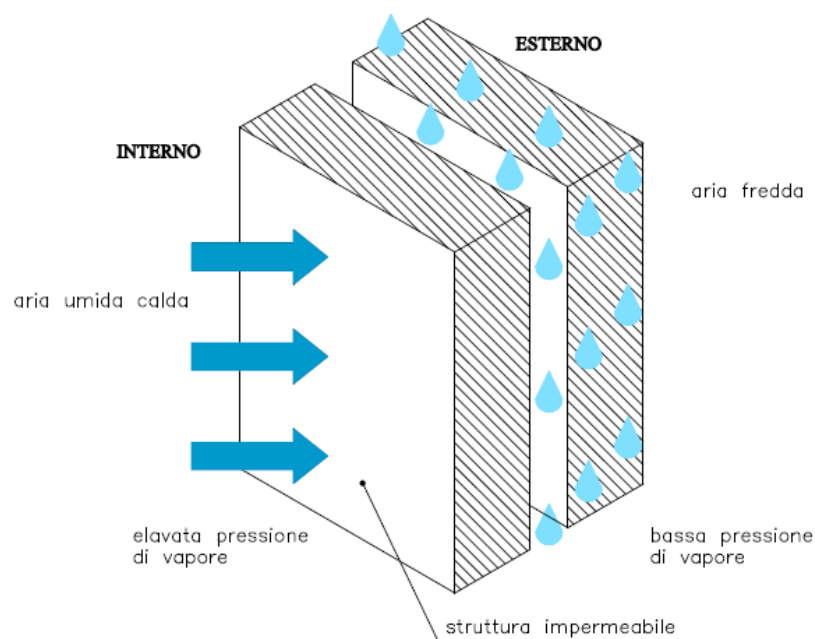
Quando l'ambiente esterno presenta una temperatura più rigida di quello interno, l'aria calda, che assorbe maggiore quantità di vapore acqueo rispetto a quella fredda, presenta una pressione di vapore più alta e di conseguenza tende a spostarsi verso l'esterno dove la pressione è minore.

Il vapore che fluisce dall'interno all'esterno attraverso la stratigrafia dell'involucro, si trasforma in condensa quanto nell'interfaccia tra uno strato e l'altro le superfici presentano una temperatura pari o inferiore a quella di rugiada.

La formazione di condensa tra gli strati in realtà è influenzata anche dalla permeabilità al vapore di ciascuno di essi, ovvero la capacità del materiale di farsi attraversare dal vapore acqueo.

Figura 2.2

Condensa interstiziale



Fonte: disegno dell'autore

Affinché in ogni strato della parete la pressione parziale del vapore deve essere inferiore alla pressione di saturazione corrispondente alla data temperatura il che vuol dire che il vapore deve trovarsi in condizioni di pressione e temperatura lontane da quelle di saturazione.

La condensazione produce acqua liquida. Perciò, se non forma acqua liquida si potrebbe dedurre che non si è verificata la condensazione però, sui supporti porosi alla

temperatura del punto di rugiada, il liquido si forma, ma viene immediatamente assorbito, e non è quindi visibile.

Perciò bisogna considerare che la formazione di acqua liquida non coincide sempre con il fatto che questo si renda evidente. Sulle superfici non assorbenti, come ad esempio vetro, metallo, porcellana, ceramica smaltata, alcune vernici ed alcuni tipi di plastica, quando il liquido si forma immediatamente visibile ma nei materiali assorbenti, invece, si forma e non si vede almeno inizialmente.

I fenomeni di condensazione interstiziale vengono studiati e calcolati sulla base della norma UNI EN ISO 13788 e con un metodo chiamato “metodo di Glaser” che permette di verificare se in una struttura, in determinate condizioni termo-igrometriche interne ed esterne, si verifica la condensazione del vapore acqueo e se tale formazione va ad alterare le condizioni della struttura o rispetta i valori di condensa massima ammissibile prescritta dalla norma sopracitata.

Il diagramma di Glaser può essere inteso come un grafico che fa riferimento ad un piano cartesiano, il quale riporta in ordinate la pressione del vapore e in ascisse la resistenza al vapore.

Il metodo basandosi sul confronto tra l'andamento della pressione di saturazione e l'andamento della pressione di vapore, consente, fissate le condizioni termoigrometriche interne ed esterne, di verificare se in una struttura piana, supposta inizialmente asciutta, possa verificarsi condensazione di vapore. fornendo notevoli semplificazioni della complessa fenomenologia fisica del problema.

In assenza di fenomeni di condensazione all'interno della struttura, l'andamento della pressione di vapore attraverso gli strati di una struttura è sempre una funzione lineare della resistenza.

Se durante il processo di trasmissione del vapore, in qualche punto si raggiungono condizioni di saturazione, si può avere condensazione del vapore e formazione di acqua liquida.

Secondo il metodo di Glaser, l'andamento della pressione di vapore in una qualunque parete può essere stabilito, anche nel caso di formazione di condensa, mediante un semplice procedimento grafico.

Figura 2.3

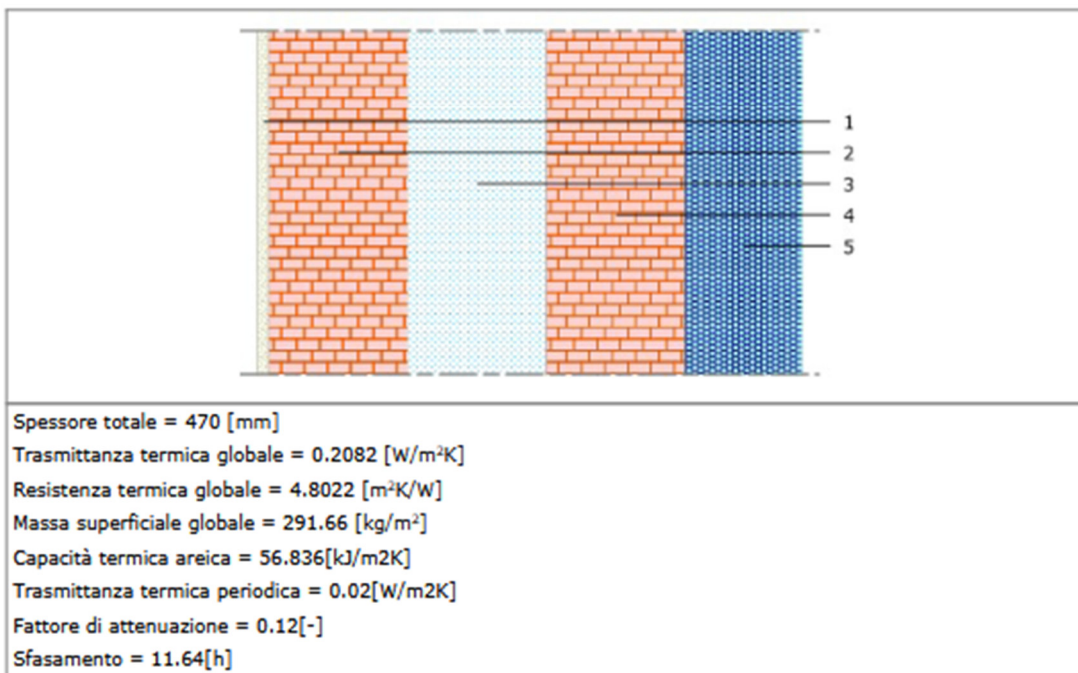
Esempio stratigrafia di muratura da verificare come da normativa

Scheda MR1

Titolo: Perimetrale paramano
Descrizione: Perimetrale in mattone paramano cassa vuota cm. 37

STRATIGRAFIA

Strato	Descrizione	Spessore (mm)	Conduttività (W/mK)	Conduttanza (W/m²K)	Massa superficiale (kg/m²)	Resistenza al vapore (-)	Calore specifico (J/kgK)	Resistenza (m²K/W)
	Adduttanza interna	0		7.7000				0.1299
1	Malta di calce e cemento per intonaco	10	0.9000	90.0000	18.00	22.7059	1'000	0.0111
2	Mattoni pieni, forati, leggeri - densità 1200	120	0.5440	4.5333	144.00	6.8222	840	0.2206
3	Strato d'aria verticale da 12 cm	120		5.5556	0.16	1.0000	1'008	0.1800
4	Mattoni pieni, forati, leggeri - densità 1200	120	0.5440	4.5333	144.00	6.8222	840	0.2206
5	Stiferite Class SK 120/200	100	0.0250	0.2500	3.50	5.0000	1'750	4.0000
	Adduttanza esterna	0		25.0000				0.0400



Fonte: elaborato dell'autore

Figura 2.4

Esempio di muratura verificata come da normativa.

Come risulta dall'elaborazione questa struttura non presenta problemi ad una verifica igrometrica per cui non è soggetta a formazione di condensa interstiziale.

Verifica igrometrica (UNI EN ISO 13788)												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
FACCIA INTERNA - P.0 abitazione SX												
Temperatura [°C]	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	21.2	22.7	21.8	18.0	20.0	20.0	20.0
Pressione saturazione [Pa]	2'337.0	2'337.0	2'337.0	2'337.0	2'062.8	2'516.3	2'757.3	2'610.4	2'062.8	2'337.0	2'337.0	2'337.0
Pressione relativa [Pa]	1'320.4	1'283.0	1'152.1	1'364.8	1'631.7	1'791.6	2'045.9	2'080.5	1'941.1	1'593.8	1'448.9	1'304.0
Umidità relativa [%]	56.5	54.9	49.3	58.4	79.1	71.2	74.2	79.7	94.1	68.2	62.0	55.8
Pressione min accett. [Pa]	1'650.5	1'603.7	1'440.1	1'706.0	2'039.6	2'239.5	2'557.4	2'600.6	2'426.4	1'992.3	1'811.1	1'630.0
Fattore di temperatura	0.697	0.642	0.334	0.343	0.682	0.000	0.000	0.000	3.359	0.663	0.710	0.690
FACCIA ESTERNA - Esterno OVEST												
Temperatura [°C]	1.8	3.4	8.6	12.4	17.4	21.2	22.7	21.8	16.9	12.4	6.0	1.6
Pressione saturazione [Pa]	695.3	779.2	1'116.8	1'439.2	1'986.3	2'516.3	2'757.3	2'610.4	1'924.4	1'439.2	934.6	685.4
Pressione relativa [Pa]	575.0	594.5	646.6	994.5	1'440.1	1'690.9	1'946.6	1'981.3	1'730.0	1'223.3	852.4	551.7
Umidità relativa [%]	82.7	76.3	57.9	69.1	72.5	67.2	70.6	75.9	89.9	85.0	91.2	80.5

Strato	Descrizione	Condensa formata (kg/m²)	Condensa evaporata (kg/m²)	Condensa accumulata (kg/m²)	Massima condensa ammissibile (kg/m²)
1	Malta di calce e cemento per intonaco	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
2	Mattoni pieni, forati, leggeri - densità 1200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
3	Strato d'aria verticale da 12 cm	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	Mattoni pieni, forati, leggeri - densità 1200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
5	Stiferite Class SK 120/200	0.0000	0.0000	0.0000	0.4569
	TOTALE	0.0000	0.0000	0.0000	

Verifica rischio condensa interstiziale	VERIFICATA	La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
Verifica rischio formazione muffe	VERIFICATA	Fattore di temperatura minima fRsi = 0.9479, fattore di temperatura mese critico, fRsi,max = 0.7098, mese critico = novembre, classe di concentrazione del vapore = Media, valore massimo ammissibile di U = 1.1608 W/m²K.

Fonte: elaborato dell'autore

2.4 Condensa invernale e condensa estiva

La condensazione invernale e quella estiva si manifestano modalità diverse.

La condensa invernale è la conseguenza di una superficie fredda che si trova in un ambiente interno riscaldato, e generalmente è dovuta ad una maggiore dispersione di calore, derivante dal basso isolamento di pavimenti, solai e pareti, a di ponti termici. Si tratta quindi di flussi di calore a carattere stazionario o permanente.

La condensa estiva riguarda una superficie che risulta fredda per inerzia termica, cioè per "accumulato freddo" in inverno, rispetto all'aria ambiente estiva, che generalmente è più calda maggiormente umida.²

2.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Con il termine inerzia termica si indica l'attitudine di un materiale o più in generale di una struttura multistrato a ritardare e smorzare le sollecitazioni termiche a cui esso è sottoposto al variare del tempo. Rappresenta un parametro fondamentale da prendere in considerazione quando si progetta l'involucro opaco di un edificio e si vuole garantire un comfort termo-igrometrico e un risparmio energetico.

L'inerzia termica indica l'attitudine di un materiale o più in generale delle masse materiali di una struttura multistrato le quali costituiscono muri e solai che generalmente sono riscaldate o raffreddate dall'aria ambiente e dall'irraggiamento solare se questo è presente, a ritardare e smorzare le sollecitazioni termiche a cui sono sottoposto al variare del tempo.

Quando si verifica l'aumento di temperatura dell'aria, le masse di materiale freddo, che necessitano di molto calore per essere scaldate, la seguiranno con un certo ritardo, dipendente sia spessori che dalla loro composizione chimica. All'inizio dell'estate, i muri e i pavimenti si trovano ad essere ancora freddi, mentre l'aria esterna è già calda. Nel corso della stagione, questa differenza si assottiglierà sempre di più, fino al punto in cui le masse, che si saranno nel frattempo riscaldate, avranno raggiunto temperature superficiali tali da non causare più la condensazione.

Il fenomeno della condensa estiva è perciò un fenomeno a carattere transitorio o temporaneo, che si esaurisce nell'arco di qualche giorno, o di qualche settimana al massimo.

Sugli edifici con muri molto spessi, e sui locali interrati, la condensa estiva si verifica più frequentemente nei primi mesi caldi. Questo perché le grosse masse di materiale hanno la tendenza a "trattenere a lungo il freddo" che hanno accumulato durante l'inverno, e si riscaldano molto lentamente. Quindi, durante primi caldi, queste masse di materiale sono ancora piuttosto fredde, creano le condizioni per la condensazione sia superficiale che interstiziale.

2.5 Modalità correttive della condensa nelle costruzioni

Per prevenire la formazione di fenomeni condensativi nelle costruzioni è necessario agire contemporaneamente su due fronti: tenere abbastanza alta la temperatura delle superfici all'interno dell'edificio e ridurre per quanto possibile l'umidità relativa dell'aria interna.

In questo senso la normativa sul risparmio energetico nazionale e regionale stabilisce calcoli termici precisi e in modo dettagliato la linea da seguire e gli obiettivi da raggiungere negli interventi edilizi sia per quanto riguarda la nuova costruzione che la ristrutturazione

La normativa sul risparmio energetico tiene conto che l'aria interna di un edificio residenziale debba avere la temperatura di 20 °C, con l'UR del 65% al massimo.

In ogni caso, il valore ottimale dell'umidità relativa in casa, nel periodo invernale, è sempre del 50% alla temperatura di 20 °C, sia per la salute degli occupanti, sia per evitare qualsiasi tipo di proliferazione biologica dannosa.³

3.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

2.6 La condensa sui ponti termici

La norma UNI EN ISO 10211 definisce il ponte termico come:

“Parte dell’involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo per effetto della compenetrazione totale o parziale di materiale con conduttività termica diversa nell’involucro edilizio, e/o della variazione dello spessore della costruzione, e/o della differenza tra le aree interna ed esterna, come avviene per esempio in corrispondenza delle giunzioni tra parete, pavimento e soffitto.”

In sostanza il ponte termico è una zona all’interno di una struttura edilizia in cui si verificano discontinuità nei materiali o variazioni nella forma o di spessore che producono un impatto diretto sulla trasmissione del calore. Questi fenomeni causano un collegamento tra esterno ed interno con aumento nei flussi termici e una variazione delle temperature superficiali interne, con conseguente incremento della dispersione di calore attraverso queste specifiche zone.

In sostanza sono quelle zone di un edificio che a causa di discontinuità geometriche (per esempio l’angolo che si forma tra due pareti verticali perimetrali; l’intersezione tra un muro interno e muro perimetrale; l’innesto del balcone sulla parete; la variazione di spessore nella muratura come la presenza di cavedi, nicchie per l’alloggiamento dei termosifoni, vani tecnici e canne fumario) o discontinuità termiche (ossia materiali con diverse caratteristiche di isolamento termico, come il pilastro passante in un muro; il cassonetto della tapparella, il davanzale della finestra, la cordolatura del solaio e travi), che disperdono più calore rispetto alle aree circostanti, risultando così più fredde.

Molto spesso le muffe e le condense si sviluppano solo sui ponti termici, come ad esempio negli angoli interni di una casa, in corrispondenza delle strutture in cemento armato, o dove l’involucro presenta una riduzione del suo spessore.

2.7 Modalità correttive dei ponti termici

Un ponte termico non si elimina ma si corregge e l’obiettivo principale della correzione è quello di limitare le dispersioni termiche e, di conseguenza riduzione delle perdite di calore e migliorare le prestazioni energetiche dell’edificio.

Questa correzione può essere attuata aggiungendo alla stratigrafia della muratura materiali termoisolanti.

Per quanto riguarda, invece, gli edifici esistenti, la correzione dei ponti termici è più complessa a causa dei vincoli imposti dalla geometria e dalla struttura già esistenti.

Gli isolamenti termici che possono essere applicati sia esternamente che internamente all’edificio (cappotti termici). Il sistema migliore è il cappotto termico esterno che implica l’aggiunta di uno strato isolante sulla superficie esterna dell’edificio. Questo strato riduce notevolmente la perdita di calore attraverso i ponti termici esistenti, migliorando l’efficienza energetica complessiva dell’edificio. Un’altra opzione è l’utilizzo di un cappotto termico interno che consiste invece nell’applicazione di uno strato isolante all’interno dell’edificio, riducendo così la dispersione di calore attraverso le pareti interne. Questa soluzione non va ad incidere esattamente il ponte termico e comportare una riduzione dello spazio interno utilizzabile.

In alcuni casi, i ponti termici si verificano nelle intercapedini tra le pareti. È possibile correggerli inserendo materiale isolante all'interno di queste cavità per interrompere la conduzione termica.

Nel caso degli edifici di nuova costruzione è necessario condurre una progettazione scrupolosa e attenta, mirata a minimizzare l'incidenza dei ponti termici già nella fase di progetto.

2.8 La barriera al vapore

La barriera al vapore, come definita dalla norma UNI 11470, è uno strato impermeabile utilizzato per prevenire il passaggio del vapore acqueo e controllare il fenomeno della condensa all'interno dei pacchetti di copertura delle strutture edilizie. Questo strato è progettato per garantire un controllo efficace dell'umidità specialmente all'interno dello strato isolante della copertura, riducendo il rischio di condensa e proteggendo così la struttura da danni a lungo termine.

Il vapore ha la naturale tendenza a migrare spontaneamente da dove la sua pressione è maggiore a dove è minore.

Questa pressione non è in grado di esercitare alcun tipo di spinta meccanica per cui il vapore nelle costruzioni può spostare solo se stesso, e solo se trova dei materiali permeabili che si lasciano attraversare trasferendo il vapore all'interno degli strati porosi dell'involucro edilizio. Se, durante il percorso, il vapore trova degli strati più freddi, come normalmente accade durante la stagione invernale, può condensare all'interno dei muri.

Per evitare questo fenomeno la muratura deve avere una permeabilità al vapore via via crescente dall'interno verso l'esterno, a più precisamente dal lato caldo verso quello freddo.

La barriera al vapore serve per proteggere il materiale isolante dalla possibile formazione di condensa interstiziale all'interno degli elementi costruttivi perimetrali e in copertura impedendo i fenomeni di condensazione interstiziale.

La barriera al vapore è uno schermo o membrana realizzata con diversi materiali, come poliestere (Barriere al vapore bituminose) o PE retinato (barriere in polietilene termoplastico). Tuttavia, per essere davvero efficace dovrà essere applicata a regola d'arte e scelta in base alle caratteristiche dell'involucro edilizio. Senza scordare le diverse criticità dovute alle varie parti dell'edificio: pareti, coperture, pavimentazioni, ecc. Nel caso la posa della barriera al vapore non sia eseguita con cura, possono formarsi delle fessure che, per quanto piccole, potrebbero causare l'ingresso di aria calda in estate, la fuoriuscita d'aria calda, o ingresso di aria fredda dall'esterno, formazione di condensa sulle superfici esterne.

La posizione corretta della barriera al vapore dipende sempre dal flusso del calore. Deve essere posizionata a ridosso del lato caldo dell'elemento edile che separa l'interno dall'esterno.

Tuttavia, per evitare la formazione di condensa all'interno di una parete, o copertura, in fase di progettazione dell'involucro edilizio è necessario scegliere i materiali in base

La parete inoltre deve essere traspirante, non per favorire la fuoriuscita di vapore dall'interno verso l'esterno, ma per consentire al vapore eventualmente intrappolato di essere evacuato senza formare accumuli.

Un altro aspetto da tenere presente è che i flussi di vapore attraverso i materiali porosi sono estremamente lenti, e perciò i quantitativi di umidità trasferiti sono molto bassi. Spesso si fa confusione tra barriera al vapore e freno al vapore. Possono sembrare prodotti simili, perché offrono una certa resistenza al passaggio di vapore acqueo, ma è importante notare la differenza. Mentre entrambi sono progettati per gestire la trasmissione del vapore acqueo, il freno al vapore è più permeabile e consente una certa quantità di diffusione controllata di vapore acqueo. D'altro canto, la barriera al vapore è più impermeabile e mira a impedire completamente la trasmissione del vapore acqueo. In conformità con la norma UNI 11470, è possibile valutare l'efficacia di una barriera o di un freno al vapore attraverso il valore SD (resistenza alla diffusione del vapore). La barriera al vapore avrà un valore SD più elevato rispetto al freno al vapore, indicando una maggiore resistenza alla diffusione del vapore acqueo.

2.9 Fattore di forma dell'edificio

Il fattore di forma dell'edificio S/V esprime la compattezza di un edificio e si ottiene dal rapporto tra la superficie disperdente (pareti esterne, coperture, solai) ed il volume climatizzato.

Si tratta di un parametro importante che influenza le prestazioni energetiche dell'edificio. Lo scambio energetico tra l'ambiente esterno e quello interno, infatti, avviene, attraverso la superficie (S) dell'involucro che racchiude il volume (V) riscaldato: più è estesa la superficie S maggiori sono le dispersioni termiche.

Le dispersioni termiche, e le conseguenti formazioni condensative, si formano sull'involucro, cioè sulle pareti esterne della costruzione.

A parità di condizioni climatiche, di materiali costruttivi e di utilizzo dell'edificio, le dispersioni saranno tanto maggiori quanto più le superfici di contatto con l'esterno sono estese rispetto al volume della costruzione.

A bassi valori del rapporto di forma corrisponde un edificio compatto con, proporzionalmente, minori superfici disperdenti con l'esterno; alti valori corrispondono ad edifici più disperdenti che presentano forme più movimentate e, quindi, maggiore penetrazione e comunicazione con l'ambiente esterno.

A parità di volume, il fabbisogno di energia decresce con il decrescere della superficie disperdente. Tradotto in altri termini significa che gli edifici con forma regolare e compatta sono più risparmiatori di quelli con forma irregolare. Per edifici residenziali un valore ottimale del rapporto S/V è 0,6 mentre per gli altri edifici è 0,4.

Perciò, negli edifici della nostra tradizione è la forma cubica quella più vantaggiosa.

Oltre alla forma, anche la dimensione complessiva gioca un ruolo assai importante. A parità di forma geometrica, più le dimensioni sono piccole, maggiore sarà il rapporto S/V fra la superficie ed il volume.⁴

4.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Gli edifici più piccoli e quelli aventi forme articolate e complesse sono maggiormente soggetti ai fenomeni condensativi. In questi casi sarà ancora più importante mantenere basso il valore dell'UR interna, al fine di impedire il manifestarsi delle condense.

In climi particolarmente freddi, infatti, caratterizzati da rilevanti differenze di temperatura tra l'ambiente esterno e l'interno è preferibile un rapporto di forma basso che si traduce in minore superficie disperdente e, quindi, in minore scambio termico tra interno ed esterno. In queste situazioni presentano una maggiore efficienza energetica gli edifici di tipo compatto.

Al contrario in climi caldi gli edifici che hanno una superficie più movimentata, a cui corrisponde un rapporto di forma più elevato, raggiungono prestazioni migliori in termini di efficienza energetica perché presentano zone ombreggiate che favoriscono la ventilazione naturale e limitano il surriscaldamento dell'involucro.

2.10 La condensa sui vetri

Le formazioni di condensa sui vetri sono dovute sostanzialmente al fatto che le temperature superficiali dei vetri a causa di una maggiore trasmissione di calore sono più basse delle altre superfici del locale.

Un vetro, per quanto siano elevate le sue prestazioni, generalmente conduce più calore rispetto perciò la sua temperatura superficiale sarà più bassa, e da qui deriva la condensazione.

Le stanze più interessate da questo problema sono quelle il cui grado di umidità è maggiore come bagno, cucina e lavanderia.

2.10.1 Correttivi

Una soluzione per risolvere il problema è la sostituzione degli infissi con l'installazione di serramenti che rispettano determinati valori di trasmittanza termica in base alla zona climatica di riferimento. Il serramento deve essere dotato di vetro camera doppio o triplo, basso emissivo con interposto gas argon.

Per garantire la migliore funzionalità di isolamento degli infissi e di comfort nella casa è importante che la canalina termica, o distanziale, sia costituita da materiale isolante. Per molti anni sono state utilizzate canaline in alluminio, al contrario delle più recenti e prestanti canaline in PVC. L'alluminio, però, è un materiale particolarmente conduttivo e quindi tende a far passare il calore. In tal modo compromette i vantaggi dell'isolamento anche dei migliori serramenti e crea un fastidioso e deleterio effetto di condensa lungo il perimetro del vetro in determinate condizioni.

Per evitare la condensa nei vetri è importante che dei buoni serramenti siano dotati di un vetrocamera con canalina termica calda efficiente chiamata anche Warm Edge (perimetro caldo) e riempita con gas argon.

Con una canalina termica calda, il coefficiente U_w , che indica la trasmittanza termica negli infissi, migliora all'incirca del 10%. Il risultato è un ambiente interno più fresco in estate e più caldo in inverno.

Con l'installazione di una finestra a sistema battente con ribalta sarà possibile creare una doppia modalità di ricambio dell'aria, totale con anta aperta al 100% e parziale, con apertura limitata superiore.

L'utilizzo di tende e oscuranti può aiutare a isolare le finestre e a ridurre il contatto diretto tra l'aria calda interna e il vetro freddo.

2.11 Asciugatura del bucato in casa

Quella di far asciugare il bucato in casa è un'abitudine molto diffusa, specialmente durante i giorni di pioggia o nelle fredde giornate d'inverno o quando non si ha sufficiente spazio all'esterno o si teme l'arrivo di temporali in estate. Tuttavia, quest'azione, apparentemente innocua, in realtà può risultare dannosa per la qualità dell'aria all'interno dell'abitazione e, di conseguenza per la salute di chi ci vive.

2.11.1 Prevenzione

Se è possibile utilizzare un'asciugatrice di buon livello dopo la centrifuga.

Dove ciò non è possibile, sarà necessario provvedere prontamente ad evacuare la maggiore umidità apportata, mediante un incremento di aerazione.

2.12 La cappa della cucina

Quando si forma molta condensa nel locale della cucina delle abitazioni spesso si riscontra che la cappa della cucina non è collegata con l'esterno, e funziona solo col ricircolo. Questa condizione non favorisce la corretta evacuazione dei fumi di combustione dei vapori di cottura.

2.12.1 Prevenzione

È assolutamente necessario che l'impianto di evacuazione della cappa sia correttamente collegato con l'esterno, e che venga utilizzato frequentemente accendendola prima di mettersi ai fornelli ed effettuare la manutenzione della cappa controllando e sostituendo periodicamente i filtri presenti per garantire un'adeguata depurazione dell'aria.

Questo accorgimento, da solo, è in grado di correggere circa il 30% dei problemi causati dall'accumulo di vapore in eccesso nell'edificio, oltre a quelli dovuti alla scarsa ventilazione.

Con l'introduzione dei piani di cottura a induzione può anche presentarsi la formazione di condensa sulla cappa da cucina. Se da una parte i dispositivi di questo tipo hanno il vantaggio di formare una minore quantità di inquinanti nell'aria, grazie alla loro maggiore efficienza e velocità di riscaldamento hanno anche lo svantaggio di produrre più condensa rispetto ai piani a gas. In questo caso una soluzione davvero efficace può essere quella di installare una cappa anti – condensa in grado di eliminare completamente il problema.

2.13 Aerazione e ventilazione

L'aerazione e la ventilazione sono i sistemi più efficaci per prevenire e per eliminare la formazione di condensa negli edifici. Il Termine aerazione si riferisce al ricambio di aria ottenuto naturalmente aprendo le finestre, mentre la ventilazione ottiene lo stesso risultato utilizzando sistemi motorizzati.

Il vapore aumenta moltissimo dopo gesti molto semplici come: dormire, fare un bagno o una doccia, cucinare, o anche stendere i panni.

Queste attività di routine possono fare aumentare l'umidità relativa dell'80-90%. Dunque è importante compensare con un'adeguata deumidificazione, o ventilazione, in modo da evitare la formazione di muffe.

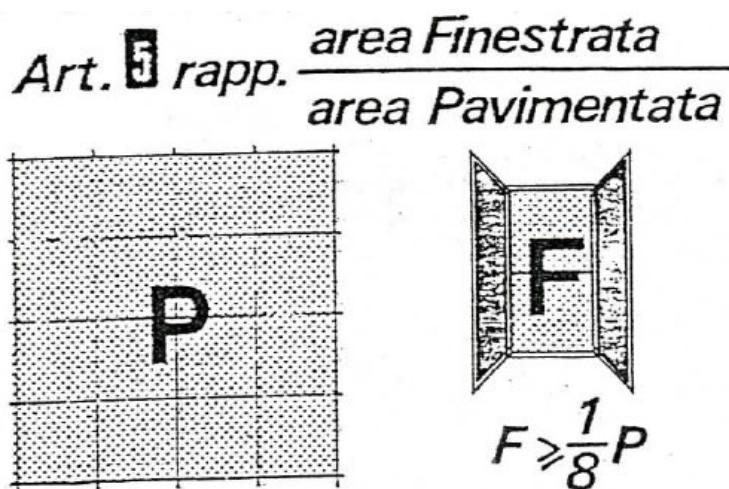
2.13.1 Aerazione

Arieggiare significa sostituire l'aria presente in un locale con aria pulita e proveniente dall'esterno.

Bisogna considerare che il D.M. 5 luglio 1975 all'art. 5 prevede che "... la superficie finestrata apribile non dovrà essere inferiore a 1/8 della superficie del pavimento." E l'art. 7 "a stanza da bagno deve essere fornita di apertura all'esterno per il ricambio dell'aria o dotata di impianto di aspirazione meccanica..." (Figura 2.5)

Figura 2.5

Rapporto aeroilluminometrico come da art.5 del D.M. 5 luglio 1975



Fonte: D.M. 5 luglio 1975

Per cui ogni stanza è dotata di una finestra che necessita di pochi minuti affinché l'aria presente venga sostituita con quella esterna. Una abitazione intera può essere arieggiata completamente in meno di 10 minuti se si aprono simultaneamente più finestre. Il tempo può ridursi anche a pochi minuti se si possono aprire contemporaneamente tutte le finestre creando delle correnti d'aria.

L'aerazione naturale dei locali deve essere eseguita con attenzioni diverse secondo la stagione.

In estate non ci sono particolari attenzioni da porre. Per ovvi motivi stagionali si arieggia frequentemente la casa perché il clima esterno è piacevole. E' bene però osservare che la temperatura esterna essendo più elevata rispetto a quella interna, soprattutto nelle ore più calde, sarebbe opportuno tenere le finestre chiuse e ombreggiare i vetri per evitare che il sole entri riscaldando l'aria. Nel caso si utilizzi il

condizionatore, è bene tenere chiuse le finestre ed arieggiare solo nelle ore più fredde, per cambiare l'aria.

In inverno al fine di soprattutto di evitare sprechi energetici, si deve eseguire una aerazione dei locali più attenta.

Il miglior modo di arieggiare nella stagione invernale è quello di spalancare più finestre per creare una corrente d'aria per 3-5 minuti più volte al giorno se necessario. In questo modo si avrà un completo ricambio d'aria e una naturale e gratuita deumidificazione dell'ambiente, senza perdere il calore delle pareti e del pavimento.

Questo garantirà il minimo spreco energetico ma soprattutto la garanzia di non raffreddare ulteriormente i ponti termici e di conseguenza la riduzione dei fenomeni di condensa e di muffe. Questo tipo di ventilazione deve essere fatto dalle 2 alle 3 volte al giorno all'occorrenza.

I locali nei quali si produce una maggior quantità di vapore acqueo, quali bagno e cucina, devono essere arieggiati con maggior frequenza. Nei locali con forte produzione di vapore acqueo come lavanderie e bagni è opportuno l'utilizzo di aspiratori magari con sensore igrometrico per l'espulsione automatica dell'aria quando troppo umida. Un importante inconveniente dell'aerazione errata la perdita di calore è totale. Ogni volta che si aprono le finestre il calore disperso rappresenta una quota significativa del fabbisogno termico dell'edificio.

Nelle costruzioni datate, il ricambio d'aria naturale contribuisca per circa il 30% del totale delle dispersioni di calore, ed in quelle più recenti e più isolate raggiunge e spesso supera il 50%.

Le attuali normative sul risparmio energetico e ancor di più i protocolli di progettazione e di realizzazione delle costruzioni ad alta efficienza e delle case passive presentano particolare attenzione alla quota di energia necessaria per le esigenze di ventilazione degli edifici.

2.13.2 Ventilazione meccanica

Nel tempo sono stati sviluppati diversi sistemi di ventilazione meccanica che assicurano un'efficace e corretta sostituzione dell'aria con una sensibile riduzione dell'umidità in casa, recuperando buona parte del calore che andrebbe altrimenti disperso con i ricambi naturali.

Un impianto VMC è essenzialmente un sistema di ventilazione meccanica controllata, costituito da una o più macchine deputate al ricambio continuo e alla purificazione dell'aria in un ambiente confinato.

L'adozione di un sistema di ventilazione in abitazione assicura un corretto ricambio d'aria in situazioni in cui non è praticabile o conveniente farlo aprendo le finestre. Questa condizione è essenziale per favorire l'eliminazione degli inquinanti, contribuendo a garantire comfort e salubrità sia in ambito domestico che in contesti come uffici e scuole.

La ventilazione meccanica assume un ruolo chiave nelle moderne abitazioni ad alta efficienza energetica e nelle case con elevato isolamento termico. Questo sistema è indispensabile per prevenire problematiche legate all'umidità e alla formazione di muffa, preservando l'integrità dell'edificio e tutelando il suo valore nel tempo.

Attraverso il recupero termico, l'energia termica dell'aria calda in espulsione viene riutilizzata per riscaldare l'aria pulita in ingresso, consentendo un risparmio significativo sui costi di riscaldamento. In estate, il sistema assicura il recupero termico in modo analogo: il fresco dell'aria in uscita viene sfruttato per abbassare la temperatura dell'aria in ingresso.

Di Ventilazione Meccanica Controllata sono in commercio diverse tipologie ognuna con le proprie caratteristiche e vantaggi.

Le due tipologie principali sono la VMC centralizzata (un unico impianto per tutte le stanze) e la VMC decentralizzata (un impianto dedicato per ogni stanza).

In funzione delle modalità con le quali l'aria interna viene sostituita le tipologie si possono distinguere ulteriormente in impianto VMC a singolo flusso, a flusso alternato e a doppio flusso.

Gli impianti di VMC a singolo flusso sono semplici dove un solo apparato aziona un singolo flusso d'aria, solitamente di estrazione, mentre l'aria di ricambio si immette spontaneamente attraverso delle bocchette di ripresa, opportunamente posizionate nei locali. I VMC a singolo flusso sono validi per l'eliminazione di muffe e condense e per migliorare la qualità dell'aria interna. Utilizzati per immettere aria filtrata in base alle necessità, senza scambiatore di calore non sono in grado di recuperare l'energia dall'aria calda estratta.

Gli impianti di VMC a flusso alternato effettuano cicli temporali alternati di immissione ed estrazione dell'aria.

Gli impianti di VMC a doppio flusso sistemi completi con elevato filtraggio dell'aria e scambiatore di calore, garantendo un risparmio energetico notevole.

VMC a doppio flusso effettuano contemporaneamente estrazione ed immissione con portate equivalenti con due flussi d'aria che vengono fatti passare in uno scambiatore di calore, in modo che non possano mai toccarsi, recuperando così dal 70 al 90% del calore contenuto nell'aria estratta.

Vantaggi della VMC

In una casa ben coibentata con sistema VMC si ha una riduzione notevole del consumo energetico e di conseguenza un risparmio sui costi di riscaldamento o climatizzazione, poiché la differenza di temperatura tra l'aria in ingresso e uscita è notevolmente inferiore rispetto agli edifici privi di VMC.

La qualità dell'aria interna sottoposta a un microfiltraggio che elimina muffe, umidità e inquinanti come anidride carbonica, fumo di sigaretta e composti organici volatili e il costante ricambio rappresentano un vantaggio per la salute.

Svantaggi della VMC

L'installazione di un sistema VMC richiede un investimento significativo per quanto riguarda i costi iniziali che possono variare notevolmente a seconda delle caratteristiche del sistema scelto.

Sul versante delle funzionalità, i sistemi VMC non sostituiscono sanificatori d'aria o deumidificatori, ma li completano, fornendo aria microfiltrata e riducendo l'umidità dell'aria in entrata e uscita. Inoltre, non sostituiscono una pompa di calore, ma

consentono il recupero del calore dell'aria espulsa, avvicinandosi alla massima efficienza nei moderni sistemi.

Va, infine, considerato il costo operativo che se da un lato lasciare la VMC accesa in modo continuo consente di mantenere un ambiente caldo e confortevole, riducendo i costi di riscaldamento e mantenendo una qualità dell'aria ottimale dall'altro l'impianto richiede una continua manutenzione ordinaria e le eventuali riparazioni.

3 -Le muffe

3.1 Introduzione

Le muffe sono funghi microscopici che durante la loro crescita producono particelle di piccole dimensioni, dette spore, che si disperdono nell'aria, soprattutto in estate e in autunno. La muffa tende a svilupparsi più rapidamente con un clima caldo e umido e in luoghi poco illuminati, su oggetti e materiali umidi, in umidificatori o sistemi di condizionamento d'aria non sottoposti a regolare pulizia e manutenzione.

Le muffe sono una particolare categoria di microrganismi, pluricellulari appartenenti al regno dei funghi o miceti, il quale annovera oltre 100.000 specie classificate comprendenti anche i lieviti.

Le varie specie di muffe si sono adattate e specializzate a vivere e proliferare in contesti molto diversi sfruttando al massimo ogni opportunità fornita dall'ambiente nel quale si trovano.

Ad esempio, le muffe che si sviluppano sulle superfici dei muri sono diverse rispetto a quelle presenti sui formaggi e sono ancora diverse da quelle che si formano sui capi di pelle o di lana all'interno degli armadi.

Attualmente, secondo dati forniti dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) si ritiene che siano circa 300 le specie di muffe che, in condizioni diverse, possono svilupparsi negli ambienti domestici. Fra queste sono circa 60 quelle più diffuse e all'interno di queste sono 5 quelle più invasive che sono presenti quasi sempre negli edifici residenziali.¹

In realtà, anche se non si vedono muffe sui muri degli edifici, sono sempre presenti nell'aria in grandi quantità di spore, cioè le cellule da cui si riproducono i funghi in genere e quindi anche le muffe. Mediamente è possibile trovarne qualche decina di migliaia in ogni metro cubo d'aria e pertanto le respiriamo in continuazione. Ma finché rimangono sotto forma di spore le muffe non sono in alcun modo nocive per l'essere umano, almeno in quantità non eccessiva.

Per avviare la trasformazione da spora a muffa e vivere le muffe necessitano di tre sole semplici elementi: una superficie sulla quale insediarsi, acqua anche sotto forma di umidità, e un po' di cibo (quello preferito dalle muffe è la cellulosa, anche se in realtà mangia di tutto. Non si sviluppano in aria, possono sopravvivere anche solo con i neutri contenuti nella polvere, e con quelli che riescono a sciogliere dalle superfici per mezzo delle loro secrezioni acide.

Senza umidità, le muffe non ci sono e non possono esserci.

Insieme alle muffe sono sempre delle altre attività biologiche, come batteri, protozoi, alghe ed altri microrganismi che convivono secondo degli equilibri di varia natura.

Praticamente si realizzano diverse forme di convivenza, nonché catene alimentari vere e proprie, che prendono di "successione biologica".

1.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Ad esempio, alcuni microrganismi si nutrono di in simbiosi, oppure diventano parassiti o commensali di altri, e creano contaminazioni in termini di entità ed effetti. Se le condizioni di umidità si protraggono per tempi abbastanza lunghi, questo insieme di attività biologiche diventa a sua volta cibo per svariate specie di insetti che sono ancora più rapidi ed impattanti dei microrganismi nel degradare quasi ogni tipo di materiale.

3.2 Quando si forma la muffa

Le muffe sono microrganismi pronti a proliferare nelle case o in un singolo locale non appena trovano le condizioni a loro favorevoli quali umidità, polvere e un insufficiente ricambio d'aria. Oltre ad arrecare danni a edifici e oggetti, le muffe possono creare problemi più o meno gravi alla salute.

L'ambiente ideale per lo sviluppo della muffa è quello dove l'umidità relativa UR è almeno dell'80% nonostante le primissime formazioni possano manifestarsi già con UR del 70% purché questa condizione permanga per tempi abbastanza lunghi. Sotto queste percentuali le spore semplicemente rimangono spore.

Le muffe sono dei funghi che non eseguono la fotosintesi clorofiliana, quindi non hanno bisogno di luce diretta per vivere e moltiplicarsi per cui preferiscono un'illuminazione scarsa o nulla.

Le temperature che consentono e favoriscono lo sviluppo delle muffe variano in maniera molto ampia, ma generalmente si collocano fra i 10 ed i 40°C. Il pH delle superfici non deve essere troppo alto perché in genere le muffe sopportano bene gli ambienti acidi, ma non tollerano quelli basici. Il valore di pH indica se una soluzione è acida, basica o neutra. La scala ha un massimo di 14 ed un minimo di 0, dove 7 rappresenta il valore neutro.

Fra 7 e 14 la soluzione è basica e fra 7 e 0 è acida.

Quasi tutte le muffe vivono bene in ambienti prevalentemente acidi, con pH variabili fra 3,5 e 8,0 e generalmente non sopravvivono in ambienti con pH superiore a 10,0.

In funzione della loro attitudine a svilupparsi in funzione dell'umidità, le muffe domestiche si suddividono in tre gruppi in base all'umidità minima necessaria per la loro proliferazione:

- _ Colonizzatori primari o muffe xerofile: si sviluppano con valori di umidità relativa UR inferiore all'80%

- _ Colonizzatori secondari: si sviluppano in condizioni intermedie cioè con umidità relativa UR fra l'80 ed il 90%

- _ Colonizzatori terziari o idrofile: hanno bisogno di acqua liquida o umidità relativa molto alta UR superiore al 90%.

Nonostante le prime manifestazioni di muffe xerofile appaiano, in condizioni ideali, già con UR del 70%, il valore dell'80% viene considerato il limite oltre il quale la proliferazione diventa significativa e problematica. Oltre alle muffe, che sono generalmente le prime attività microbiologiche ad attivarsi, con valori di UR del 61% si sviluppano anche i batteri, che creano sulle superfici un substrato, nonché il nutrimento, per le muffe primarie.

Le muffe possono restare per lunghi periodi in stato di inattività, anche anni, e riprendere vitalità appena ricevono minimi quantitativi d'acqua o di umidità.²

La riproduzione delle muffe avviene tramite spore, cioè attraverso delle minuscole cellule riproduttrici, le quali vengono liberate nell'aria in base alla fase del ciclo biologico del microrganismo.

La quantità di spore che viene liberata dalle muffe è veramente molto alta, infatti l'OMS stima che le spore contenute in un metro cubo d'aria possono variare fra le 100 e le 10.000, con i valori che diventano molte di più se si vive in locali o in ambienti fortemente contaminati ed in estate e in autunno.

Inoltre, le spore restano sospese nell'aria per tempi molto lunghi e se non trovano le condizioni per svilupparsi possono restare attive per diversi anni, pronte a proliferare non appena trovano sufficiente umidità.

Quando le spore aerodisperse trovano le condizioni ambientali idonee, iniziano ad attecchire e a germinare dando luogo a nuovi individui e innescano la propagazione.

Le spore di muffa sono ubiquitarie, cioè si trovano dappertutto, poiché fanno parte di quell'insieme di minuscole particelle presenti sia nell'aria esterna che in quella interna degli edifici, che prende il nome di "particolato". Più precisamente le spore costituiscono una quota del "particolato biologico" insieme ai pollici ed alle altre particelle derivanti da altre attività vitali, come i frammenti mono e pluricellulari.³

Perciò le spore sono sempre presenti dappertutto, sui vestiti, sui capelli, dentro gli armadi e nei cassetti.

In funzione delle condizioni ambientali, di umidità, temperatura, pH delle superfici, illuminazione, ventilazione e disponibilità di nutrienti, si avranno alcune muffe che si sviluppano di più rispetto alle altre, oppure che iniziano per prime a insediarsi, instaurando poi varie forme di convivenza con gli altri microrganismi.

Ad esempio, i capi in pelle vengono attaccati precocemente rispetto a quelli in tessuto perché, a pari condizioni di umidità, contengono una maggiore quantità di nutrienti, e le muffe sono diverse rispetto a quelle che crescono sui muri o sulla cellulosa. Infatti le muffe dei capi sono generalmente di colore verde, mentre quelle che si trovano sui muri sono solitamente nere, o marrone scuro.

Appare chiaro che l'unico metodo certo per eliminare la muffa, o meglio, per impedire il suo è quello di tenere bassa l'umidità. Cioè creare le condizioni per evitare che le spore possano diventare muffe, generando altre spore, da cui nascono altre muffe che, crescendo in maniera esponenziale, facilmente possono insediarsi negli ambienti, colonizzandoli completamente.

3.3 Dove si forma la muffa

Le muffe necessitano di una superficie di supporto per attecchire prediligendo sempre superfici protette dalla luce diretta, in ambienti con ventilazione scarsa o nulla prevalentemente nei punti più freddi dell'edificio, che corrispondono a quelli più umidi, soprattutto per effetto dei fenomeni condensativi.

2-3.Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Le muffe preferiscono attecchire su materiali dei quali poi si potranno cibare, come ad esempio la cellulosa, il legno, i capi in pelle, i tessuti in generale e alcune pitture acriliche frequentemente utilizzate nell'edilizia. La presenza di cellulosa sulle superfici rende notevolmente più rapida la loro crescita perché questa è il principale nutrimento delle muffe. Inoltre la cellulosa è fortemente igroscopica, tende cioè a trattenere l'umidità, esaltando ulteriormente la loro proliferazione. Le lastre in cartongesso, la carta da parati, quasi tutte le pitture per interni ed alcuni intonaci, contengono cellulosa, perciò rappresentano cibo per le muffe. Se al cibo si unisce anche l'umidità, lo sviluppo di attività biologiche, comprese le muffe, sarà inevitabile. La cellulosa è il terreno di coltura ideale per le muffe, perché costituisce nutrimento e perché accumula contemporaneamente abbondante umidità igroscopica.

Oltre al buio, le muffe prediligono gli ambienti tendenzialmente acidi e possono svilupparsi sulle superfici che hanno un pH variabile fra circa 3-4, fino a circa 11 ma preferiscono valori leggermente acidi compresi fra 5 e 7.

L'acqua che si forma dalla condensa ha un pH di circa 5,6 che è perfetto per favorire la proliferazione delle muffe sulle superfici.

Questo non significa automaticamente che, se le superfici sono basiche come in caso di pareti tinteggiate a calce naturale, le muffe non si potranno mai formare. Basta che nel tempo sulle stesse superfici si vada a formare un leggero strato di polvere, di sporco o un deposito di particolato che le muffe avranno la possibilità di usare quello strato come supporto, eventualmente aggredendolo e cibandosene, senza entrare in contatto con le sostanze basiche del supporto.

Tutto ciò considerato risulta evidente che i locali più adatti all'insorgere delle muffe sono il bagno e nella cucina e soprattutto la camera da letto.

Queste ultime sono soggette alla proliferazione delle muffe in quanto, durante la notte, la nostra respirazione insieme alla sudorazione crea umidità, fattore che, soprattutto se la camera è esposta a nord, favorisce la proliferazione dei funghi.

Considerando inoltre, che le muffe domestiche prediligono ambienti bui o comunque con poca luce e con ventilazione ridotta le vittime preferite della muffa solitamente sono le pareti su cui poggiano mobili così come l'interno degli armadi. Qui iniziano a formarsi macchie scure, che se non fermate, rischiano di proliferare.

Anche i mobili in legno principalmente possono essere attaccati dalla muffa, soprattutto il retro, dove passa poca aria ed è difficile pulire.

3.4 Relazione tra umidità e muffa

L'unico sistema efficace per impedire alle spore di germinare, e di conseguenza alle muffe di insediarsi, è quello di tenere sotto controllo l'umidità.

Se non trovano sufficiente umidità, le spore resteranno tali e quali a tempo indefinito, non terminare e non diventeranno mai muffa.

Le cause di umidità in eccesso, possono essere presenti nell'edificio ed instaurare una determinata relazione con la formazione delle muffe.

È possibile osservare le manifestazioni delle muffe, e individuare quali, fra le cause di formazione di umidità siano presenti e quali invece siano da escludere.

Umidità di origine meteorica

L'umidità di origine meteorica è quasi sempre acqua piovana, che penetra nell'edificio per infiltrazione. L'acqua piovana deriva dalla condensazione del vapore acqueo, dovuto all'evaporazione continua delle acque di mari, laghi e fiumi: in teoria dovrebbe essere pura come quella distillata e contenere solo idrogeno e ossigeno, con un pH neutro, pari a 7. Ma non è affatto così.

La presenza di pulviscolo atmosferico e di anidride carbonica abbassa il pH attorno a 6. Inoltre, a seconda delle zone in cui precipita, l'acqua piovana contiene una percentuale molto variabile di gas, nitrati e nitriti, cloruri e diversi altri sali.

Dal cielo che sovrasta una grande città inquinata, per esempio, scende un'acqua piovana con un pH inferiore a 5, (pH acido che varia tra 3,5 e 5,3). È la cosiddetta pioggia acida che a causa del contatto con l'anidride carbonica e con altri gas presenti in atmosfera. È ricca di acido solforico, un composto dello zolfo. Le infiltrazioni di umidità meteorica sono molto spesso una rilevante fonte di umidità, capace di alimentare abbondantemente un gran numero di specie diverse di muffe, prevalentemente idrofile.

Umidità di origine accidentale

Se l'apporto accidentale è di natura continua, come ad esempio dovuta a rottura di un tubo d'acqua con minime perdite idriche, gli effetti sono simili a quelli infiltrativi dell'acqua di origine meteorica.

Se la rottura riguarda un tubo di adduzione di acqua potabile proveniente dalla rete idrica, non crea muffa direttamente. Tuttavia, se l'acqua si accumula in ambienti umidi o se l'acqua è presente in quantità eccessive, può favorire la formazione di muffa. L'umidità è un fattore cruciale per la crescita delle muffe, e l'acqua può contribuire a questo processo.

Nel caso in cui si verifichi un evento episodico, anche di entità rilevante, come un allagamento, se si riesce ad asciugare l'edificio in tempi brevi, le muffe non avranno la possibilità di germinare, né tantomeno di colonizzare. Eventuali formazioni di muffa, di minore entità, che dovessero aver attecchito durante il processo di asciugatura si arresteranno spontaneamente non appena l'umidità scende sotto i valori di rischio.

Umidità condensativa

L'umidità condensativa è quella che crea la maggior parte dei problemi dovuti alle muffe, per diversi motivi.

L'acqua di condensa è il liquido che si forma quando il vapore acqueo presente nell'aria si raffredda e si condensa, passando dallo stato gassoso a quello liquido. Quest'acqua che si forma dalla condensa ha un pH di circa 5,6 che è perfetto per favorire la proliferazione delle muffe sulle superfici che generalmente contengono sempre delle minime quantità di nutrienti, sufficienti per innescare la germinazione delle spore.

Alcune pitture possono contenere sostanze che facilitano la crescita della muffa. Ad esempio, alcune pitture non sono resistenti all'umidità o contengono sostanze che la muffa può utilizzare come nutrimento. Molto spesso questi prodotti contengono quantità variabili di metilcellulosa, che viene impiegata come addensante, e che successivamente diventa un ottimo terreno di coltura per le muffe, poiché queste si nutrono di cellulosa.

Anche le resine acriliche, comunemente utilizzate per la produzione delle pitture lavabili, costituiscono un ottimo terreno di coltura per alcune specie di muffe.

Umidità di natura igroscopica

L'umidità di natura igroscopica incide molto poco, e solo occasionalmente, sulla formazione delle muffe. Un motivo è dovuto alla percentuale di umidità, che spesso è sufficiente per creare fenomeni igroscopici, ma non abbastanza da alimentare la formazione di muffe. Principalmente dipende dal fano che le formazioni igroscopiche avvengono all'interno della massa porosa dei muri o fibrosa nei materiali isolanti, dove generalmente non sono presenti nutrienti in quantità adeguata, o dove il pH è troppo alto. Occorre prestare attenzione agli isolanti naturali, come la cellulosa, le fibre di legno, o la lana di pecora, che in occasione di formazioni di umidità igroscopica possono dar luogo allo sviluppo interstiziale di muffe o di insetti infestanti.

Umidità proveniente dal terreno

L'umidità proveniente dal terreno può causare lo sviluppo di muffe anche se normalmente ciò avviene in quantità modesta, a causa della grande quantità di sali che vengono disciolti dall'acqua e trasportati sulle superfici. Generalmente i sali presenti nel terreno rallentano o addirittura impediscono la formazione di muffe. I nitrati sono una categoria di sali che frequentemente si trovano sui terreni e sui muri, e vengono impiegati come conservanti nei salumi, proprio perché inibiscono le formazioni biologiche. Sebbene siano stati condotti studi che indicano che il salnitro può inibire la crescita di alcuni funghi in laboratorio, questo non si traduce necessariamente in effetti simili negli ambienti reali. La maggior parte delle muffe ha la capacità di adattarsi e prosperare in diverse condizioni. Inoltre, l'inibizione della crescita fungina da parte del salnitro può verificarsi solo in concentrazioni elevate, che non sono pratiche o sostenibili in un contesto di costruzione o restauro.

Umidità di risalita

L'umidità di risalita, contrariamente a ciò che si crede, di solito non consente la formazione di muffe, perché le macchie umide dovute a questo fenomeno sono una soluzione satura di acqua contenente numerosi sali. Le formazioni saline che sono riconducibili a solfati, nitrati e cloruri svolgono una spiccata azione antimuffa e antibatterica. Questo ambiente non consente la proliferazione delle muffe.

Bisogna, però, considerare che, se in conseguenza della risalita, le murature apportano quantità rilevanti di umidità ai locali l'aumento dell'UR può creare le condizioni per la formazione di condensa su altre superfici dello stesso locale. In linea di massima, se su una superficie sono presenti delle muffe, è quasi certo che la stessa superficie non è interessata da fenomeni di risalita.

Umidità residua

L'umidità residua di costruzione, generalmente, non fa sviluppare le muffe, perché le masse porose costituite dai muri, dagli intonaci e dai massetti, immediatamente dopo l'ultimazione hanno ancora un pH molto alto che impedisce le formazioni biologiche,

ed i nutrienti presenti sono ancora molto pochi. Durante il processo di asciugatura, l'umidità residua tenderà gradualmente a ridursi fino a scendere al di sotto del limite che consente alla muffa di crescere. Anche in questo caso occorre però considerare che l'evaporazione dell'umidità residua contenuta nei supporti porosi, all'interno degli spazi confinati, si va a sommare agli altri apporti di vapore già presenti negli ambienti.⁴

Conclusione

In conclusione si può constatare che le muffe prediligono acqua e umidità di tipo condensativo o infiltrativo, e che non gradiscono quella proveniente dal terreno, perché è più ricca di sali. Occorre tuttavia precisare che se l'eventuale infiltrazione di acqua meteorica attraversa lo spessore di un muro o di un solaio almeno inizialmente scioglierà una certa quantità di sali dal supporto, compresa la calce libera presente naturalmente nel calcestruzzo e negli intonaci, e aumenterà il suo pH rendendosi non idonea allo sviluppo di muffe.

L'umidità condensativa è decisamente preferita rispetto a quella meteorica. È altrettanto vero, però, che qualsiasi causa di umidità tende ad aumentare l'UR dell'aria interna, creando indirettamente le condizioni per incremento dei fenomeni condensativi. Ad esempio, l'umidità residua da costruzione e quella di salita non sono in grado di far proliferare le muffe ma rendono l'aria interna dei locali più umida, innescando fenomeni condensativi.

Un altro aspetto importante riguarda la continuità. Se l'acqua e l'umidità si mantengono sulle superfici per un tempo abbastanza lungo, o peggio se sono presenti permanentemente, le muffe possono attecchire facilmente. Se invece si tratta solo di un singolo evento episodico di bagnatura d'umidità eccessiva, o di eventi che si susseguono solitamente in maniera sporadica, la muffa non ha modo di svilupparsi.

Occorre precisare che le spore devono restare a contatto con l'acqua (a con l'umidità in eccesso) per un certo tempo affinché possano iniziare a germinare. Le muffe più veloci hanno bisogno di circa 12 ore, mentre le più lente necessitano anche di alcuni giorni. Quindi se si bagna una superficie, e la si asciuga prima delle 12 ore, si può essere certi che le spore presenti non avranno la possibilità di generare muffa. Se invece l'umidità permane sulle superfici per tempi molto lunghi o anche per più di qualche giorno, si corre il rischio di colonizzazione.

3.5 I diversi tipi di muffa⁵

Complessivamente sono oltre 200 le muffe che possono contaminare un edificio, ma di solito le vengono effettivamente riscontrate negli ambienti abitativi sono molto poche, e generalmente non superano le 30 specie, fra le quali le più frequenti sono le seguenti:

4-5. Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna

Cladosporium

E' il genere di muffa più presente in Italia, con oltre 50 specie diverse. Presente principalmente nelle piante, nel terreno e negli alimenti, il *Cladosporium* può anche colonizzare numerose superfici interne come gli infissi delle finestre e gli isolanti dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento. Cresce su diversi supporti vegetali, compresa la cellulosa e predilige temperature fra i 18 ed i 28°C ma la proliferazione può avvenire anche a temperature inferiori a 0°C e questa muffa può proliferare anche sulla carne congelata. Sviluppa colonizzazioni di color verde oliva ad accrescimento lento.

Aspergillus

Anche questa è una tipologia di muffa molto comune all'interno delle abitazioni nei nostri climi, con centinaia di specie diverse. Le più comuni sono *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger* ed *Aspergillus versicolor*. Le prime due sono di colore nero o scuro, mentre l'ultima assume colorazioni variabili dal verde al marrone. Questa muffa anche se incredibilmente diffusa, quando viene inalata provoca reazioni minori rispetto alle altre muffe. Le reazioni più gravi includono infezioni respiratorie, reazioni allergiche e infiammazioni polmonari.

Stachbotrys chartarum

Deve il suo nome alla carta da parati, dove fu individuata per la prima volta nel 1837 dal micologo ceco August Carl Joseph Corda.

Insieme all'*Aspergillus niger* fa parte delle "Toxic Black Mould", cioè muffe nere tossiche. Infatti questo tipo di muffa crea dei composti tossici noti come micotossine, che se respirate causano problemi respiratori, infezioni dei seni nasali, affaticamento, attacchi di asma e altro ancora.

Sono molto frequenti nelle abitazioni dove vi è presenza contemporanea di umidità e cellulosa.

Penicillium

Molto frequenti in natura, con specie diverse di cui parecchie non tossiche e vengono impiegate per la produzione di formaggi, o di antibiotici. **Penicillium** è una muffa che cresce all'interno delle strutture isolanti, superfici in legno, mobili danneggiati dall'acqua, moquette e altro.

La *Penicillium* è nota per la rapidità in cui cresce e si diffonde infatti è tra le principali cause di infezioni ai seni nasali, infiammazioni polmonari, così come reazioni allergiche.

Alternaria è una delle muffe più comuni che possiamo trovare sia all'interno che all'esterno della nostra casa. L'*alternaria* cresce di solito in zone e ambienti particolarmente umidi, la troviamo spesso in prossimità dei lavandini delle cucine, all'interno dei vani doccia o in presenza di aree esterne scarsamente illuminate dalla luce solare.

È una delle principali cause delle reazioni allergiche quali asma, congiuntivite, rinite e dermatiti. Le colonie sono a rapido accrescimento, di colore inizialmente grigio, che vira al nero più o meno intenso. L'insorgenza degli attacchi di alternaria avviene principalmente tra metà luglio e settembre, periodo nel quale si ha la massima concentrazione di spore nell'aria, ma in generale il rischio sussiste a temperature superiori ai 18°C.

4-Caso di studio

4.1 Inquadramento

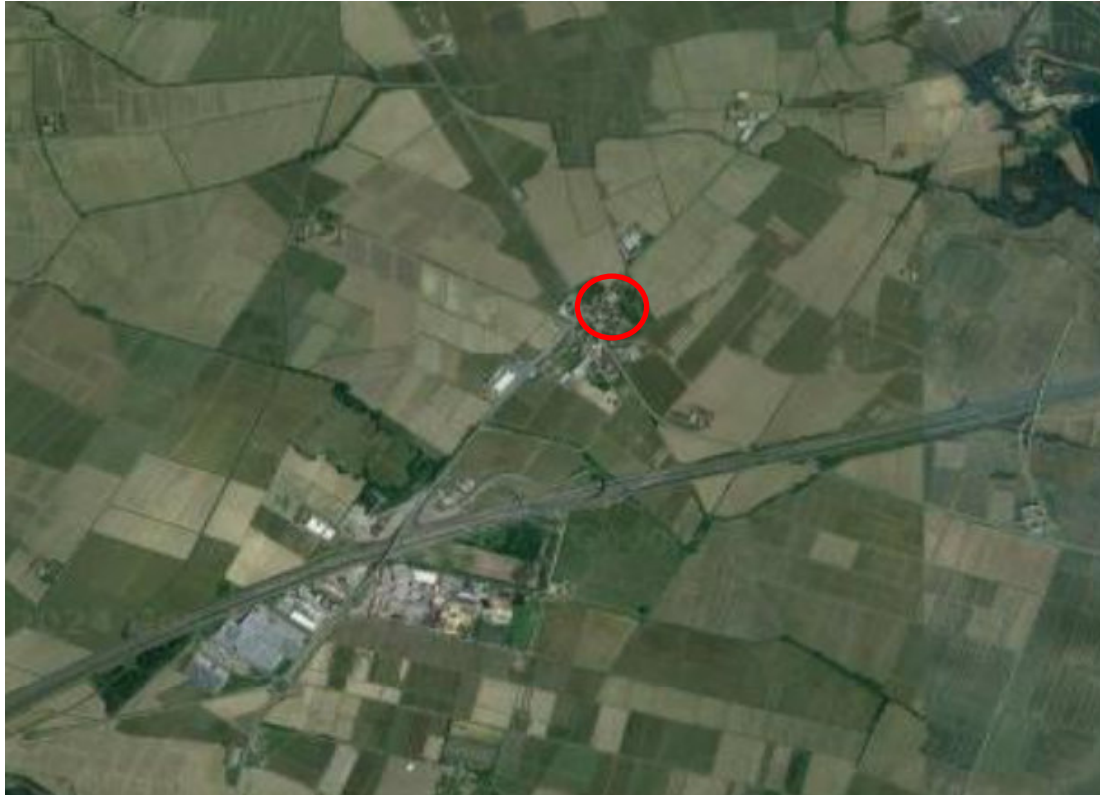
Il caso di studio riguarda un edificio che presenta molteplici problemi di umidità e di infiltrazioni di acqua il quale necessita di una diagnosi meticolosa per individuare gli interventi correttivi.

L'edificio è un palazzo di tre piani fuori terra ed un seminterrato edificato negli anni sessanta del quale è stata reperita presso l'archivio comunale soltanto una pratica edilizia del 1963 relativa alla sopraelevazione del fabbricato esistente ubicato nel comune di Formigliana (VC) in località Frazione Crocicchio.

Si tratta di un'area geografica poco urbanizzata a bassa densità abitativa sviluppatasi negli anni attorno un incrocio di due importanti strade: la Strada Provinciale n. 230 che collega i capoluoghi di provincia Biella e Vercelli e la Strada Provinciale n. 3 Torino-Svizzera (Figura 4.1).

Figura 4.1

Rappresentazione fotografica del contesto urbano di riferimento con l'indicazione del sito oggetto di indagine



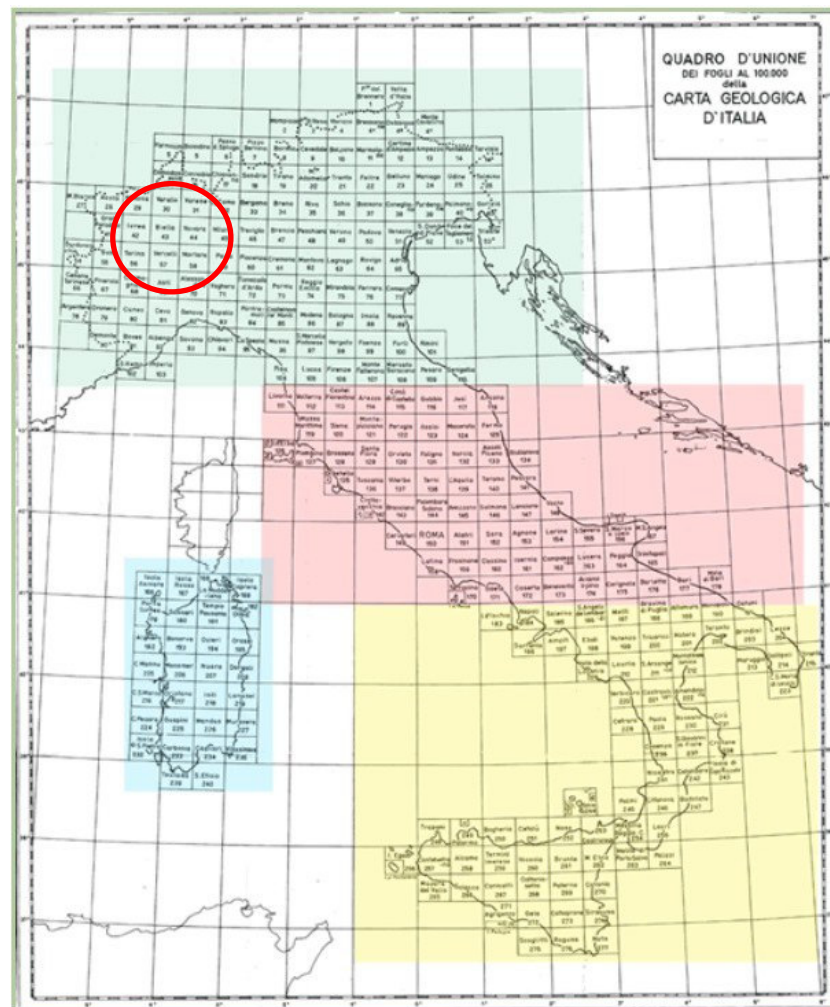
Fonte: Google Maps

L'area edificata è situata in un territorio pianeggiante totalmente privo di variazioni altimetriche alla quota altimetrica di circa 157 m s.l.m. contornata da attività agricole indirizzate esclusivamente alla coltivazione di riso. Dato l'indirizzo agricolo ed in particolare alla coltivazione di riso, l'area edificata è attraversata da numerosi corsi d'acqua quali canali e fossi sia a cielo aperto che tombinati la cui portata d'acqua è molto variabile nel corso dell'anno. L'abitato è dotato di rete fognaria collegata al depuratore.

Sulla Carta Geologica d'Italia del Servizio Geologico d'Italia Organo Cartografico dello Stato (Figura 4.2), il sito è individuato al foglio 43 (Biella) (Figura 4.3 – 4.4 – 4.5) che comprende a Nord un settore, geologicamente alquanto complesso, della regione alpina ed a Sud una parte notevole dell'alta pianura piemontese.

Figura 4.2

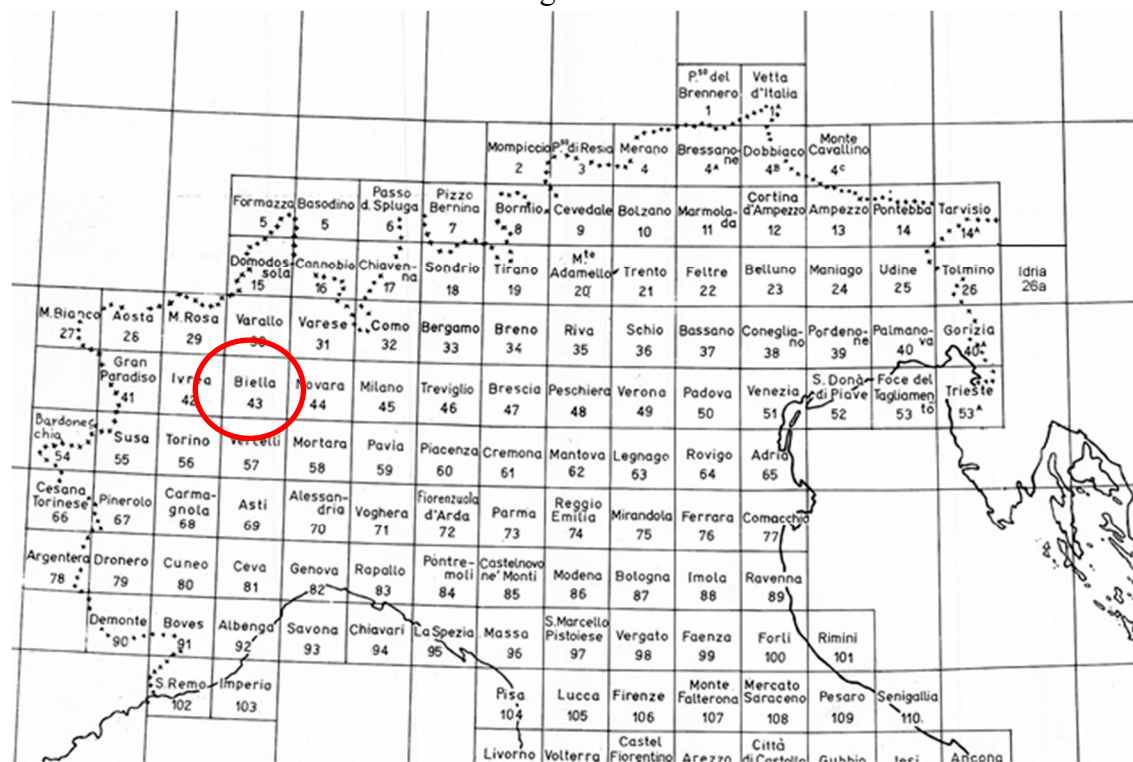
Carta geologica alla scala 1 a 100000. I lavori di rilevamento della carta alla scala 1:100.000 dell'intero territorio nazionale, costituita da 277 fogli, ebbero inizio nel 1877 e furono completati nel 1976.



Fonte: isprambiente.gov.it

Figura 4.3

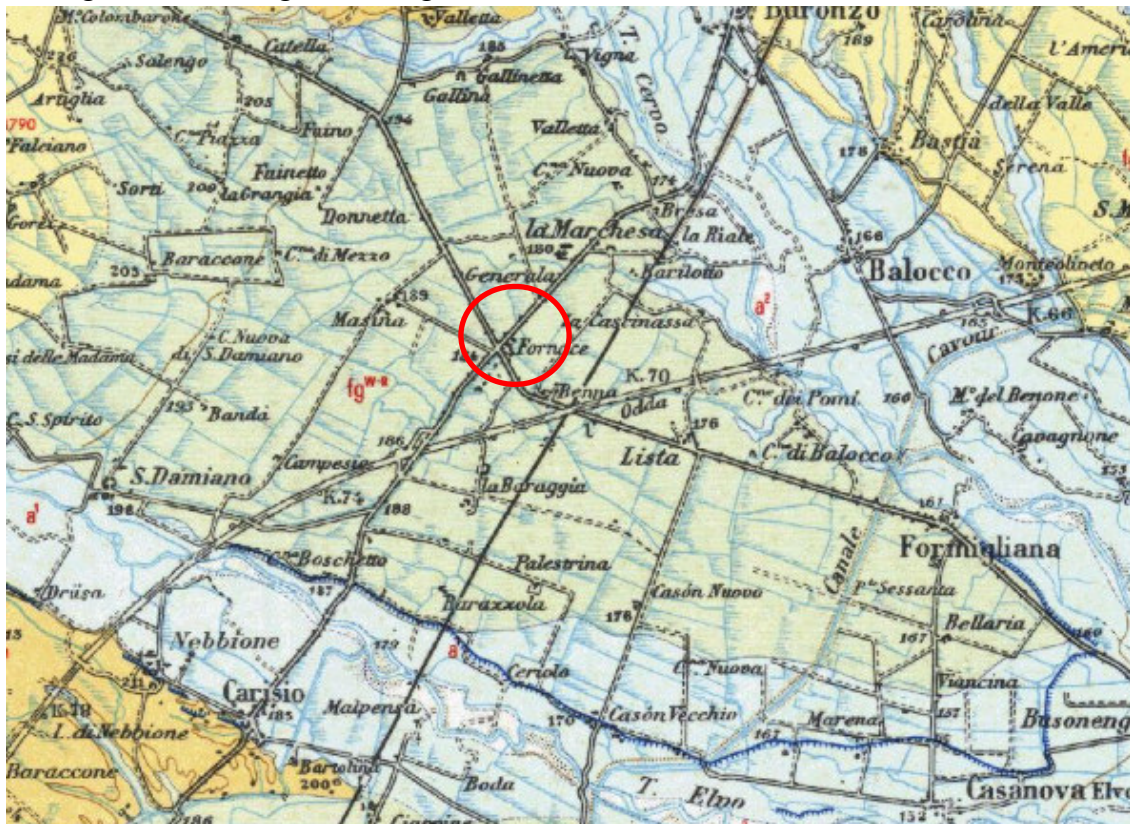
Localizzazione del sito nella Carta Geologica d'Italia



Fonte: isprambiente.gov.it

Figura 4.4

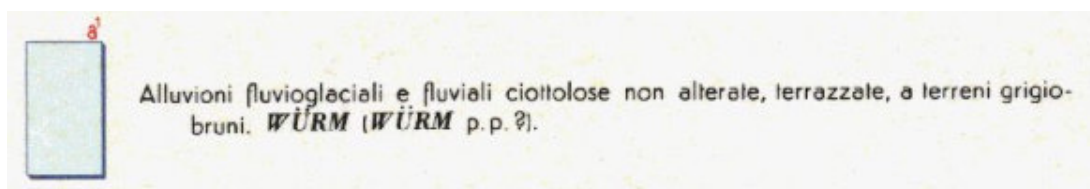
Individuazione dell'edificio nella Carta Geologica d'Italia (foglio 43) Servizio Geologico d'Italia Organo Cartografico dello Stato



Fonte: Fonte: isprambiente.gov.it

Figura 4.5

Classificazione geologica del terreno e relativa composizione petrografica sulla legenda relativa all'area interessata dalla Carta Geologica d'Italia (foglio 43) Servizio Geologico d'Italia Organo Cartografico dello Stato



Fonte: Fonte: isprambiente.gov.it

Figura 4.6

Schema dei rapporti stratigrafici dalla Carta Geologica d'Italia
(foglio 43) Servizio Geologico d'Italia Organo Cartografico dello Stato

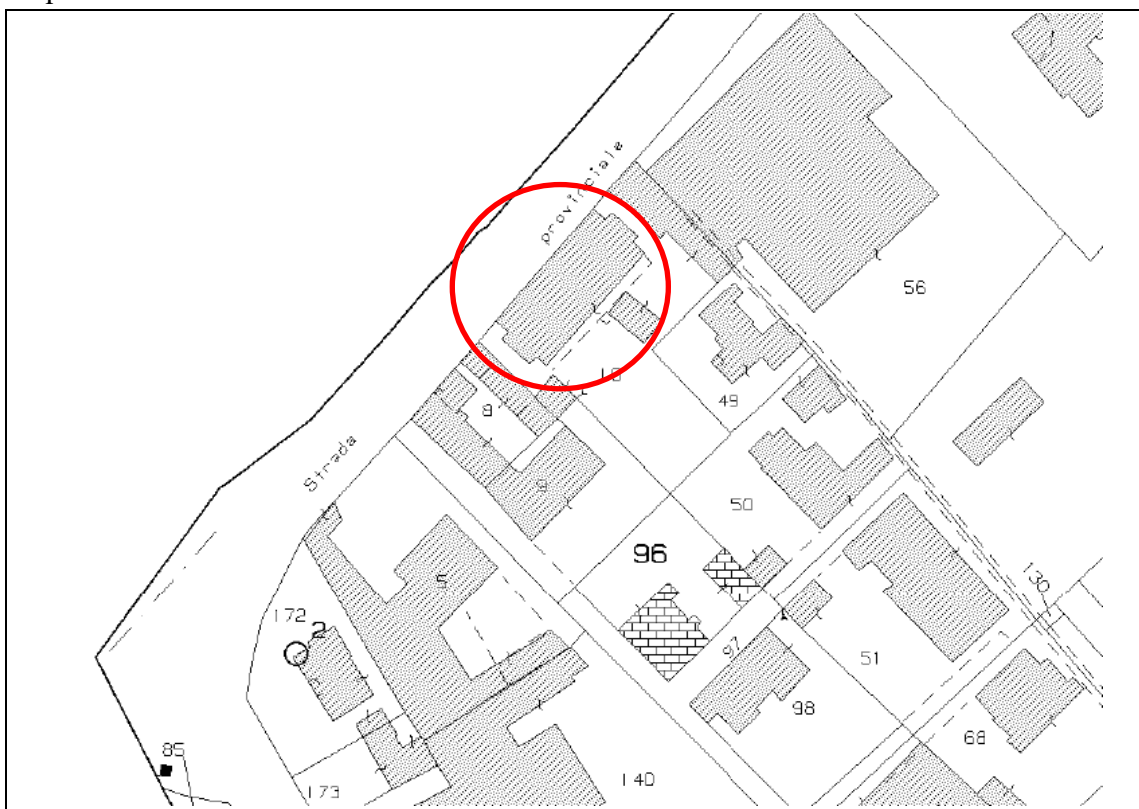


L'epoca geologica individuata dalla cartografia è l'Olocene cioè l'epoca geologica più recente, quella in cui ci troviamo e che ha avuto il suo inizio convenzionalmente circa 11700 anni fa. L'Olocene è la seconda epoca del periodo Quaternario (Figura 4.6).

Fonte: [Fonte: isprambiente.gov.it](http://isprambiente.gov.it)

Figura 4.7

Inquadramento catastale



Fonte: Agenzia delle Entrate

4.2 Indagine su edificio

I problemi lamentati sono molteplici e si possono raggruppare in due gruppi, aventi manifestazioni, intensità e localizzazione diversi in termini di entità ed effetti:

_ seminterrato

- presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali
- presenza diffusa di umidità e di sali sulle superfici delle murature
- distacchi di calcestruzzo dalle armature delle strutture

_ chiusure verticali (pareti)

- diverse problematiche di natura infiltrativa
- intonaci distrutti o distaccati
- presenza di condensa
- presenza di muffe

Figura 4.8

Vista d'insieme dell'edificio



Fonte: fotografia dell'autore

4.3 Analisi storica delle manifestazioni

Dalle testimonianze storiche acquisite si riscontra che nel periodo successivo alla costruzione dell'edificio il piano cantinato non aveva problemi di infiltrazioni d'acqua tanto che il locale veniva utilizzato come “tavernetta” (Figura 4.9) per cene ed incontri conviviali come si può ancora riscontrare dall'arredamento e dell'oggettistica presenti nel seminterrato. In quel periodo e per un tempo non precisato una parte del seminterrato veniva pure utilizzato per la vinificazione di cui è ancora presente una vasca di calcestruzzo usata per la fermentazione del mosto. (Figura 4.10)

Figura 4.9

Parte del locale ad uso “tavernetta”



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 4.10

Vasca in calcestruzzo per la vinificazione nel locale seminterrato



Fonte: fotografia dell'autore

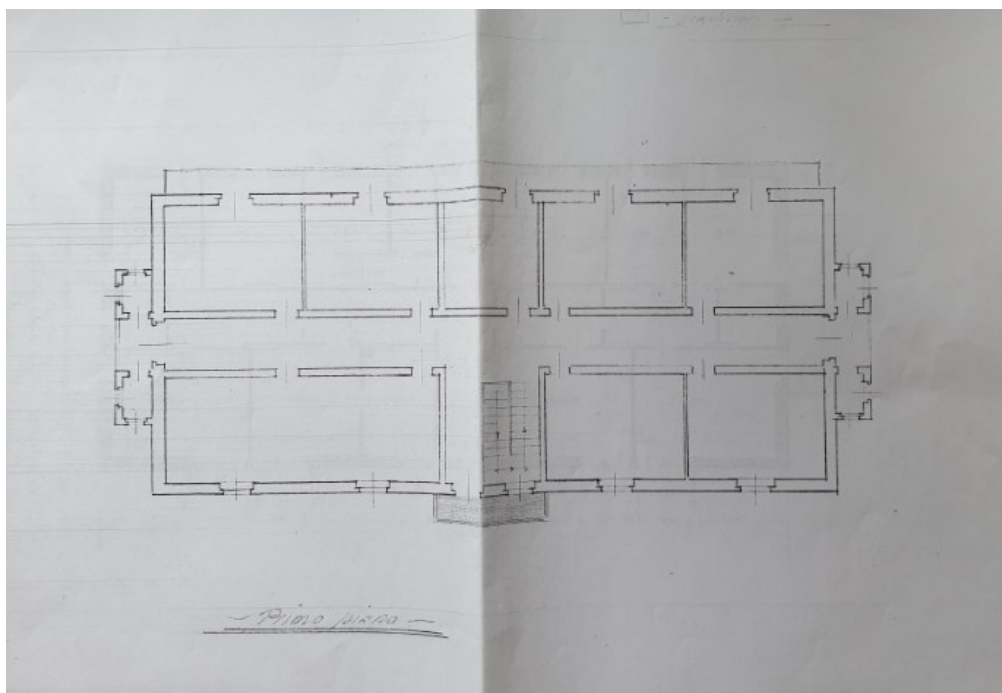
4.4 Rilievi

Fin dal primo sopralluogo risulta evidente che il fabbricato è stato realizzato con una scarsa qualità edilizia ed i problemi lamentati sono pienamente evidenti.

L'unica documentazione reperita relativa all'edificio è presente presso l'archivio comunale e si riferisce ad una pratica edilizia del 1963 relativa alla sopraelevazione del fabbricato esistente con allegata una tavola grafica composta una pianta del piano primo e del piano secondo due prospetti ed una sezione di seguito riportate (Figura 4.11 – 4.12 – 4.13 - 4.14)

Figura 4.11

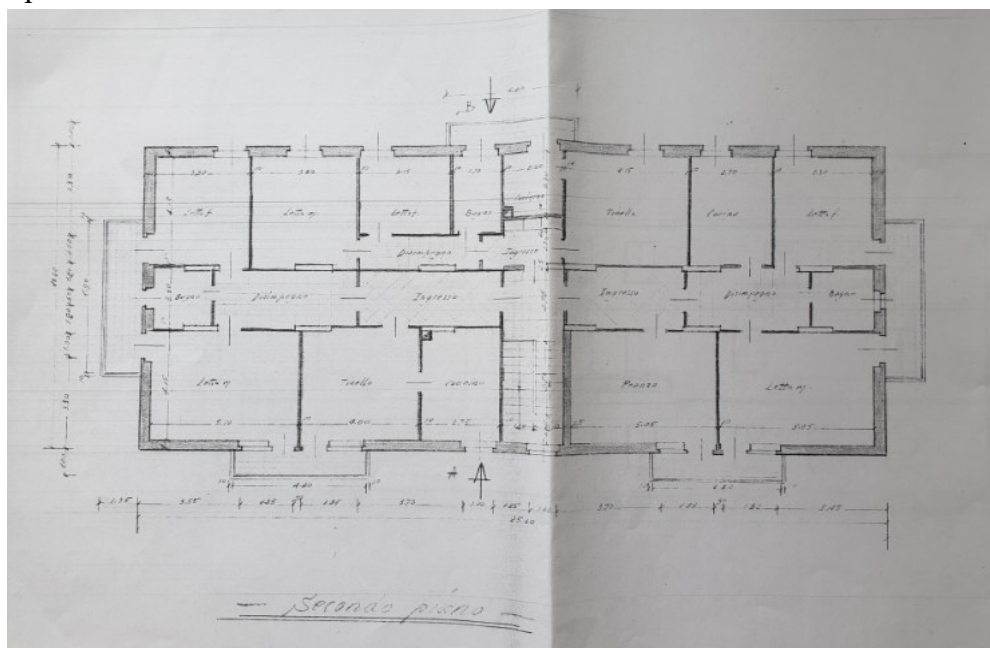
Pianta piano primo



Fonte: archivio comunale

Figura 4.12

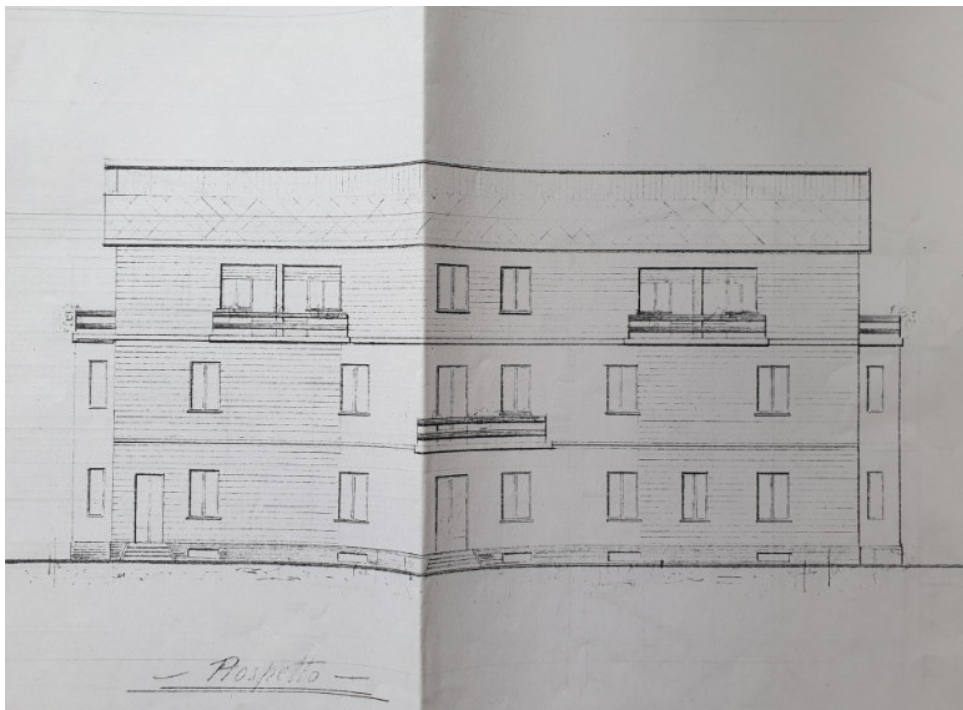
Pianta piano secondo



Fonte: archivio comunale

Figura 4.13

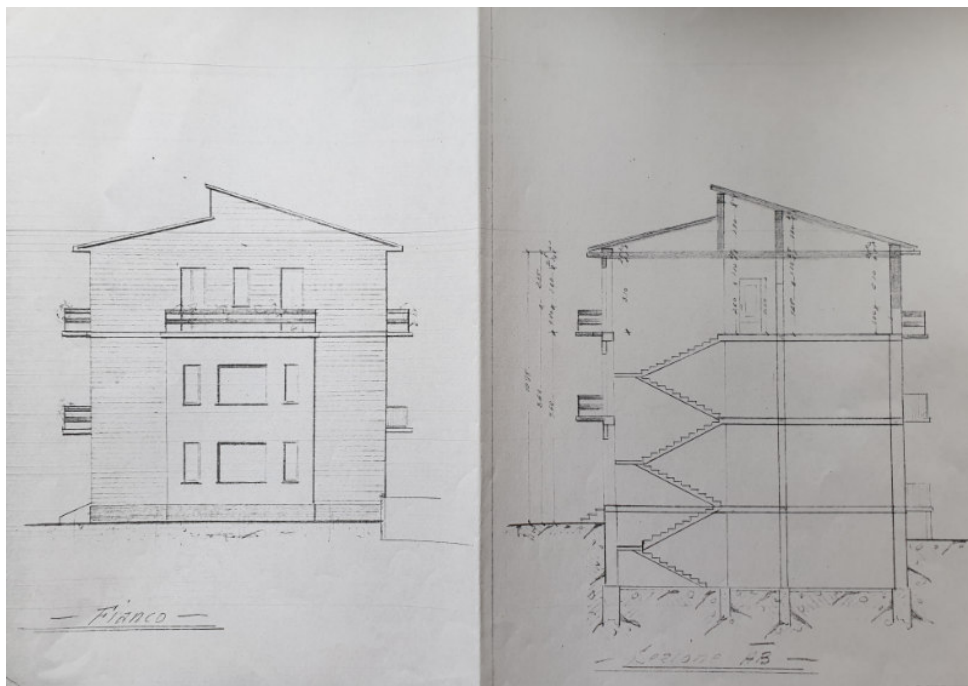
Prospetto



Fonte: archivio comunale

Figura 4.14

Fianco e sezione



Fonte: archivio comunale

A seguito della mancanza di conformità edilizia è stato presentato una pratica in sanatoria per la regolarizzazione edilizia con allegato lo stato di fatto reale (FIGURA 4.15 – 4.16 – 4.17 – 4.18).

Figura 4.15

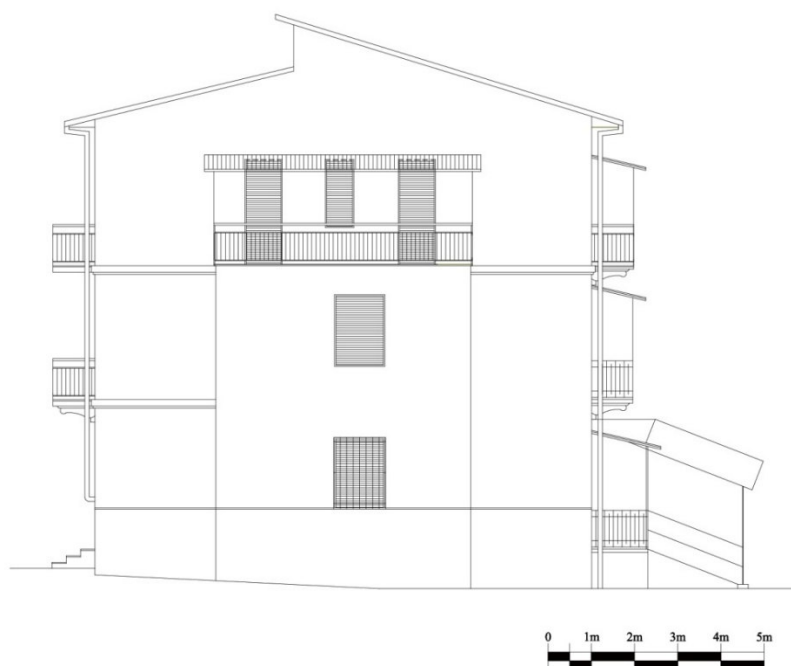
Prospetto Nord/Ovest



Fonte: disegno dell'autore

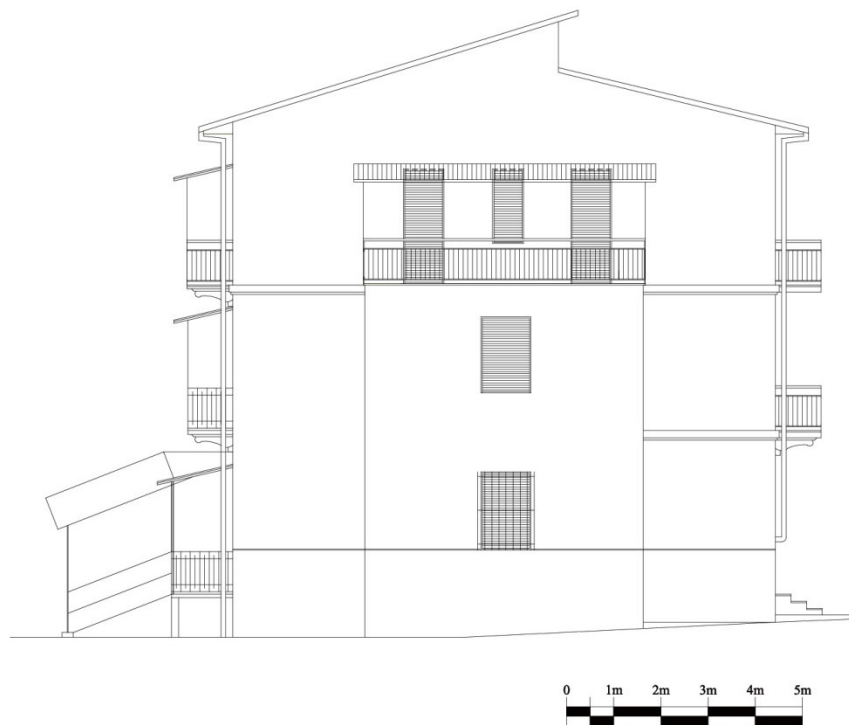
Figura 4.16

Prospetto Sud/Ovest



Fonte: disegno dell'autore

Figura 4.17
Prospetto Nord/Est



Fonte: disegno dell'autore

Figura 4.18
Prospetto Sud/Est



Fonte: disegno dell'autore

4.5 Seminterrato

4.5.1 Presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali

Le murature portanti del seminterrato sono realizzate in mattone pieno allettate con calce, dallo spessore di cm. 57

Nel seminterrato vi è la presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali ed in particolare dal lato sud ovest dove l'acqua penetra a flusso continuo. (Figura 4.19 – 4.22) In epoca non precisata è stata realizzato una canaletta (Figura 4.20) che costeggia il perimetro interno della muratura perimetrale per convogliare l'acqua sullo spigolo sud dove, tramite una valvola manuale viene allontanata dal fabbricato. (Figura 4.21)

Figura 4.19

Acqua che penetra a flusso continuo



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 4.20

Acqua corrente raccolta nella canaletta lungo il muro perimetrale



Fonte: fotografia dell'autore

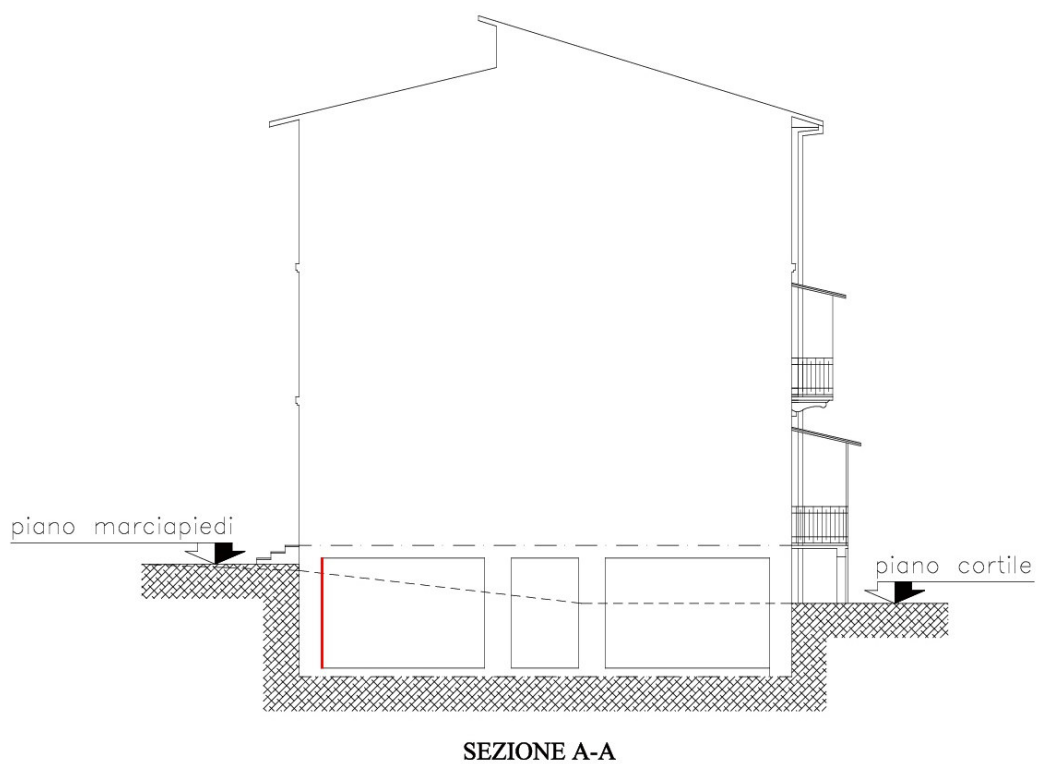
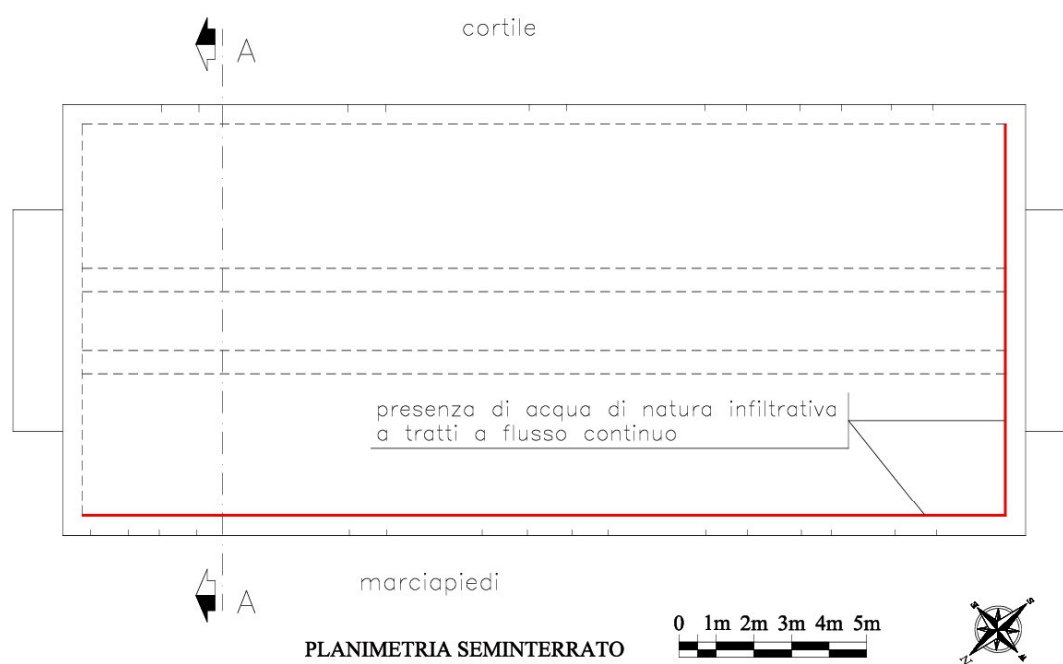
Figura 4.21

Valvole per allontanata l'acqua dal fabbricato



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 4.22
individuazione infiltrazioni acqua



Fonte: disegno dell'autore

4.5.2 Presenza diffusa di umidità e di sali sulle superfici delle murature

Sulle pareti murarie e sugli intonaci sono presenti manifestazioni piuttosto accentuate di degrado superficiale (Figura 4.23), assimilabile a sfarinamento, esofoliazione, perdita di consistenza e distacchi più o meno profondi ed estesi. Questi danni sono causati da fondamentalmente dalla concomitante presenza di sali ed umidità che hanno agito per tempi lunghi.

Figura 4.23

Aspetto delle pareti alla data del sopralluogo



Fonte: fotografia dell'autore

Questo fenomeno può essere collocato nella situazione di umidità di risalita muraria secondaria (l'umidità apportata alla muratura non proviene dal terreno tramite la reciproca superficie di contatto orizzontale) causata da apporti di umidità laterale non

capillare che frequentemente riguarda, come nel nostro caso, umidità sulle murature laterali non protette proveniente da massetti, pavimenti e altri elementi costruttivi, compresa la sopraelevazione del terreno rispetto alla quota d'origine. Il fronte, di altezza irregolare del fronte di risalita sale e decresce, anche rapidamente, in base alle condizioni di alimentazione di acqua nella muratura.

La presenza di Sali è molto frequente sia nelle costruzioni recenti che in quelle antiche, ed è causata da reazioni chimiche di idratazione e di disidratazione, in conseguenza del trasporto di soluzioni saline all'interno delle porosità, rese possibili da differenze di concentrazione e di temperatura.

Nel locale seminterrato sono presenti cristalli di efflorescenze visibili perché formati all'esterno delle superfici come aree, macchie e strisce bianche (volgarmente dette "salnitro"). Le efflorescenze non causano un danno serio come la presenza di sub-efflorescenze, per fortuna non presenti nel locale, che sono cristalli di sali solubili generati dall'evaporazione nei primi millimetri di spessore della superficie che sono una vera causa di grave degrado.

Figura 4.24

Efflorescenze di solfati contenuti nell'acqua o negli inerti della sola malta e sui laterizi presenti sulla recente muratura a sinistra nella foto



Fonte: fotografia dell'autore

Su una porzione di recente muratura (Figura 4.24) sono presenti efflorescenze di solfati sia sulla malta che sui laterizi. La presenza di solfati nelle argille dalle quali sono fabbricati i mattoni è da sempre un fenomeno noto e comune e già con un Regio Decreto del 1939 imponeva che il contenuto dei solfati nei mattoni commercializzati fosse inferiore allo 0,06% in peso. Pure negli inerti con cui vengono confezionate le malte possono trovarsi sali anche, pure in questo caso un Regio Decreto del 1939 prevedeva che gli elementi fossero puliti esenti da sostanze estranee o comunque dannose.

4.5.3 Distacchi di calcestruzzo dalle armature delle strutture

Il calcestruzzo con il quale sono costruiti gli edifici, in particolare quelli realizzati fino agli anni '60, quando le conoscenze e l'esperienza di impiego erano limitate, era opinione comune che le strutture in calcestruzzo armato fossero intrinsecamente durevoli anche se costruite senza particolare cura ed esposte ad ambienti aggressivi poiché si riteneva fossero sostanzialmente immuni da degrado.

Ora si è consapevoli che il calcestruzzo può essere permeato dagli agenti atmosferici, che innescano fenomeni corrosivi nel ferro sottostante il quale a sua volta, aumentando di volume per effetto dell'ossidazione, provoca il distacco delle porzioni superficiali di ricopertura.

Si tratta di un fenomeno disgregativo da non sottovalutare, che parte dalla superficie esterna e poi penetra sempre più in profondità.

L'umidità può avere ulteriori effetti sui questi materiali e sulle costruzioni in genere, che quasi sempre danno luogo o direttamente o indirettamente a diverse forme di degrado sia estetico che prestazionale a volte anche irreversibile.

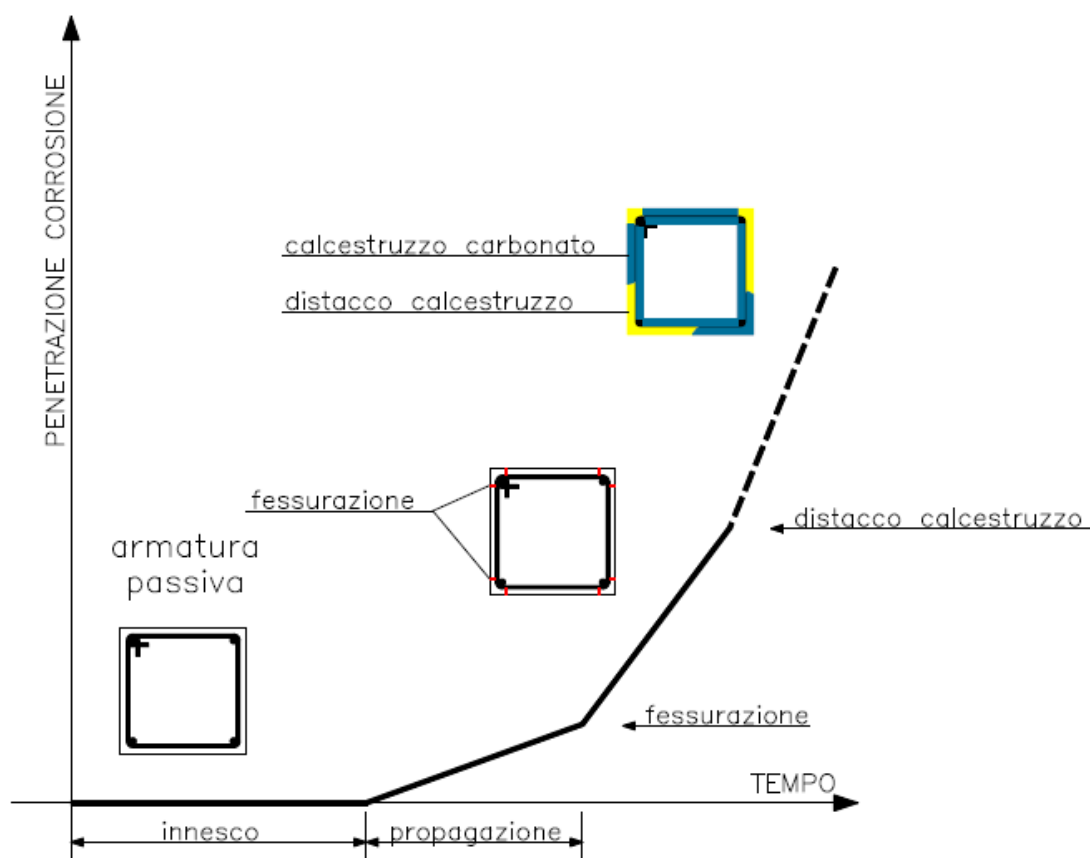
Non deve essere trascurato sia perché può causare danni a cose e persone, sia perché, se i fenomeni corrosivi arrivano ad interessare "l'anima" delle parti strutturali, può essere messa a repentaglio la sicurezza statica dell'edificio.

Le armature di acciaio nel calcestruzzo sono protette dalla corrosione dalla pasta cementizia del calcestruzzo. La corrosione delle armature può essere procurata dalla carbonatazione del calcestruzzo.¹

1.Bertilini L. (2009), *La corrosione delle armature nel calcestruzzo e la sua Prevenzione, Giornata di Aggiornamento: "Degrado e consolidamento di costruzioni in calcestruzzo e muratura"*, Torino, giovedì 16 aprile 2009

Figura 4.25

Sviluppo del degrado di una struttura in calcestruzzo



Fonte: disegno dell'autore

La Figura 4.25 mostra come gli effetti della corrosione si sviluppino in funzione del tempo, su un elemento in calcestruzzo come una trave soggetto a carbonatazione.

In una prima fase l'armatura è passiva e non subisce fenomeni di corrosione. La carbonatazione, però, a partire dalla superficie del calcestruzzo, penetra dal copriferro e innesca la disgregazione del calcestruzzo fino a raggiungere l'armatura.

Figura 4.26

Effetti della corrosione causata sulla struttura in cemento armato.



Fonte: fotografia dell'autore

Nel caso di studio però, sono pure riscontrabili difetti di lavorazione evidenziati dalle impronte lasciate sul solaio dall'approssimazione della posa armatura di sostegno.

Le strutture in calcestruzzo sono di qualità e resistenza piuttosto basse, in particolare risultano evidenti il basso dosaggio di cemento, aggregati scadenti di eccessive dimensioni e con assortimento dimensionale disomogeneo ed impuro probabilmente raccolto in zona. Inoltre si può supporre un errato rapporto acqua/cemento nel confezionamento.

Gli effetti della corrosione causata dagli agenti atmosferici sulla nostra struttura in cemento armato, mostrano evidenti i distacchi di materiale conseguenti alle azioni espansive ed espulsive della ruggine formatasi sui ferri dell'armatura. Il cemento armato è un materiale molto sensibile alla corrosione da agenti atmosferici, in particolare a quella acida, e necessita sempre di adeguata manutenzione che in questo caso non è mai stata effettuata. (Figura 4.26 – 4.27)

Figura 4.27

Distacco completo fondello in calcestruzzo dalla struttura in cemento armato.



Fonte: fotografia dell'autore

4.6 Involucro edilizio verticale

4.6.1 Problematiche di natura infiltrativa

L'edificio è stato costruito in due periodi differenti per cui relativamente all'involucro edilizio perimetrale presenta due tipologie di murature: mattone pieno per la parte più antica e mattone forato semipieno per l'ampliamento delle due testate dove sono stati realizzati i bagni (Figura 4.30).

Figura 4.29

Prospetto lato cortile



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 4.30

Ampliamento della testata nord/est dove sono stati realizzati i bagni.



Fonte: fotografia dell'autore

Dall'analisi dei prospetti e soprattutto dalle condizioni interne degli appartamenti si può riscontrare quanto l'umidità di origine meteorica dovuta al contatto dell'edificio con acqua derivante da precipitazioni piovose abbia avuto un ruolo importante nell'eccesso di umidità presente all'interno dello stabile.

Non è da sottovalutare l'esposizione ai quattro venti dell'immobile tantomeno e la copiosità dei temporali estivi provenienti durante il periodo estivo dalle prealpi biellesi. Principalmente l'acqua meteorica è penetrata orizzontalmente nel muro non solo grazie alla pressione del vento ed alla capillarità del materiale ma soprattutto (Figura 4.31) dalla fessurazione e dal distacco delle fasce marcapiano dalla muratura perimetrale e

dalle cornici in pietra da taglio di finestre e porte finestra dei lati nord/est e nord/ovest che lasciano penetrare nella costruzione.

Figura 4.31

Fascia marcapiano



Fonte: fotografia dell'autore

Crepe, fessurazioni, distacchi di intonaco causati dagli sbalzi termici e da movimenti di dissesto hanno permesso alla pioggia di infiltrarsi fra i giunti di malta che legano i mattoni.

4.6.2 Intonaci distrutti o distaccati

Le facciate, presumibilmente negli anni settanta, furono tinteggiate con pittura coprente non permeabile ancora presente con numerose porzioni distaccate. In alcuni tratti dove la tinteggiatura è distaccata sono presenti distaccamenti di intonaco con evidenti riprese eseguite negli anni. La posizione dove si trova un materiale sull'edificio influisce sul suo degrado in quanto esso è soggetto ad una quantità di evaporazione dalla sua superficie. Indubbiamente contano anche la quantità di superficie esposta secondo la sua forma, l'esposizione con il conseguente effetto del vento.

L'intonaco applicato sulle facciate è di due tipi differenti: intonaco a malta di cemento ed intonaci a malta di calce.

Gli intonaci a malta di cemento (intonaci cementizi introdotti negli anni '50 e '60) nelle fasi iniziali presentano solo deterioramenti lievi con rigonfiamenti senza fessurazioni o rotture di superficie. Con il passare del tempo appaiono fessure, rotture e distacchi e

l'intero intonaco crolla per discrete superfici (Figura 4.32) segni di riprese di intonaco a malta di cemento distaccato).

Gli intonaci a malta di calce presentano crepe e fessurazioni prodotte dai diversi cicli di espansione e ritiro nell'intonaco dai contrasti di aderenza da cui derivano le tensioni di trazione hanno creato le fessure entro le quali penetra l'acqua.

Figura 4.32

Segni di riprese di intonaco a malta di cemento distaccato



Fonte: fotografia dell'autore

4.6.3 Presenza di condense

La presenza di condensa e la muffa sono due fattori che raramente si manifestano disgiunti, cioè raramente il fenomeno è dovuto ad uno solo di essi. Spesso i fattori si concatenano, concorrendo al verificarsi della condensazione.

La condensa si verifica quando l'umidità nell'aria si deposita su superfici fredde, peggiorando le condizioni sia strutturali che igieniche; i ponti termici, d'altra parte, sono aree dove l'isolamento della struttura edilizia è insufficiente, con conseguente perdita di energia e calore.

Oltre a quanto già considerato a riguardo della presenza di muffe i fenomeni interni superficiali di condensazione (e formazione di muffa), i fattori che possono esserne alla base sono essenzialmente due: l'inadeguato isolamento termico della struttura e un'elevata concentrazione di vapore interna (Figura 4.33 – 4.34).

Per quanto riguarda i blocchi bagni realizzati sulle testate si ha la certezza che si tratta di murature perimetrali in mattone forato dallo spessore di cm. 30 e cm 20 mentre per quanto riguarda il resto dell'edificio la muratura perimetrale in mattone ha spessore di cm. 54 di cui non si conosce la tipologia del mattone (sarà necessario provvedere ad un saggio) il tutto non coibentato.

Con l'assenza di isolamento termico dell'involucro dell'edificio, nella sua globalità si sono create delle zone a temperatura bassa sulla superficie interna delle strutture, dove si forma della condensa o della muffa. Lo stesso problema si presenta per la mancanza di correzione dei ponti termici.

Figura 4.33

Formazioni di condensa e di muffa dovuta a un ponte termico



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 4.34

Formazioni di muffa alla base muraria dovuto alla mancanza di isolamento termico della parete e al ponte termico



Fonte: fotografia dell'autore

4.6.4 Presenza di muffe

Nei locali degli appartamenti sul lato nord/ovest e soprattutto nei bagni sono presenti tracce di muffa accompagnate localmente da un forte odore. Nei bagni, realizzati con muratura sottile in mattoni semipieni l'umidità relativa UR misurata con misuratore di umidità (Figura 4.35) oscilla tra il 70 e 80% e la temperatura al di sotto i 20 °C. L'UR rilevata, che permane per lungo tempo, l'illuminazione scarsa, l'aria calma e un minimo di nutrienti sulle superfici, creano l'ambiente ideale preferito da queste attività biologiche. Anche se il valore UR dell'80% viene considerato il limite oltre il quale la proliferazione diventa significativa e problematica già con valori UR del 70% in condizioni ideali come nel nostro caso le muffe sono generalmente le prime attività microbiologiche ad attivarsi. Non bisogna inoltre sottovalutare lo sviluppo di batteri che creano sulle superfici un film biologico, il quale diventa a sua volta il substrato nonché nutrimento per le muffe primarie, già con UR del 61%.

Le muffe possono restare per lunghi periodi in stato di inattività e riprendere vitalità appena si ricreano le condizioni ideali ricevendo i minimi quantitativi di acqua o umidità necessari.

Figura 4.35

La misurazione dell'umidità interna dei bagni oscilla tra il 70 e 80%.



Fonte: fotografia dell'autore

In funzione delle condizioni ambientali, di umidità, temperatura, pH delle superfici, illuminazione, ventilazione e disponibilità di nutrienti, si avranno alcune muffe che si sviluppano di più rispetto alle altre, oppure che iniziano per prime a insediarsi, instaurando forme di convivenza con gli altri microorganismi.

5-CASO DI STUDIO

INTERVENTI CORRETTIVI PROPOSTI

5.1 Correttivi su edificio

Valutando quanto emerso in fase diagnostica esaminando le criticità riscontrate si possono proporre interventi per eliminare le cause che li hanno generati e gli interventi correttivi possibili per ogni singolo problema manifestato:

_ seminterrato

- presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali
- presenza diffusa di umidità e di sali sulle superfici delle murature
- distacchi di calcestruzzo dalle armature delle strutture

_ chiusure verticali (pareti)

- diverse problematiche di natura infiltrativa
- intonaci distrutti o distaccati
- presenza di condensa
- presenza di muffe

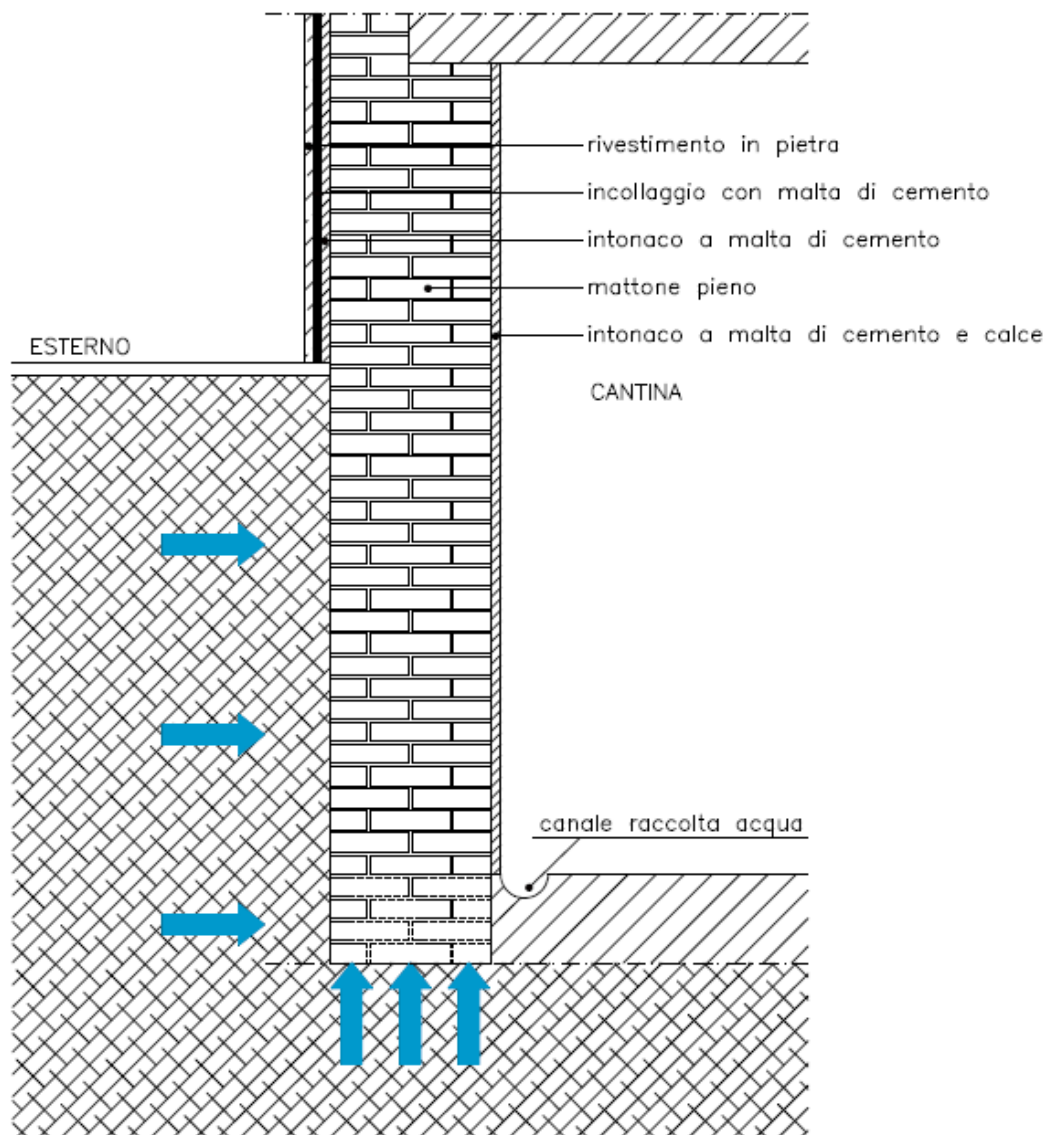
5 2 Seminterrato

5.2.1 Presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali

La presenza di acqua corrente di natura infiltrativa proveniente dalle murature perimetrali e quella di risalita (Figura 5.1) sono un problema di difficile soluzione. Considerando la gravità della situazione del seminterrato, nonché che la struttura portante verticale è in muratura l'intervento correttivo deve essere il più completo e risolutivo possibile anche se molto costoso.

Figura 5.1

Presenza di acqua corrente di natura infiltrativa che penetra orizzontalmente nelle murature perimetrali e quella di risalita



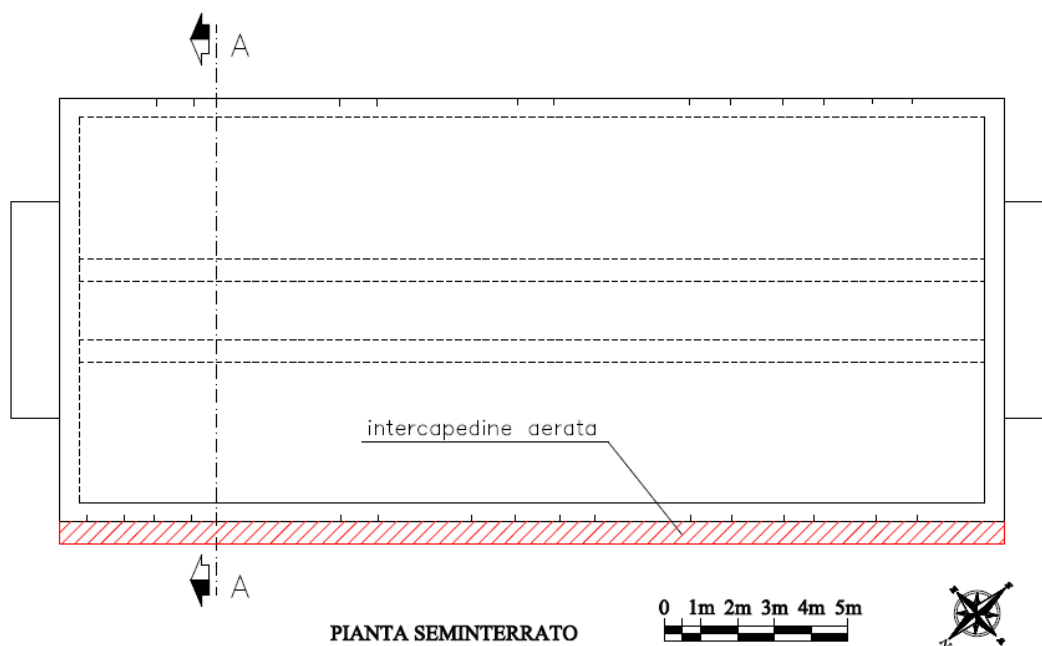
Fonte: disegno dell'autore

Per impedire l'afflusso di acqua verso il muro di fondazione è indispensabile impedire all'acqua, che imbibisce il terreno, di arrivare a ridosso del muro causando le infiltrazioni di umidità laterale riscontrate.

La soluzione proposta, (ottimale sotto tutti i punti di vista) è quella di realizzare una intercapedine aerata (Figura 5.2) sul lato nord/ovest.

Figura 5.2

Intercapedine aerata da realizzare a ridosso della muratura sul lato nord/ovest lato marciapiedi



Fonte: disegno dell'autore

Lungo la muratura sarà necessario scavare una trincea fino a raggiungere la base del muro (di cui non si conosce la presenza o meno di un piede di fondazione). Dal lato verso strada del muro dovrà essere rimosso, dalla parte fuori terra, lo zoccolo in pietra e integralmente l'intonaco. L'intercapedine sarà realizzata costruendo un muro in cemento armato calcolato come muro di sostegno ad una distanza di 60cm. dall'edificio. L'intercapedine superiormente sarà coperta da una griglia in acciaio per permettere la circolazione dell'aria mentre sul fondo sarà realizzata una canaletta impermeabile per la raccolta dell'acqua che andrà allontanata e smaltita negli scarichi esistenti presenti in cortile.

Per l'eliminazione dell'umidità di risalita nelle murature in mattoni si propone l'uso della tecnologia detta "barriera chimica" la quale consiste nell'uso di prodotti chimici a tenuta di umidità.

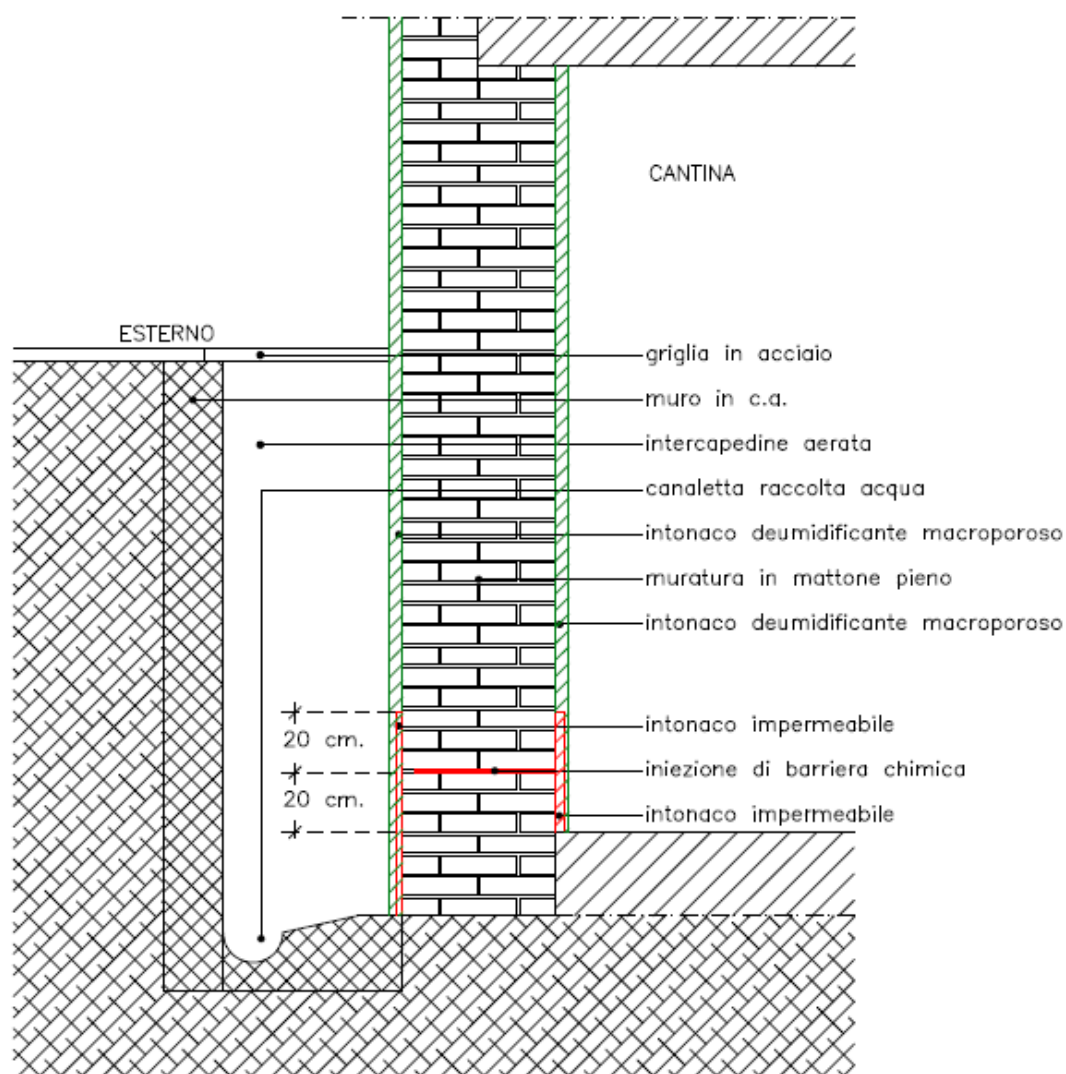
Sviluppato in Gran Bretagna negli anni '50 questo sistema è sufficientemente collaudato ed offre la scelta tra numerosi metodi e materiali disponibili.¹

La barriera chimica si forma utilizzando un'emulsione cremosa pronta all'uso, superidrofobica, atossica creata da miscele di diversi composti a base silanica o silossanica, aggregati tramite soluzioni in acqua o solvente organico.

La messa in opera avviene seguendo le schede tecniche e le istruzioni di posa che ogni produttore del composto da impiegare stabilisce con le proprie specifiche modalità di esecuzione dei fori sia come diametro che come interasse ed eventuale inclinazione.

Figura 5.3

Sezione muratura seminterrato con l'intercapedine e lo schema di realizzazione della barriera chimica



Fonte: disegno dell'autore

1.Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

Indicativamente la messa in opera avviene perforando la muratura con fori di diametro di 12 mm fino ad una profondità che risulti entro i 5-6 cm dalla faccia opposta ad una distanza di 12 cm uno dall'altro (Figura 5.4). Nel caso di studio avendo una muratura in mattoni con corsi regolari il sistema più efficace è forare orizzontalmente lungo il corso di malta ad una quota di circa 20cm. al di sopra del piano pavimento (Figura 5.3). Una volta eseguiti i fori è necessario liberarli da residui e polvere mediante soffiaggio o aspirazione. Iniezione dell'emulsione impermeabilizzante la cui densità cremosa varia a seconda del produttore può avvenire mediante immissione con pistola manuale inserendo in beccuccio per tutta la profondità del foro realizzato riempiendolo completamente (Figura 5.5). Dopo l'iniezione tutti i fori vanno tappati con idonea malta a presa rapida.¹

Figura 5.4

Esecuzione di fori dal diametro di 12 mm fino ad una profondità che risulti entro i 5-6 cm dalla faccia opposta ad una distanza di 12 cm uno dall'altro.



Fonte: fotografia dell'autore

1. © VOLTECO S.p.A., Manuale di posa sistema Triplezero

Figura 5.5

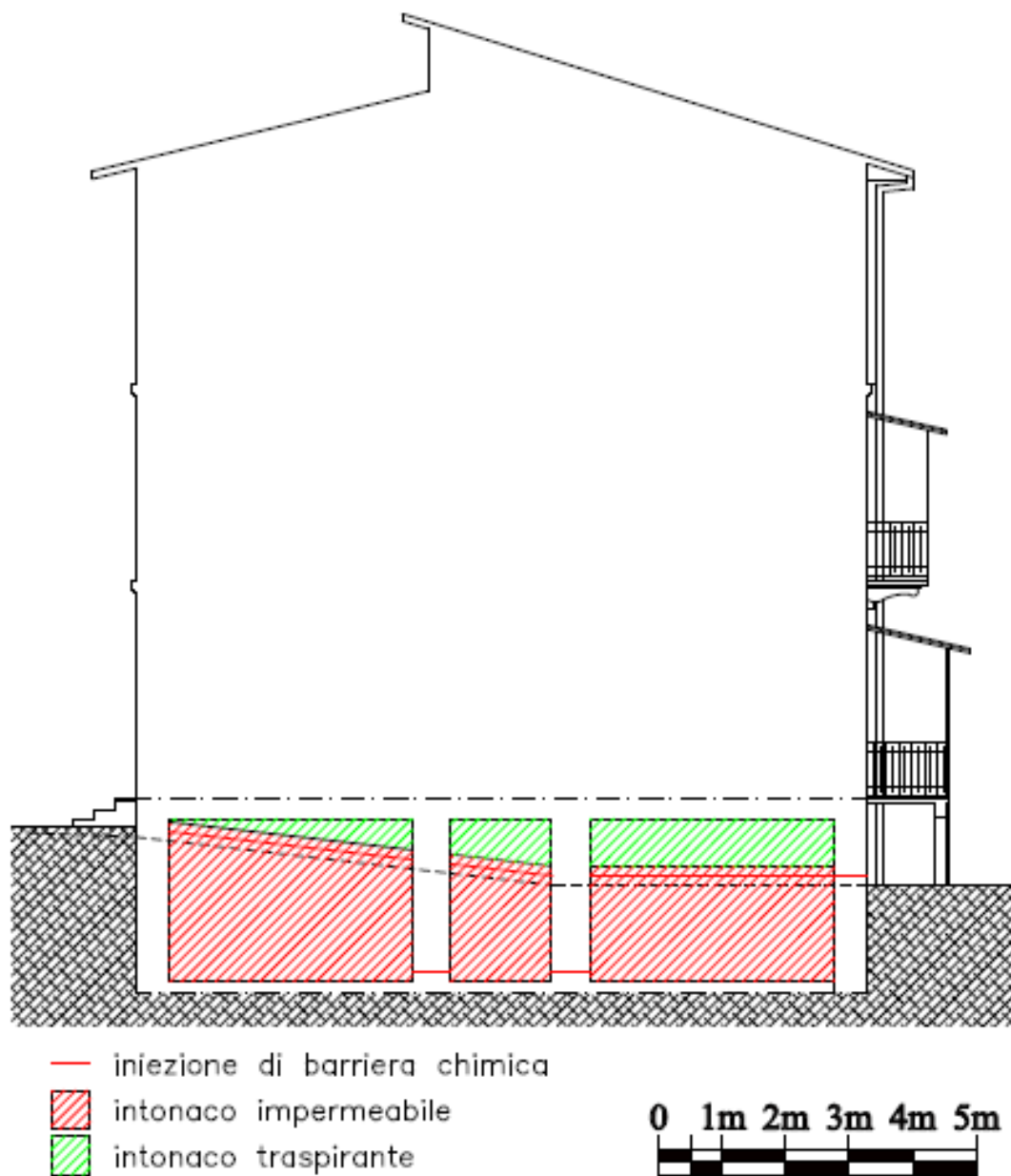
Iniezione dell'emulsione impermeabilizzante mediante immissione con pistola manuale inserendo in beccuccio per tutta la profondità del foro realizzato riempiendolo completamente.



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 5.6

Sezione dell'edificio con l'indicazione degli interventi per la realizzazione della barriera chimica dove non è possibile realizzare l'intercapedine



Fonte: disegno dell'autore

Per evitare fuoriuscite di umidità, prima dello sbarramento chimico, è necessario bloccare il flusso d'acqua che dal terreno procede verso l'alto, realizzando una zoccolatura con intonaco impermeabile a spessore sia internamente che esternamente all'edificio.

Sui restanti lati del seminterrato non è possibile realizzare l'intercapedine aerata per la presenza dei blocchi dei bagni sulle testate e la presenza del balcone su tutto il lato verso il cortile. Pertanto si procederà realizzando la barriera chimica a 20 cm dal terreno sul lato esterno della muratura e con intonaco impermeabile sui lati del muro fino al superamento di 20 cm dalla barriera stessa (Figura 5.6).

Figura 5.7

Applicazione di intonaco impermeabile



Fonte: fotografia dell'autore

Allo stesso modo si procederà sui due muri di spina centrali portanti. Sull'intonaco impermeabile impiegato nei locali seminterrati, è necessario applicare uno strato di intonaco traspirante macroporoso per evitare fenomeni di condensazione superficiale (Figura 5.7).

5.2.2 Presenza diffusa di umidità e di sali sulle superfici delle murature

La superficie di muratura non interessata dalla stesura di intonaco impermeabile, a completamento della barriera chimica ma soggetta alla presenza di umidità diffusa e di sali sulla superficie, sarà totalmente ripulita mediante l'asportazione dell'intonaco di parti superficiali friabili, incoerenti o sporche.

Nel momento in cui la muratura cede umidità all'ambiente asciugandosi si instaura un flusso di acqua non liquida e di sali in essa disciolti, che procedono dall'interno verso la superficie esterna.

La porosità e la permeabilità interne del muro o di una malta da intonaco sono le caratteristiche fondamentali che governano il trasporto e l'evaporazione di soluzione salina e di vapore acque dall'interno del muro attraverso l'intonaco fino all'aria esterna. Un intonaco adatto a questo impiego, deve agevolare tale flusso.

L'uso di intonaci traspiranti molto porosi, aventi pori comunicanti di grosse dimensioni detti anche macroporosi. Questi intonaci favoriscono una più rapida evaporazione dell'umidità e nel contempo consentono ai cristalli dei sali che si vanno formare, di alloggiare all'interno dei pori, senza fuoriuscire all'esterno, e soprattutto senza disgregare l'intonaco.

I concetti base, che devono generalmente essere rispettati sugli intonaci sono piuttosto semplici. Più un intonaco è poroso, più sarà in grado di favorire l'asciugatura del muro umido, e la formazione dei cristalli, generati dall'evaporazione della soluzione salina, si fermerà all'interno dei macropori nello spessore dell'intonaco che immagazzinandoli li nasconderà alla vista.

Un intonaco macroporoso agisce da estrattore di sali.

Infatti se a contatto con la faccia di un materiale contenente acqua viene posto un altro materiale di porosità maggiore, non appena l'acqua penetra in una situazione di pressione più bassa espanderà. Questo vuoto ha un affetto attrahente dell'acqua interna per cui l'intonaco effettivamente asciuga il substrato. Per ottenere la diminuzione della pressione di vapore entro un intonaco basta che questo abbia pori più grossi di quello del muro. Il volume d'aria dei grandi pori varia dal 20% a oltre il 40% del volume totale.

Sulle pareti del seminterrato non interessate dalla realizzazione dell'intercapedine la barriera chimica sarà realizzata ad una altezza di 20cm dal piano terreno esterno. Di conseguenza l'altezza e la tipologia intonacatura sarà conseguenza della posizione della linea della barriera chimica (Figura 5.6).

5.2.3 Distacchi di calcestruzzo dalle armature delle strutture

Per quanto riguarda gli interventi correttivi relativi ai distacchi di calcestruzzo dalle strutture bisogna fare riferimento norma UNI EN 1504 si compone di 10 parti e precisamente per il caso di studio la norma UNI EN 1504 - 3 Prodotti e sistemi di riparazione strutturali: "Prodotti e sistemi applicati a una struttura di calcestruzzo per sostituire il calcestruzzo danneggiato e ripristinare l'integrità e la durabilità strutturale."

Più precisamente sarà necessaria la rimozione totale del calcestruzzo degradato e privo di coerenza con il sottofondo mediante spicconatura fino al raggiungere almeno il calcestruzzo solido la cui superficie dovrà essere resa ruvida con asperità di almeno 5 mm (Figura 5.8).

Figura 5.8

Rimozione del calcestruzzo degradato e privo di coerenza fino al raggiungere del calcestruzzo solido



Fonte: fotografia dell'autore

Spazzolare i ferri d'armatura e ripulire dalla ruggine ogni ferro ed eventuale integrazione attraverso la saldatura di monconi. Pulita ed eliminata la polvere su tutta la superficie saturare accuratamente le superfici con acqua in pressione mantenendole umide sin dall'inizio dell'applicazione. Applicare un trattamento di protezione anticorrosione mediante stenditura di due mani di un prodotto bicomponente a base cementizio - polimerica, quale inibitore di corrosione, conforme alla norma EN 1504-7, e successiva posa in opera di malta premiscelata tixotropica monocomponente fibrorinforzata conforme alla UNI EN 1504-3, di tipo R3 (Figura 5.9 – 5.10).

Figura 5.9

Fase di lavorazione per la ricostruzione del voltino della finestra del seminterrato



Fonte: fotografia dell'autore

Figura 5.10

Fase conclusiva dell'intervento di ricostruzione del voltino della finestra del seminterrato con ripristino ultimato



Fonte: fotografia dell'autore

5.3 Involucro edilizio verticale

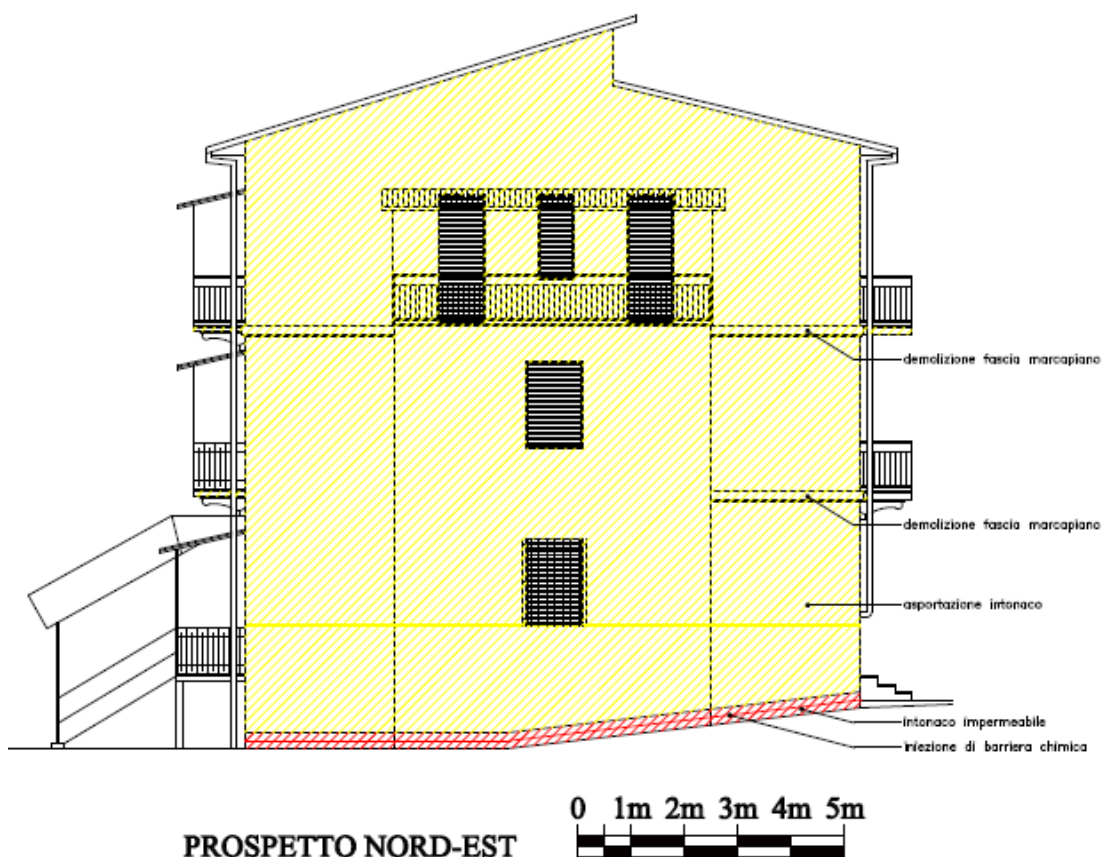
5.3.1 Problematiche di natura infiltrativa - Intonaci distrutti o distaccati

Le facciate dell'edificio come evidenziato dall'analisi delle problematiche riscontrate si presentano in pessime condizioni con crepe, fessurazioni, distacchi di intonaco, distacco delle fasce marcapiano dalla muratura, intonaco di differente composizione e rappezzi vari. In questo caso si propone un intervento drastico quale il rifacimento integrale delle facciate. Anche se costoso poiché necessita di una cantierizzazione importante e la realizzazione di un ponteggio su tutto il perimetro del fabbricato, questo intervento permette una riqualificazione integrale dell'involucro.

Le prime operazioni da svolgere riguardano la liberazione delle murature da tutti i rivestimenti quali la rimozione della zoccolatura in pietra, delle cornici e soglie di finestre e porte finestra, l'asportazione dell'intonaco e della fascia marcapiano, la demolizione delle parti ammalorate di sottobalconi, frontalini e cornicioni e la pulizia da ogni presenza di parti superficiali friabili, incoerenti o sporche etc... (Figura 5.11)

Figura 5.11

Indicazione degli interventi di ripristino delle facciate



Fonte: disegno dell'autore

In continuazione di quanto proposto sulla parte emergente da piano di campagna si procederà alla stesura di intonaco su tutte le facciate a creare una superficie uniforme e continua.

5.3.2 Presenza di condense

La formazione di condensa in un locale è esclusivamente un fenomeno legato alla temperatura dell'aria e alla sua umidità relativa.

Per prevenire i fenomeni condensativi nel fabbricato è necessario agire contemporaneamente su due fronti: tenere abbastanza alta la temperatura delle superfici interne e ridurre il più possibile l'umidità relativa dell'aria interna con una conduzione atta a non agevolare la formazione di umidità.

I calcoli termici effettuati in conformità con la normativa sul risparmio energetico tengono conto che l'aria interna di un edificio residenziale debba avere temperatura di 20°C con umidità relativa UR al massimo 65%.

In ogni caso il valore ottimale dell'umidità relativa in una abitazione nel periodo invernale è sempre del 50% alla temperatura di 20°C sia per la salute degli occupanti sia per evitare qualsiasi tipo di proliferazione biologica dannosa.

Non sempre, però, è possibile compensare le carenze dell'edificio con una conduzione più attenta e scrupolosa al fine di limitare o di impedire la formazione di muffe e condense.

Nel caso di studio, considerando le caratteristiche globali dell'involucro edilizio, l'assenza di coibentazione e la presenza di murature molto disperdenti la realizzazione di un cappotto termico è una scelta imprescindibile.

In commercio esistono innumerevoli tipologie di materiali isolanti e sistemi di cappotto termico.

La presenza di balconi e la conseguente necessità di mantenere lo spessore dell'isolamento in spessori limitati, la scelta potrebbe ricadere su materiali quali schiuma fenolica rivestita su entrambe le facce con velo vetro saturato avente una conducibilità termica $\lambda_d = 0,019 / 0,021 \text{ W/mk}$.

I pannelli vengono incollati tramite collanti specifici (Figura 5.12) stesi sul pannello stesso e fissati meccanicamente alla parete con tasselli adatti al pannello ed alla muratura di supporto.

Figura 5.12

Metodo di preparazione di un pannello isolante con collante specifico



Fonte: fotografia dell'autore

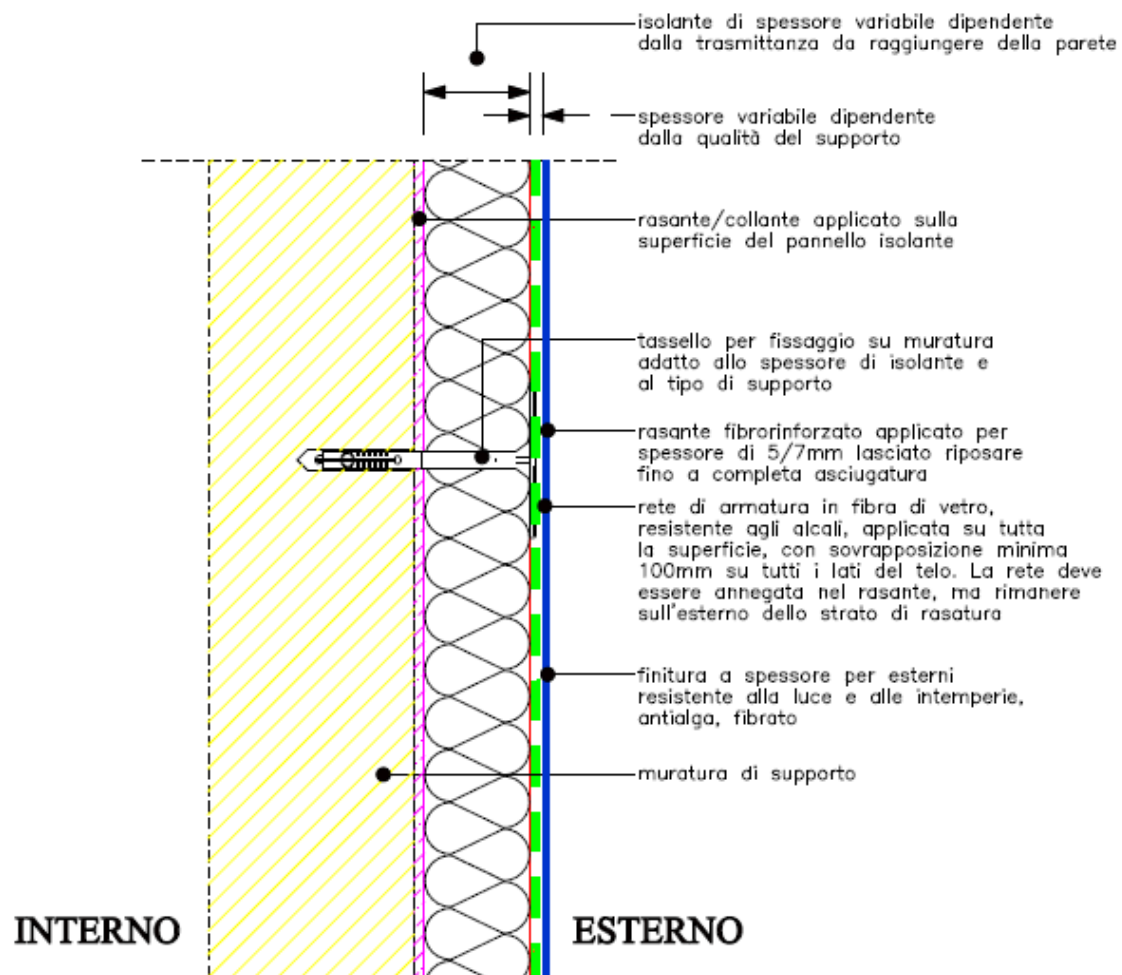
La finitura esterna avviene con la sovrapposizione di diversi strati di rasante con interposta una rete in fibra di vetro annegata all'interno della rasatura. (Figura 5.13). Nel caso di studio la rimozione delle cornici in marmo di finestre e porte finestra permette la coibentazione anche delle spallette e dei davanzali delle aperture (Figura 5.14).

Con la posa del cappotto termico anche i ponti termici, cioè quei punti di discontinuità della struttura attraverso i quali si ha una dispersione di calore tra interno ed esterno dell'edificio, producendo un impatto diretto sulla trasmissione del calore, vengono corretti evitando così la formazione di condense e sviluppo di muffe negli angoli interni in corrispondenza delle strutture in cemento armato e dove l'involucro presenta una riduzione del suo spessore.

Oltre agli interventi correttivi da applicare sulle facciate si prendono in considerazione i possibili interventi che si possono mettere in pratica all'interno delle singole unità immobiliari soprattutto nei bagni. Resta inteso che prima di tutto bisognerà evitare di stendere i panni dentro casa ed avere la cappa di aspirazione della cucina correttamente collegata con l'esterno e che venga utilizzato frequentemente.

Figura 5.13

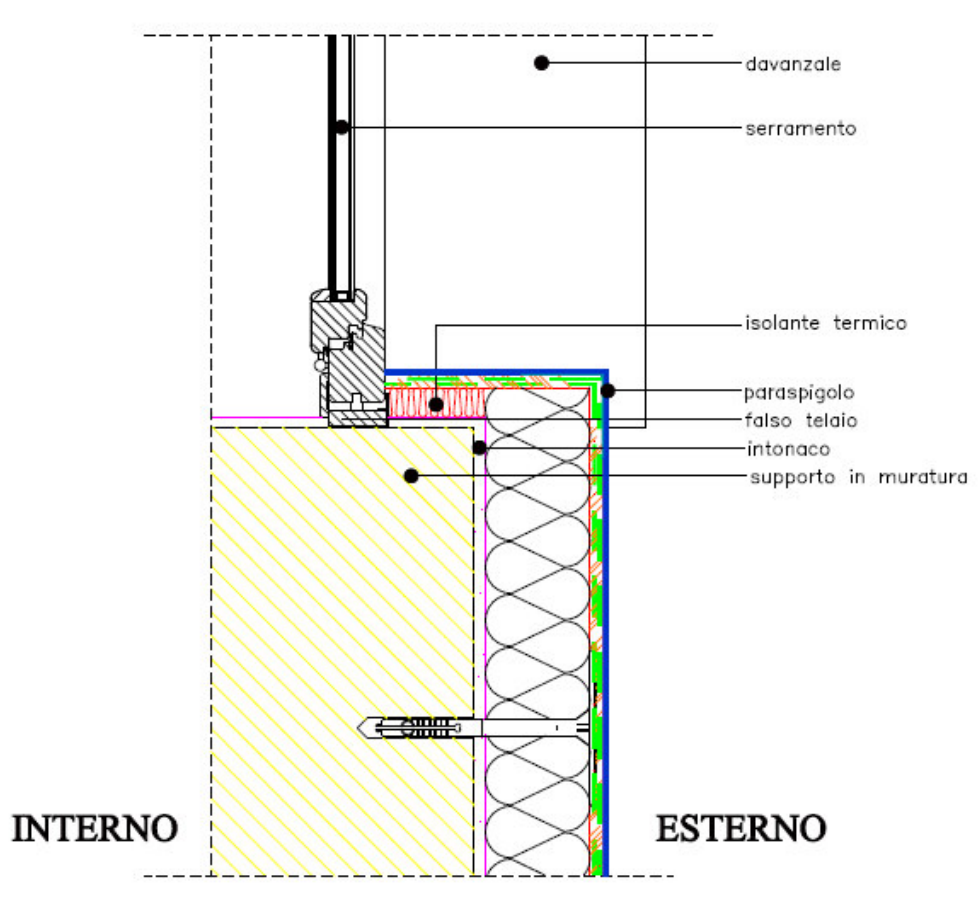
Schema di posa del sistema cappotto termico su una parete



Fonte: disegno dell'autore

Figura 5.14

Dettaglio del completamento di posa del sistema cappotto termico sulle spallette di una finestra o porta finestra



Fonte: disegno dell'autore

La strategia più efficace per impedire la formazione di condensa consiste nel tenere sufficientemente bassi i valori di umidità relativa dell'aria interna. Questo può essere fatto agevolmente attraverso il riscaldamento continuativo (evitare il riscaldamento intermittente), una corretta aerazione o ventilazione dei locali e l'installazione di rivestimenti interni fortemente igroscopici.

L'aerazione è il sistema più semplice per evacuare l'umidità in eccesso dei locali.

Se necessario si può ricorrere ad un sistema VMC, ovvero Ventilazione Meccanica Controllata che assicurano un'efficace ventilazione consentendo una sostituzione corretta dell'aria con una sensibile riduzione dell'umidità nel singolo alloggio.

5.3.3 Presenza di muffe

Gli ambienti con presenza di muffe devono innanzitutto essere bonificati per impedire che le spore possano diffondersi nei locali contigui creando ulteriori contaminazioni. La polvere deve essere aspirata utilizzando un aspiratore dotato di filtri idonei in modo che

le spore vengano trattenute nel filtro e non ulteriormente disperse nell'aria. Le superfici devono essere accuratamente pulite con idonei prodotti disinfettanti che generalmente sono fortemente basici in soluzione acquosa quali idrossido di sodio (soda caustica), ipoclorito di sodio (candeggina), ammoniaca. Questi prodotti, però, sono irritanti e nocivi per chi li utilizza e possono danneggiare le superfici con le quali vengono a contatto. Sulle muffe hanno effetto immediato ma non sono persistenti perciò, successivamente alla bonifica la presenza delle muffe deve essere contrastata con la prevenzione impedendone la innanzitutto formazione.

Lo sviluppo delle muffe, come ampiamente descritto, si ha solo quando queste trovano sufficiente umidità e cibo disponibile. Considerando che possono vivere anche solo con i nutrienti contenuti nella polvere presente nell'aria, ma non senza umidità è evidente che l'unica prevenzione veramente efficace è consiste nell'evitare che l'umidità relativa superi valori i valori di rischio UR 65%.

Quanto proposto per risolvere i problemi di condensa quale la coibentazione dell'involucro dell'edificio e la correzione dei ponti termici (adeguatamente dimensionata) è sufficiente a mantenere la superficie interna sufficientemente calda da non rendere possibile lo sviluppo di umidità elevate e quindi di muffe.

Nei bagni dove attualmente la situazione è più critica è possibile se necessario intervenire su intonaci e finiture utilizzando preferibilmente materiali a base di calce meglio se pura. La calce è praticamente un disinfettante naturale delle superfici con il vantaggio di essere facilmente reperibile, molto economica, traspirante e adatta ad evitare fenomeni di condensa superficiale.

CONCLUSIONI

Con il crescere delle necessità di ridurre la dispersione termica degli edifici, intervenendo su un patrimonio edilizio spesso datato e trascurato, ci si trova sempre più a dover affrontare e porre rimedio a problematiche di umidità di risalita e non, condense e formazione di muffe.

La risoluzione di questi problemi, sovente sottovalutati, diventano di cruciale importanza quando, ad esempio, si deve rendere gli edifici ermetici per sottostare alle sempre più stringenti leggi sull'efficienza energetica, intervenendo con la coibentazione dell'involucro edilizio e la sostituzione degli infissi.

Se da una parte la mancanza di ricambi d'aria naturali, dovuti agli spifferi o altre infiltrazioni d'aria, ben difficilmente potrà essere sostituita con l'apertura delle finestre una o due volte al giorno per pochi minuti, dall'altra le infiltrazioni di aria fredda negli edifici riscaldati causa l'abbassamento delle temperature con la conseguente formazione di fenomeni condensativi.

Per quanto riguarda il fenomeno della risalita muraria, è facile commettere errori di valutazione e diagnosi che possono portare ad interventi invasivi e costosi spesso non risolutivi.

Vista la vastità dell'argomento, in questo lavoro si sono descritti e approfonditi soprattutto quei temi di grande interesse che potevano avere una immediata applicazione nel caso di studio trattato.

Nel caso di studio, le teoriche ipotesi prospettate a seguito dell'indagine sull'edificio sono state confermate dagli approfondimenti successivi.

Per quanto riguarda gli interventi correttivi proposti le scelte sono ricadute su tecnologie e prodotti di effettiva validità tecnica e fattibilità.

Come evidenziato dalla documentazione fotografica gli interventi più importanti sono in corso di esecuzione.

Per quanto riguarda i lavori più invasivi e costosi, questi restano da valutare dal punto di vista economico; parametro che in questo lavoro non è stato preso in considerazione.

Questo perché alcuni alloggi del fabbricato sono in vendita e di conseguenza a fronte di un costo comunque importante non si ha la reale quantificazione delle capacità di spesa dei proprietari.

BIBLIOGRAFIA

- Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria Diagnosi e sistemi correttivi*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Argiolas M. (2020), *L'umidità da risalita muraria*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Argiolas M. (2020), *Muffe e condense negli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.
- Ball P. (2000), *H2O Una biografia dell'acqua*, Rizzoli Editore, Milano.
- Bellini A., (1986) *Tecnica della conservazione*, F. Angeli, Milano.
- Bertolini L. (2006), *Materiali da costruzione – Volume II: Degrado, prevenzione, diagnosi, restauro*, Città Studi Edizioni, Torino, 2006.
- Bohren F.C. (1987), *Clouds in a glass of beer*, Dover Publication Inc., New York.
- Bohren F.C. (1991), *What light trough yonder window breaks?*, Dover Publication Inc., New York.
- Broccolino A. (2006), *Impermeabilizzazioni. Coperture continue – codice di pratica*, II ed., EdilStampa Editrice, Roma.
- Burkinshaw R., Parret J.M. (2024), *Diagnosing damp*, The Royal Institute of Chartered Surveyors, Coventry (UK).
- Cigni G., Codacci-Pisanelli B. (1987), *Umidità e degrado negli edifici*, Edizioni Kappa, Roma.
- Collepari M. (2002), *Il nuovo calcestruzzo*, II ed., Tintoretto Editore, Treviso.
- Collepari, M. (2002), *La fisica dell'acqua nelle costruzioni*, Enco srl, Ponzano Veneto.
- Dezzi-Bardeschi M., Sarlini C., (1981), *La conservazione del Costruito. I Materiali e le Tecniche*, Club, Milano.
- Dondi M., Fabbri B., Guarini G., Marsigli M., Mingazzini C., *Sali solubili ed efflorescenze nei laterizi: proposta di uno schema di previsione del rischio di manifestazioni efflorescenti*, Cnr-Irtec, Faenza.
- Faconti D., Piardi S. (1998), *La qualità ambientale degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini.
- Felli M., (2004) *Lezioni di Fisica Tecnica 2 (civile a ambientale)*, Morlacchi Editore, Perugia.

- Franceschi S., Germani L. (2007), *Il degrado dei materiali nell'edilizia*, Dei, Tipografia del Genio Civile, Roma.
- Gasparoli P., (2002), *Le superfici esterne degli edifici*, Alinea Editrice, Firenze.
- Gebbia V., V. Gebbia, (2015), *Umidità negli edifici. Diagnostica e risanamento*, Grafill, Palermo.
- Grosso M., (2008), *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, Rimini.
- Hall C., Hoff W.D., (2010) *Moisture dynamics in wall: rsponse in micro-environment and climate change*, Proceeding of The Royal Society of Chemistry, London.
- Hetreed J., (2008), *The damp house*, The Crowood Press Ltd., Ramsbury (UK).
- Howell J., (2008), *The rising damp myth*, Nosecone Publications, Woodbridge (UK).
- Lucchi E., (2013), Pracchi V., *Efficienza energetica e patrimonio costruito*, Maggioli Editore, Rimini.
- Masi M., Soccol B., (2006), *Inquinamento Indoor Outdoor*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.
- Massari G., Massari I., (1981), *Risanamento Igienico dei Locali Umidi*, Hoepli, Milano.
- Massari G., Massari I., (1993), *Damp Building old new*, ICCROM, Roma.
- Mundula I. Tubi N., (2011), *Umidità e risanamento negli edifici in muratura*, Maggioli Editore, Rimini.
- Pinto Guerra E., (2011), *Risanamento di murature umide e degradate*, II ed., Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Reynolds O., (1880) *Note on Thermanal Transpiration*, Prooceding of the Royal Society of London, London.
- Trotman P., Sanders C., Harrison H., (2004), *Understanding dampness*, Building Research Establiashment, Watford,