

**Salubrità e vantaggi  
del faccia a vista  
in laterizio**



Made in Italy

**100%**  
**NATURAL**  
**COTTO**



# Indice

|   |    |
|---|----|
| Prefazione  | 7  |
|  <b>Ricerca</b>                          | 9  |
| <b><i>Salubrità</i></b>   |    |
| Isolanti naturali e laterizi a vista - I laterizi come sistema di «moisture buffering»                                    | 11 |
| I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico»   | 15 |
| Facciate in laterizio faccia a vista contro il bio-degrado: risultati analitici   | 19 |
| NZEB e degrado biologico delle superfici  | 24 |
| <b><i>Progettazione di ancoraggi e graffaggi</i></b>  |    |
| Ancoraggi e graffaggi nei paramenti in laterizio faccia a vista   | 29 |
| La progettazione sismica nelle murature “faccia a vista”: dettagli costruttivi  | 33 |
| Divisori, tamponamenti e facciate in laterizio negli edifici in c.a.: Le verifiche sismiche per le pareti non strutturali | 37 |
| <b><i>Prestazioni Termiche ed acustiche</i></b>   |    |
| Accorgimenti per la costruzione di involucri termicamente efficaci  | 42 |
| Accorgimenti per la costruzione di involucri acusticamente protetti   | 45 |
| <b><i>Sostenibilità</i></b>   |    |
| Qualità ambientale delle soluzioni in laterizio   | 49 |
| Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali  | 61 |

|   |     |
|---|-----|
|  <b>Tecnologia</b>   | 69  |
| Proctor e Matthews in dettaglio   | 71  |
| Autenticità costruttiva, laterizio e spazi interni  | 75  |
| Una scuola di mattoni   | 79  |
| Evanescenze in laterizio  | 83  |
| Laterizio e prefabbricazione  | 87  |
| Dettaglio introverso  | 91  |
|  <b>Architettura</b> | 97  |
| Centro d'assistenza De Ark ad Hasselt, Belgio   | 98  |
| Centro di formazione, Aschersleben (D)  | 100 |
| Shadow House, Londra  | 102 |
| Complesso polifunzionale area ex-Appiani, Treviso   | 104 |
| LLP MARTa Herford, Herford, Germania  | 106 |
| Museo dell'architettura per la Fondazione dell'Isola di Hombroich, Neuss, Germania                    | 108 |
| Credits   | 112 |





L'ANDIL è l'Associazione Nazionale degli Industriali dei laterizi, conta 106 imprese e 127 stabilimenti di produzione, con un totale di circa 4.400 addetti, che immettono sul mercato elementi con diversa destinazione d'uso (murature, divisori, coperture, rivestimenti, pavimentazioni, etc.).

Attualmente fanno parte dell'ANDIL aziende di ogni dimensione, localizzate in tutte le regioni italiane, che rappresentano circa l'80 % della produzione nazionale complessiva. All'interno dell'Associazione operano le "Sezioni merceologiche", organismi che raggruppano aziende caratterizzate da analoghe produzioni, con la finalità di sviluppare iniziative prevalentemente a carattere promozionale.

ANDIL aderisce a Confindustria e a Federcostruzioni; partecipa alla Federazione Confindustria Ceramica e Laterizi ed, in sede europea, a TBE (Tiles and Bricks of Europe) - Cerame Unie (Federazione dell'intero comparto ceramico). Collabora attivamente, in rappresentanza dell'industria italiana dei laterizi, ai programmi di interesse generale inerenti il "Sistema delle costruzioni", in sinergia con altri organismi federativi, e sviluppa una politica più propriamente di settore, finalizzata allo sviluppo industriale del tessuto imprenditoriale ed all'innovazione dei prodotti in laterizio ed alla loro promozione, in termini di prestazioni tecniche, di comfort e salubrità e del loro corretto impiego. Segue con attenzione l'evoluzione della normativa tecnica strutturale, ambientale ed energetica, è firmataria del contratto nazionale di categoria ed elabora costantemente statistiche di settore; è impegnata, inoltre, nel campo della ricerca e sviluppo.

[www.andil.it](http://www.andil.it) | [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)

© 2016

Tutti i diritti riservati  
All rights reserved

Nessuna parte del presente fascicolo, testi ed immagini, può essere riprodotta in qualsiasi forma, in assenza di autorizzazione scritta da parte di Laterservice S.r.l.

No part of this booklet, texts and images, may be reproduced in any form, without prior written permission of Laterservice S.r.l.

Il “mattone a vista” identifica emblematicamente l’intero mondo del laterizio, chiunque volge il pensiero al mondo delle costruzioni, ancora oggi, come in passato, immagina un mattone.

Questa “eredità” che si tramanda da sempre, è dovuta ai molteplici ed innegabili vantaggi che il “mattone a vista” continua a vantare rispetto ai prodotti concorrenti, che lo hanno sfidato nei tempi: prima fra tutti l’eccezionale durabilità, un concetto chiave per le costruzioni del futuro, mai come oggi, poco considerato, quasi trascurato tra i criteri di scelta dei materiali edilizi, che invece dovrebbe essere il cardine della progettazione sostenibile. Un’altra peculiarità del mattone consiste nella sua reale eco sostenibilità: quante volte sentiamo vantare requisiti “eco” di prodotti “sintetici” che non dovrebbero mai essere impiegati in abitazioni salubri per le nostre famiglie.

Da non trascurare, poi, la versatilità del mattone a vista: oltre alle forme e colori “storicamente utilizzati”, in pochi anni abbiamo creato una vasta gamma di formati, colorazioni, finiture superficiali, che rendono estremamente moderno il più classico dei prodotti in laterizio. Pensiamo solo alle più note opere architettoniche di Botto, Natalini, Zermani, Grassi, Carmassi,... ogni anno che passa acquistano bellezza, la “pelle” esterna dei loro edifici rimane praticamente immutabile nel tempo, ed anzi acquista fascino e valore.

Per contro, vengono in mente le realizzazioni di architetti, altrettanto considerati, che hanno preferito soluzioni esterne diverse: l’estetica iniziale si è mantenuta come per il “nostro” mattone? Il costo degli interventi di ripristino dell’estetica compromessa, quanto grava sui bilanci pubblici o privati? C’è da chiedersi, quindi, se questi progettisti hanno adottato complessivamente soluzioni “ecosostenibili” o meno.

Sono questi principalmente i temi in base ai quali possiamo, dunque, sostenere con forza ed autorevolezza che il “laterizio a vista”, qualunque esso sia ed in tutte le sue forme, è e resterà l’elemento costruttivo principe dell’edilizia moderna, consapevole e sostenibile.

La sempre più ampia proposta di soluzioni costruttive che il mondo dei produttori di laterizi è oggi in grado di offrire, permette al mattone a vista di proporsi validamente non solo per l’esterno delle facciate ma anche come elemento di arredo per gli interni, sulla spinta delle nuove tendenze degli interior designer del nord-Europa.

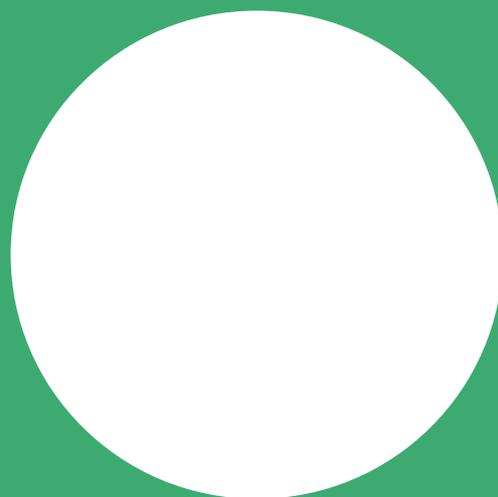
Per approfondire i vari temi appena accennati rimando alla raccolta di articoli che ANDIL ha sapientemente selezionato in questo secondo dossier che segue quello sulle Coperture.

Per una più agevole lettura gli stessi sono suddivisi in tre macroaree: Ricerca, Tecnologia ed Architettura, allo scopo di trasmettere la cultura del “Progettare e Costruire Consapevole”, per fornire spunti e contribuire alla qualità del costruire Italiano di cui i nostri Architetti sono da sempre Maestri.

**Gianni Meneghini**

*Presidente della Macro Sezione ANDIL “Laterizi a Vista”*





**Ricerca**



Elisa Di Giuseppe\*  
Marco D'Orazio\*

ISOLANTI NATURALI E LATERIZI A VISTA

# I laterizi come sistema di «moisture buffering»

La ricerca condotta ha permesso di valutare l'utilizzabilità di alcune tipologie di isolanti in costruzioni basate sull'impiego del laterizio, evidenziando il ruolo che può giocare quest'ultimo (con la sua massa) nel mantenere bassi i contenuti d'acqua all'interno degli stessi isolanti, aumentandone l'efficienza. Si evidenzia, quindi, come le soluzioni massive con il laterizio «faccia a vista» sono capaci di ridurre i contenuti d'acqua in esercizio a carico di isolanti fibrosi di tipo naturale. Come noto, molti isolanti fibrosi sono fortemente igroscopici, aspetto che determina significative differenze tra prestazioni termiche «a secco» e in esercizio

**G**li sviluppi normativi nazionali e regionali stanno incentivando il mondo dell'edilizia all'utilizzo di materiali isolanti a basso impatto ambientale, in una logica di sostenibilità del processo edilizio. Esempio ne è l'adozione del protocollo Itaca da parte di alcune regioni italiane, con la promozione di soluzioni costruttive orientate alla bioedilizia. Contemporaneamente, la necessità di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> in seguito al Protocollo di Kyoto, ha spinto il mondo dell'edilizia a contenere i consumi energetici, introducendo forti limiti sulle trasmittanze termiche e spingendo verso un iperisolamento dell'involucro (si vedano dl 192/05, dl 311/06 e dpr 59/2009). Ne è derivata una tendenza crescente all'impiego, anche in soluzioni costruttive massive con rivestimenti esterni in laterizio faccia a vista, di isolanti naturali spesso di tipo fibroso (a base di legno o lana di diversa natura) in elevati spessori, in virtù della diffusa persuasione che ad una parete in laterizio (quindi permeabile al vapore) si debbano necessariamente associare sistemi di isolamento a pari o superiore permeabilità.

*The research assessed the usefulness of certain type of insulation in brick buildings, highlighting the role of bricks (through its mass) in maintaining a low content of water inside the insulation, improving efficiency. It is pointed out, therefore, how the massive face brick solutions are capable of reducing the content of water in exercise of natural type fibrous insulations. As it is known, many fibrous insulations are strongly hygroscopic, fact that determines significant differences between «dry» thermal performance and in service*

Questo convincimento trova fondamento solo se si ipotizzano flussi costanti nel tempo. Nella realtà, il trasporto di umidità è molto più complesso. Le porzioni esterne (primi cm) delle strutture murarie sono legate alle fluttuazioni giornaliere (anche impulsive) dovute a un complesso di fenomeni sia di natura termica che igrometrica, mentre le porzioni interne sono più legate a comportamenti di medio e lungo periodo e alle condizioni dei materiali posti immediatamente a contatto. Un intonaco esterno o un laterizio faccia a vista è per esempio soggetto a fortissime fluttuazioni nel tempo, mentre un isolante è soggetto a fluttuazioni più limitate e derivanti soprattutto dalle proprietà igrometriche dei materiali limitrofi a contatto con questo.

Il presente studio si pone pertanto l'obiettivo di valutare l'interazione, a livello igroscopico, tra alcune tipologie di isolanti e il laterizio, evidenziando in particolare il ruolo che la massa porosa dei materiali ceramici può avere nel mitigare i contenuti d'acqua all'interno degli stessi isolanti, assicurandone l'efficienza.

## Metodologia

L'indagine è stata condotta analiticamente, valutando la prestazione in regime termico e igrometrico dinamico di pareti faccia a vista multistrato a pari trasmittanza termica stazionaria, all'interno delle quali sono state inserite due differenti tipologie di isolanti termici, scelti in quanto rappresentativi di due differenti classi di prodotti:

- isolanti naturali mediamente igroscopici, con media permeabilità al vapore (sughero e similari);
- isolanti naturali fortemente igroscopici, con elevata permeabilità al vapore (lana di legno e similari).

| MATERIALE                      | $\lambda_{dry}$ | C     | P                 | $\mu$ | Aw                                 | $\delta_a$             | MBV                    | Ee                 | COW                                  |
|--------------------------------|-----------------|-------|-------------------|-------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------------|
|                                | W/mK            | J/kgK | kg/m <sup>3</sup> | -     | kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> | kg/msPa                | g/m <sup>2</sup> %U.R. | KWh/m <sup>2</sup> | kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> |
| Intonaco di calce              | 0,9             | 1000  | 1800              | 10    | -                                  | $1,93 \cdot 10^{-8}$   | -                      | -                  | -                                    |
| Mattone forato                 | 0,35            | 840   | 700               | 7     | -                                  | $2,75 \cdot 10^{-11}$  | -                      | -                  | -                                    |
| Lana di legno                  | 0,09            | 1050  | 380               | 5     | -                                  | $3,86 \cdot 10^{-8}$   | -                      | 7-9                | 1,2-1,6                              |
| Sughero                        | 0,06            | 1500  | 290               | 20    | -                                  | $2,75 \cdot 10^{-11}$  | -                      | 35,96              | 6,60                                 |
| Laterizio a vista estruso (A)  | 0,85            | 920   | 1720              | 10    | 0.2455                             | $2,05 \cdot 10^{-12}$  | 0.4                    | -                  | -                                    |
| Laterizio a vista estruso (B)  | 0,85            | 920   | 1720              | 10    | 7.5909                             | $2,05 \cdot 10^{-12}$  | 0.6                    | -                  | -                                    |
| Laterizio a vista p. molle (C) | 1,32            | 1000  | 1700              | 20    | 24                                 | $1,095 \cdot 10^{-10}$ | 6.8                    | -                  | -                                    |

Tabella 1. Proprietà dei materiali utilizzati nello studio.

Con la ricerca si sono fatte di volta in volta variare alcune caratteristiche delle soluzioni costruttive, che condizionano la capacità di accumulo e permeabilità del mattone faccia a vista e di conseguenza la prestazione igrometrica dello strato di isolante interposto, in particolare:

- lo spessore dello strato di laterizio (8, 12, 25 cm di spessore);
- la tipologia di mattone faccia a vista, a diversa capacità di assorbimento: FV TIPO/A, FV TIPO/B e FV TIPO/C;
- la tipologia di isolante termico (sughero e lana di legno);

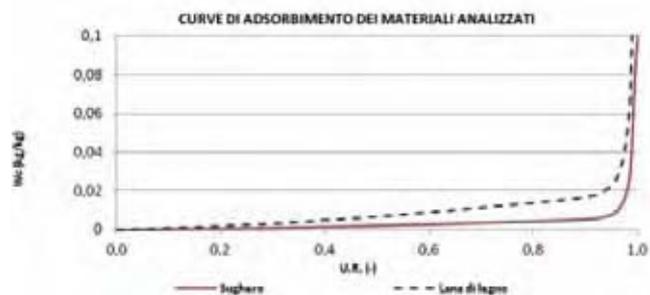
Nella tabella 1, insieme alle proprietà termofisiche dei materiali analizzati, sono riportate, per gli isolanti, due parametri (Ee e COW) che tengono conto della sostenibilità ambientale dei prodotti: Ee rappresenta la «embodied energy», e cioè l'energia spesa per la produzione del materiale, mentre COW quantifica la CO<sub>2</sub> immessa in atmosfera nel ciclo di vita del prodotto (produzione e smaltimento).

Sono riportate inoltre per i laterizi: la grandezza Aw (capacità di adsorbimento di un materiale poroso per capillarità) e la grandezza MBV (Moisture Buffering Value) [g/(m<sup>2</sup>%UR)], che descrive la capacità del materiale di accumulare/rilasciare umidità, quando questo è soggetto a cicli giornalieri di umidità relativa al 75% (per 8 ore) e al 33% (per le restanti 16 ore). Gli isolanti indicati sono stati scelti in funzione delle loro proprietà igroscopiche e in particolare in relazione alle loro curve di adsorbimento, grafici che rappresentano il contenuto d'acqua del materiale (Wc) in funzione dell'umidità relativa (UR) dell'aria in equilibrio con esso, a temperatura costante. In prossimità di UR 90-95%, il valore del contenuto d'acqua aumenta rapidamente raggiungendo valori molto elevati, in corrispondenza della quasi completa saturazione dei pori. Dalla figura 1, che riporta le isoterme di adsorbimento degli isolanti analizzati, si deduce che la lana di legno, a pari UR, esibisce una maggiore tendenza ad accumulare e adsorbire acqua rispetto al sughero.

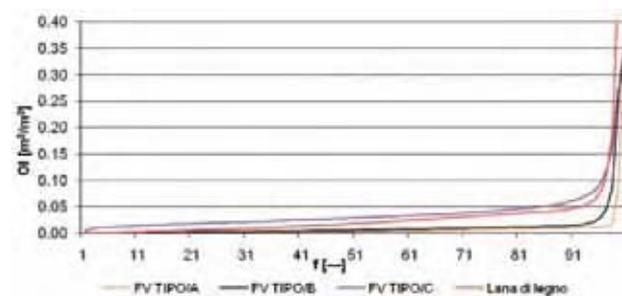
La figura 2 riporta invece le curve di adsorbimento per i tre tipi di laterizi faccia a vista analizzati, anche a confronto con l'isolante in lana di legno. Dal grafico si deduce che alcune tipologie di laterizi hanno curve di adsorbimento (nel range

delle UR ambientali) superiori alla lana di legno e pertanto, potrebbero fungere da «tampone igroscopico», limitando l'adsorbimento di vapore nell'isolante.

Le simulazioni sono state condotte con il software Delphin 5.6, prodotto e sviluppato dall'*Institute of Building Climatology* dell'Università di Dresda, in grado di calcolare la trasmissione combinata di aria, umidità e calore nei materiali porosi. Le simulazioni, svolte in regime dinamico, tengono conto della capacità igroscopica dei materiali, della dipendenza della conduttività dal contenuto d'acqua e dalla variazione delle proprietà dei materiali in funzione del contenuto di umidità. L'indagine è stata condotta verificando il comportamento di 1,0 m<sup>2</sup> di parete esposta a nord nella zona D, località Ancona (città caratterizzata da UR% invernali particolarmente elevate).



1. Isoterme di adsorbimento dei materiali isolanti analizzati.



2. Isoterme di adsorbimento dei laterizi a confronto con quella della lana di legno.

In una prima fase di simulazione, al fine di indagare l'influenza dello spessore della parte massiva in laterizio, le pareti non sono state poste a pari trasmittanza termica stazionaria. Per estremizzare il comportamento e comprendere l'influenza della massa sulla prestazione dell'isolante, si è introdotta inoltre una soluzione con forato esterno da 25 cm (non faccia a vista). In una seconda fase, il valore di trasmittanza termica delle stratigrafie è stato imposto pari a  $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$  (a tal fine si è fatto variare lo spessore dell'isolante termico, mantenendo costanti le dimensioni dei restanti elementi).

## Risultati

**Variazione della resistenza degli isolanti termici in funzione della massa esterna** Il primo risultato ottenuto dalle simulazioni riguarda la variazione della resistenza termica dovuta al contenuto d'acqua in esercizio per i materiali isolanti nelle diverse soluzioni costruttive. La figura 3 rappresenta la variazione percentuale della conducibilità termica dei due materiali isolanti analizzati, rispetto alla conducibilità del materiale secco, in soluzioni costruttive con laterizio faccia a vista a differente spessore.

Dalla figura 3 si evince che entrambi i materiali isolanti manifestano una evidente variazione di conducibilità termica, rispetto al valore a secco. In particolare la lana di legno, a causa dell'elevata igroscopicità, accumula un grande quantitativo di acqua rispetto al sughero e pertanto subisce un maggiore incremento della conducibilità termica, fino al 24%-27% in tutti e tre i casi. Le variazioni correttive di conducibilità termica in esercizio suggerite dalla norma UNI 10351, *Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore*, risultano essere del 10% per il sughero e del 20% per la fibra di legno, quindi inferiori rispetto alle variazioni ottenute.

Nelle soluzioni costruttive prese in esame, per un corretto

dimensionamento degli isolanti, occorrerebbe infatti considerare un incremento della resistenza termica (e quindi dello spessore) del materiale, pari al 27% nel caso della lana di legno e del 14% nel caso del sughero. È da rilevare, inoltre, che la conducibilità termica della lana di legno (materiale assunto quale riferimento per la classe degli isolanti a elevata permeabilità e igroscopicità) assume valori maggiori, anche se limitatamente, nel caso in cui l'isolante venga «accoppiato» con un mattone faccia a vista di spessore elevato. Tale comportamento trova spiegazione nella maggior difficoltà da parte dell'acqua accumulata nell'isolante fibroso, durante il periodo invernale, a fuoriuscire ed evaporare durante il periodo estivo.

## Influenza della massa esterna sulle prestazioni degli isolanti

La scelta di parametrizzare le caratteristiche dei mattoni faccia a vista è stata fatta al fine di valutare come queste possano influenzare la prestazione degli isolanti termici naturali, e in particolare per capire se un mattone con capacità di adsorbimento superiore rispetto a un isolante fortemente igroscopico (FV TIPO/C) sia in grado di accumulare acqua in luogo dell'isolante, preservando le proprietà coibenti di quest'ultimo. Nella figura 4 viene riportato l'andamento annuale della conducibilità termica dell'isolante in lana di legno, al variare della tipologia di laterizio ad esso accoppiato.

In tutti e tre i casi analizzati, a causa delle basse temperature e dell'elevata percentuale di umidità relativa dell'aria esterna e interna nel periodo invernale, l'isolante in lana di legno accumula acqua: il grafico mostra pertanto un andamento crescente della conducibilità termica del materiale. Ciò avviene fino al mese di marzo, in seguito, durante la stagione primaverile ed estiva, si manifesta una graduale asciugatura dell'isolante, con conseguente riduzione della conducibilità termica. La lana di legno inserita nelle pareti faccia a vista tipo/A e /B mostra un

| PARAMETRI DI SIMULAZIONE PRESTABILITI        | Zona climatica: Ancona [zona D]                     |   |           |
|--|---|---|-----------|
|  | Riferimento temporale: simulazione annuale          |   |           |
|  | Condizioni climatiche al contorno esterne e interne |   |           |
| TIPOLOGIA DI PARETE<br>FACCIA A VISTA TIPO/A | TRASMITTANZA<br><br>U= variabile                    | (1)<br>Alta diffusività al vapore<br>Alta capacità di adsorbimento<br>(LANA DI LEGNO) | 8 cm      |
|  |   |   | > 25 cm   |
|  |   | (2)<br>Media diffusività al vapore<br>Media capacità di adsorbimento<br>(SUGHERO)     | 25 cm     |
|  | TRASMITTANZA<br><br>U=0,34 W/m²K                    | Alta diffusività al vapore<br>Alta capacità di adsorbimento<br>(LANA DI LEGNO)        | FV TIPO A |
|  |   |   | FV TIPO B |
|  |   |   | FV TIPO C |

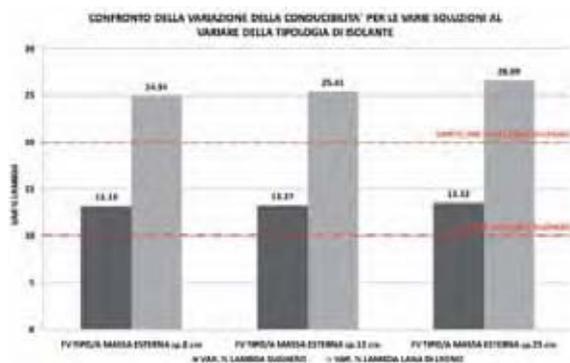
Tabella 2. Quadro sinottico delle stratigrafie oggetto di analisi e dei gruppi di simulazioni.

andamento della conducibilità termica con moderate oscillazioni su scala giornaliera. Tale comportamento trova spiegazione nella presenza di una consistente massa di laterizio disposta sia sul lato interno che su quello esterno della parete. Tali strati forniscono all'isolante una protezione dagli sbalzi di temperatura e di umidità relativa che possono caratterizzare gli ambienti interni ed esterni durante le diverse giornate. Una prestazione differente dell'isolante lana di legno si manifesta nel caso in cui si utilizzi il laterizio faccia a vista FV TIPO/C, caratterizzato, come già visto, da una curva di adsorbimento «al

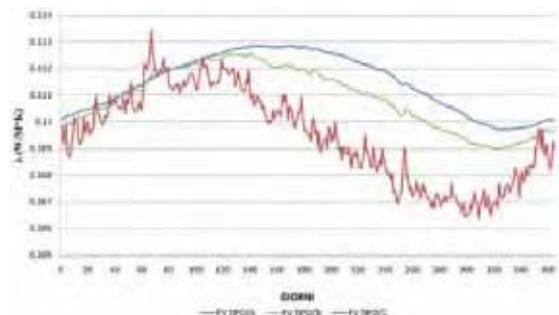
di sopra» di quella della lana di legno, e pertanto in grado di adsorbire acqua (comportamento igroscopico). L'andamento della conducibilità termica dell'isolante lana di legno accoppiata a questa tipologia di laterizio (curva rossa in figura 4) risulta infatti più «instabile»: si possono osservare per l'isolante delle notevoli variazioni di conducibilità (ovvero del contenuto d'acqua) a base giornaliera.

L'elevata igroscopicità del laterizio fa sì che anche l'isolante risenta repentinamente delle variazioni climatiche esterne (temperatura, UR). In particolare il laterizio, fungendo da «tampone igroscopico» per l'acqua contenuta nell'isolante, fa sì che tendenzialmente durante tutto l'anno la conducibilità termica della lana di legno si mantenga al di sotto di quella riscontrata nelle altre due stratigrafie analizzate, salvo un picco in fase invernale.

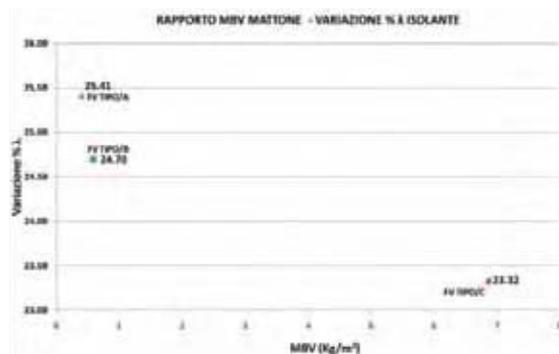
A conferma del ruolo che può giocare il laterizio come tampone igroscopico in una soluzione d'involucro, nella figura 5 viene riportato l'andamento del contenuto d'acqua nell'isolante in funzione della grandezza MBV (precedentemente definita) del laterizio faccia a vista. Si evidenzia come elevati valori di MBV, come quello riscontrato nel laterizio FV TIPO/C, determinano inferiori contenuti d'acqua negli isolanti. Pertanto, l'utilizzo di un laterizio con struttura porosa, capace di adsorbire elevate quantità di vapore, migliora la prestazione «energetica» di un isolante naturale a esso accoppiato.



3. Variazione percentuale della conducibilità termica del sughero e della lana di legno al variare dello spessore della massa esterna (media annuale).



4. Andamento delle conducibilità termica della lana di legno al variare della tipologia di mattone «faccia a vista» utilizzato nella soluzione costruttiva.



5. Variazione percentuale della conducibilità dell'isolante termico in funzione del Moisture Buffering Value (MBV) del laterizio faccia a vista.

## Conclusioni

Isolanti di natura igroscopica impiegati in stratigrafie di pareti rischiano di vedere ridotta la propria resistenza termica (rispetto al valore «a secco») in relazione al contenuto d'acqua che accumulano su base giornaliera e stagionale. I risultati di questa ricerca mostrano come tali riduzioni di prestazione possono raggiungere fino al 27% per un isolante fibroso fortemente igroscopico e al 14% per un isolante a media igroscopicità, valori comunque maggiori rispetto a quelli indicati dagli standard normativi di riferimento. Lo studio dimostra tuttavia che le soluzioni costruttive in laterizio possono ridurre tali problemi, fungendo essi stessi da «tampone igroscopico». In virtù delle proprie caratteristiche igrometriche. ¶

\* Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio

Università Politecnica delle Marche

Si ringrazia l'Ing. Ilaria Persico per il fondamentale contributo nell'attività di valutazione analitica dei sistemi costruttivi posti a confronto.

## Bibliografia essenziale

- P.De Freitas,V.Abrantes,P.Crausse, *Moisture Migration in Building Walls – Analysis of the interface Phenomena* Building and environment, Vol. 31, 1995.
- Olalekan F, Osanyintola, Carey J. Simonson, *Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: experimental facilities and energy impact*, Energy and Buildings, Vol. 38, 2006.
- S. Cerolini, M. D'Orazio, C. Di Perna, A. Stazi, *Moisture buffering capacity of highly absorbing materials*, Energy and Buildings, Vol. 41, 2009.
- T.Vrana, *Impact of Moisture on Long Term Performance of Insulating Products*, Royal Institute of Technology in Stockholm, Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Building Technology, Tesi, 2007.

Marco D'Orazio\*, Gianluca Cursio\*\*

# I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico»

**La presenza degli organismi biologici, quali alghe o cianobatteri, sui componenti edilizi è stata recentemente acuita dal modo in cui in alcuni casi è stata data risposta all'esigenza di contenimento dei consumi energetici dettata dalle recenti direttive europee**

**S**empre più spesso capita di osservare componenti edilizi, in costruzioni anche molto recenti, «aggrediti» da organismi biologici, quali alghe o cianobatteri. Sebbene tali organismi «vivano» da moltissimo tempo sui componenti edilizi, la loro presenza è stata recentemente acuita dal modo in cui in alcuni casi abbiamo dato risposta all'esigenza di contenimento dei consumi energetici dettata dalle recenti direttive europee (SAVE e NZEB).

L'aver cercato di risolvere le problematiche di contenimento dei consumi energetici agendo sull'introduzione di fortissimi spessori di isolante, ma cercando al contempo di contenere lo spessore complessivo della parete, ha determinato l'introduzione di componenti edilizi costituiti non più, come nel passato, da elementi massivi costituenti la maggior parte della parete associati a isolanti termici, bensì da isolanti termici associati a «pelli» di limitato spessore, soluzioni che con maggiore difficoltà reagiscono alle esigenze di comportamento dinamico dell'involucro.

Tale nuova configurazione costruttiva ha causato un drastico cambiamento nel comportamento dei componenti edilizi di parete e di copertura determinando, per le superfici esterne, condizioni termiche estremizzate (uno strato sottile sopra un isolante si riscalda e si raffredda molto velocemente e può raggiungere condizioni «estreme») e maggiori accumuli d'acqua (l'isolante tende a inibire flussi di acqua e vapore determinando un sovraccarico sulle «pelli»). A riguardo si veda la figura 1. Pertanto sia le condizioni termiche che igrometriche conseguenti alla ricerca della massima efficienza energetica rendono oggi più facile e più veloce l'attecchimento di molti organismi biologici con conseguenze sia per la salute (come

*The presence of biological organisms like algae or cyanobacteria on building components was recently accentuated by some solutions adopted in order to contain energy loss, thus meeting the new requirements of the European directives*



1. Tipico degrado algale su facciata con ETICS (External thermal insulation composite systems) - (Germania).

noto le spore di alcune muffe hanno effetti importanti sulla salute dell'uomo) che per la durata dei componenti edilizi.

Di seguito si riporta il primo di tre articoli volti a chiarire: (1) le condizioni che determinano la crescita di questi organismi; (2) l'effetto dato dalla recente introduzione di normative per il contenimento dei consumi energetici; (3) le possibili soluzioni da adottare in termini di progettazione dei componenti edilizi o di loro parti.

| Materiali                 | Umidità Relativa (%) |
|---------------------------|----------------------|
| Legno                     | 75-80                |
| Carta e intonaci plastici | 80-85                |
| Isolante minerale         | 90-95                |
| Isolante EPS              | 90-95                |
| Cemento                   | 90-95                |
| Laterizi                  | 90-95                |
| Gesso                     | 90-95                |

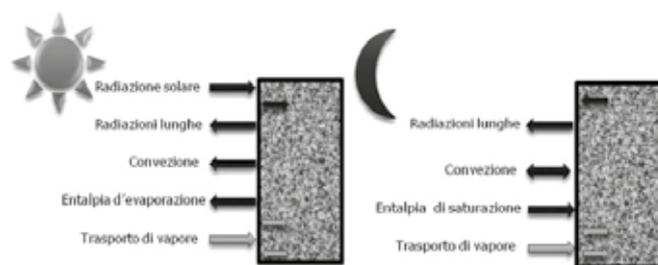
Tabella 1: UR% critica per diversi materiali.

### Organismi biologici e componenti edilizi

Gli organismi che possono attecchire e proliferare in ambiente esterno su componenti edilizi sono riconducibili a due principali categorie: microalghe e cianobatteri. Le microalghe e i cianobatteri (impropriamente chiamati alghe azzurre, alghe verdi-azzurre o Cianoficee) sono un Phylum di batteri fotosintetici (1). Sono organismi unicellulari o pluricellulari che possono essere eucarioti (alghe verdi) o procarioti (cianobatteri). Le alghe in quanto organismi autotrofi, attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, convertono l'energia luminosa in energia chimica<sup>a</sup> riuscendo a sintetizzare composti inorganici come l'anidride carbonica, l'acqua e alcuni elementi ottenendo sostanze organiche che ne garantiscono la sopravvivenza nel lungo periodo (2). Le alghe sono particolarmente resistenti al vento e alle precipitazioni, e sono particolarmente tolleranti all'essiccamento (anidrobiosi), cosa che permette loro di sopravvivere anche se fortemente disidratate (3) riattivando i processi biologici quando l'acqua (4) è di nuovo disponibile. La crescita di specie algali è favorita dalla combinazione di una serie di fattori abiotici e biotici: nutrimento proveniente dal substrato; tipologia di organismi presenti; umidità e altri fattori ambientali (1). Il fattore abiotico più importante per la proliferazione microbica è l'umidità (5), ma se una qualsiasi di queste tre macro condizioni viene a mancare, difficilmente avviene la crescita vegetativa (fig. 2). Classificare le alghe è molto complesso. *Dusbosc et al.* (6) ha suddiviso le alghe in sei rami (per contenuto di cellule e per colorazione). I rami si dividono in classi e a loro volta in ordini, generi e specie. Le due classi osservate più frequentemente sulle pareti, sono i cianobatteri e le microalghe. I cianobatteri sono chiamati impropriamente alghe blu - verdi per via del colore cellulare. Il fatto che questi organismi riescano a colonizzare facilmente materiali edili dipende da una serie di aspetti: la presenza di clorofilla e i pigmenti di colore blu e rosso determinano reattività vitale a bassa intensità luminosa; possono fissare l'azoto; sono caratterizzati da sostanze impregnanti colorate che preservano sia le membrane cellulari sia la mucillagine presente all'interno da eventuali radiazioni solari eccessive. Inoltre, l'igroscopicità dell'involucro cellulare (contenente mucillagine) permette di trattenere l'acqua e sali in essa disciolti, favorendo lo stato di latenza biologico in situazioni di siccità prolungata. Le microalghe sono più complesse dei cianobatteri, contengono cloroplasti riconoscibili grazie a una colorazione verde vivo che li delimita. A differenza dei cianobatteri, le microalghe sono prive di pigmenti accessori e di mucillagine che li protegge dalla disidratazione, pertanto possono sopravvivere solo in ambienti dove l'umidità è costante, inoltre hanno bisogno di un'illuminazione costante e non troppo intensa. Se sono presenti le condizioni favorevoli, le microalghe crescono anche molto velocemente sporcando gli elementi murari con una classica colorazione verde. Infine le microalghe possono talvolta affrontare uno stato di latenza se sopportate dalla presenza di cianobatteri.



2. Contaminazione algale su una parete per accumulo di acqua in prossimità dell'innesco parete-tettoia. Il degrado raggiunge un'altezza di 1,60 m.



3. Bilancio energetico giornaliero di una parete tipo.



4. È evidente la più veloce formazione di alghe su superfici fortemente isolate.



5. Contaminazione biologica da parte di microalghe su una facciata leggera.

### Le cause della presenza di micro-alghe e cianobatteri sulle superfici edilizie

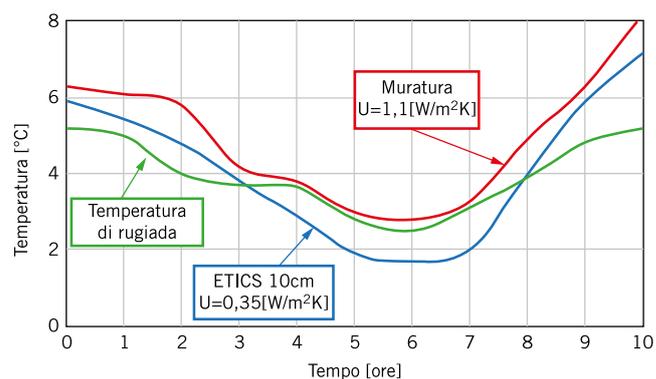
Le cause che determinano la presenza di micro-alghe e cianobatteri sulle superfici sono molteplici, ma tra queste la presenza di umidità (non avendo radici questi organismi assorbono l'acqua attraverso la parete cellulare per osmosi) e un supporto scabroso (in grado di ospitarle) sono le due fondamentali. Le microalghe si sviluppano a una UR%=70-80%, mentre i cianobatteri a una UR% prossima al 100% (7), inoltre le prime necessitano di una temperatura compresa tra 15-50°C (8). Alcuni autori indicano 20-25°C come il range di temperatura ideale (7). Le alghe sfruttano per la fotosintesi, l'acqua, il carbonio e altri elementi che possono provenire dal ruscellamento delle acque per eventi piovosi, da fenomeni di condensazione superficiale o a causa dell'inquinamento.

È dimostrato che, in caso di eventi piovosi, la quantità d'acqua resa disponibile durante e dopo un evento piovoso, e quindi la proliferazione algale, dipende fondamentalmente dal substrato, e in particolare dalla sua conformazione geometrica nonché dalla porosità e rugosità che lo caratterizzano, in quanto queste proprietà concorrono a trattenere l'acqua (1) oltre che fornire nutrimento alle alghe (9). Il dilavamento per azione della pioggia contribuisce a sostituire le cellule vecchie con quelle nuove e favorisce l'estensione delle macchie di biofilm ad altre partizioni costruttive non contaminate.

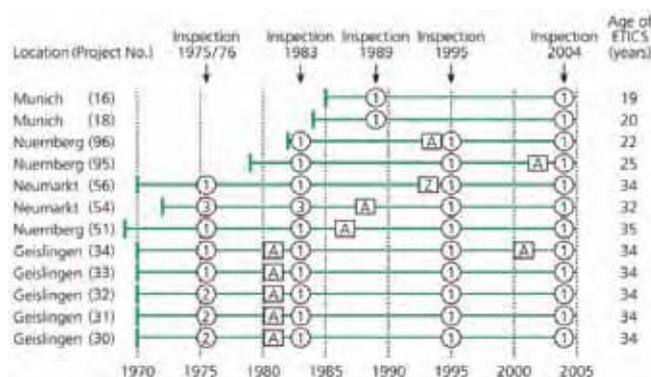
La pioggia contribuisce a fornire spore fungine e alghe alle pareti e consente di raggiungere livelli di UR prossimi al 100%. Una volta che le spore raggiungono le superfici, i picchi d'umidità raggiunti con la pioggia ne facilitano la sporulazione e il processo di crescita *Kunzel* (10).

Anche l'acqua resa disponibile per condensazione superficiale contribuisce allo sviluppo di questi organismi. Ciò si verifica in particolare a seguito dell'abbassamento delle temperature superficiali degli elementi costruttivi in fase notturna rispetto alla temperatura dell'aria («undercooling») *Kunzel* (10). *Blaich* (11) evidenzia che il fattore che agisce sulla superficie esterna abbassandone la temperatura è l'emissione delle onde lunghe, dipendente dall'emissività delle superfici e dalla loro temperatura.

Questo fenomeno è massimo nelle notti limpide (fig. 3). Lo studioso sottolinea che, durante le stagioni fredde (soprattutto sulle pareti esposte a nord e nord-ovest), si possono raggiungere condizioni di condensa che permangono sulle superfici per 15 ore. Tale fenomeno è schematicamente rappresentato in figura 5 ed è particolarmente significativo per edifici fortemente isolati (fig. 4). Studi condotti in Germania (1) dimostrano che sistemi fortemente isolati causano essi stessi la formazione di alghe sulle superfici esterne (fig. 5). Il degrado dovuto a specie algali si manifesta principalmente sulle pareti esposte a nord e nord-ovest (1) che non sono



6. Confronto tra i profili termici superficiali di una parete leggera e massiva non isolata e la temperatura di rugiada.



7. Analisi storica dei difetti rilevati su ETICS. Osservando il grafico si ha: 1 (difetti non visibili), 2 (piccole lesioni nelle zone d'angolo e vicino alle finestre), 3 (maggiori difetti: grandi distaccamenti e delaminazioni), A (nuove facciate), Z (edifici obsoleti risanati con ETICS s=4 cm).

quasi mai raggiunte da radiazione solare nell'arco della giornata. Questa, infatti, può danneggiare i pigmenti fotosintetici delle alghe (8), (1).

Anche la stagione è determinante per la formazione di alghe sulla facciata, infatti durante la stagione calda la superficie esterna tende ad asciugarsi più velocemente contrastando la nascita degli organismi. Qualora però la loro genesi sia avvenuta in periodi più favorevoli, la stagione è decisiva per la sopravvivenza degli organismi: in estate la temperatura superficiale esterna degli edifici può raggiungere temperature prossime a 60°C causando la morte delle cellule algali (8); mentre in inverno temperature inferiori ai 15°C inibiscono il loro sviluppo.

Sedlbauer, *Kunzel et al.* (12) sostengono che i periodi stagionali che facilitano la crescita e lo sviluppo delle alghe sono l'autunno e la primavera (13). *M. Kehrer, T. Schmidt* (14) confermano in un altro studio che le pareti esterne «leggere» aumentano il rischio di formazione di condensa sul lato esterno della parete. *Aelen e Henriques* (15) hanno effettuato studi relativi a pareti a cassetta e pareti massive non isolate giungendo a risultati analoghi. *Johansson* (3), attraverso indagini condotte

a Holviken (Svezia) su edifici di nuova costruzione realizzati con ETICS, rileva evidenti fenomeni di contaminazione da parte di microalghe.

Sedlbauer et al. (16), (17), (18), (19), sulla base di simulazioni termoigrometriche di tipo dinamico, conferma la cattiva performance di sistemi leggeri e quantifica le ore in cui le pareti esterne vanno in undercooling (fig. 6). Sedlbauer et al. concludono che le pareti massive in muratura (favore dall'inerzia termica) presentano in assoluto il miglior comportamento termo-igrometrico, perciò è consigliabile l'utilizzo della massa nelle soluzioni di parete.

Studi sono stati condotti anche in merito all'influenza che biocidi o additivi auto-pulenti (es.  $\text{TiO}_2$ ) all'interno delle pitture possono avere nel ridurre questi fenomeni. Helmuth Venzmer et al. (20) hanno effettuato studi a lungo termine dimostrando che occorrono almeno 18 mesi prima di ottenere alghe visibili a occhio nudo. Tuttavia si evidenzia come la crescita continui a essere fortemente dipendente dalla tipologia di supporto. I materiali di natura organica sono maggiormente esposti all'attacco biologico. Barberousse et al. (9), hanno valutato la suscettibilità alla crescita di microalghe e cianobatteri su diversi rivestimenti esterni di facciate di tipo ETICS. I risultati finali evidenziano che porosità e rugosità sono i parametri che facilitano la crescita di alghe sui materiali.

Ulteriori ricerche sono state condotte con lo scopo di comprendere i danni che possono creare tali organismi biologici. Kunzel (21), interessandosi alle performance a lungo termine di sistemi d'isolamento a cappotto termico, raccoglie e analizza i risultati ottenuti da studi condotti su un campione di ottantacinque edifici (tutti compresi tra Austria e Germania e con vita utile che va da trentacinque e diciotto anni). Kunzel sostiene che il degrado dovuto alle alghe è di natura estetica e si manifesta con la scoloritura delle facciate e con la colorazione verde-grigio tipica di questi organismi (fig. 7). R. Minitoite et al. (22) conducono delle indagini sulla durabilità delle pitture e confrontano i risultati ottenuti con alcune caratteristiche delle pitture (assorbimento d'acqua e la permeabilità al vapore) evidenziando come i risultati peggiori siano stati ottenuti pitture con alta resistenza alla diffusione del vapore e alta penetrazione di acqua.

## Conclusioni

Le ricerche condotte in ambito nazionale e internazionale consentono di valutare la suscettibilità allo sviluppo di specie algali e di cianobatteri sulle superfici esterne delle facciate. Le cause che enfatizzano queste problematiche sono molte ma in prima analisi la letteratura evidenzia come lo sviluppo di microalghe e cianobatteri è fortemente dipendente dalla tipologia di parete. Le soluzioni costruttive leggere sono più suscettibili allo sviluppo algale rispetto alle pareti massive, perché possiedono minore inerzia termica e minore

capacità di accumulo igrometrico. Anche qui però hanno influenza le caratteristiche dello strato di finitura esterno e cioè del tipo di substrato in termini di porosità, capacità di assorbimento d'acqua, classe di rugosità.

Nel prossimo articolo si riporteranno i risultati di studi di tipo analitico utili a evidenziare gli effetti che le attuali normative per il contenimento dei consumi energetici stanno avendo sulla proliferazione di questi microorganismi. ¶

\* Marco D'Orazio

Professore associato, Università Politecnica delle Marche

\*\* Gianluca Cursio

Ingegnere

Note

a. La reazione complessiva della fotosintesi è:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energia luminosa} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{calore}$ . Fonte (3)

## Bibliografia

1. Michael Nay, Paul Raschle. Algen und Pilze an Fassaden im Blickwinkel der Forschung. s.l.: EMPA, 2003.
2. Wolfgang Karl Hofbauer, Klaus Breuer und Klaus Sedlbauer et al. Algen, Flechten, Moose und Farne auf Fassaden. Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. Ernst & Sohn Verlag, 2003, Vol. 25, 6.
3. Sanne Johansson. Biological growth on mineral façades. Lund, Sweden: Lund Institute of Technology Division of Building Materials box 118, 2005, Thesis.
4. Sanne Johansson, Lars Wadso, Kenneth Sandin. Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. Building and Environment. 2010, Vol. 45, p. 1153-1160.
5. Klaus Sedlbauer. Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Component. Stuttgart, Germany: University of Stuttgart, Fraunhofer Institute for Building, Thesis, 2001.
6. Dusbosq, Arnold. Etude de developpement de salissures biologiques sur les parements en beton: mise au point d'essais acceleres de vieillissement. Toulouse: These de l'Institut National des Sciences Appliquees de Toulouse, 2000. 591, p. 250.
7. W. Zillig, K. Lenz, Sedlbauer, M. Krus. Condensation on facade-influence of construction type and orientation. [aut. libro] Hiuigo Hens e Gerrit Vermeir Jan Carmeliert. Research in Building Physics. s.l.: Swets e Zeitinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2003, p. 436-444.
8. Ulf Karsten, Rhena Schumman, Nobert Haubner, Thomas Friedl. Aeroertristische Mikroalgen. Lebensraum Fassade. Biol. Unserer Zeit. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005, Vol. 35, 1.
9. Helene Barberousse, Bertrand Ruot, Claude Yepremian, Gilbert Boulonc. An assessment of facade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. Building and Environment. 2007, 42, p. 2555-2561.
10. H. M. Kunzel. Factors Determining Surface Moisture on External Walls. s.l.: ASHRAE-Building X, 2007.
11. J. Blach et al. Algen auf Fassaden. Dübendorf, Schweiz: EMPA-Akademie, 2000. p. 45-68.
12. Hartwig M. Künzel, Helmut Künzel, Klaus Sedlbauer. Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen. Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. 2006, Vol. 28, 3, p. 152-163.
13. Algen auf Außenwänden – Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung! M H Künzel, M Krus, K Sedlbauer. Wismar: s.n., 2001. „Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung“. p. 75-84.
14. Radiation Effects On Exterior Surfaces. Kehrer Manfred, Schmidt Thomas. Copenhagen: Carsten Rode, editor, 2008. Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Vol. 1, p. 207-212.
15. Analysis of the condensation risk on exterior surface of building envelopes. Daniel Aelenei, Fernando M.A. Henriques. 26 marzo 2008, Energy and Buildings, Vol. 40, p. 1866-1871.
16. Algenbildung aufgrund Tauwasser an Außenfassaden – Welche Einflussmöglichkeiten gibt es? Klaus Sedlbauer, Martin Krus, Klaus Breuer. s.l.: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2004. Hindelanger Baufachkongress.
17. K., Sedlbauer. Schimmel innen, Algen außen – was ist denn da los? Institut für Bauphysik Universität Stuttgart. Fraunhofer: s.n., 2008.
18. K. Sedlbauer, M. Krus, K. Lenz, M. Paul. Einfluss der Außenwandkonstruktion auf nachträgliche Betautung und mikrobiellen Bewuchs. IBP-Bauphysik. 2004.
19. K. Lengsfeld, M. Krus. Microorganism on facade – reason, consequences and measures. Holzkirchen, Germany: Fraunhofer-Institute for Building Physics (IBP).
20. Algal defacement of facade materials—results of long term natural weathering tests obtained by new diagnostic tools. Helmuth Venzmer, et al. 2008. Building Physics 2008 – 8th Nordic Symposium. Vol. 1, p. 277-284 session M3-B.
21. Helmut Künzel, Hartwig M. Künzel, Klaus Sedlbauer. Long-term performance of external thermal insulation systems (ETICS). Architectura. 2006, Vol. 5, 1, p. 11-24.
22. Destructive Factors Causing Deterioration of Paints on Buildings Walls. Ruta Minitoite, et al. 2008. Building Physics – 8th Nordic Symposium. Vol. 1, p. 269-275.
23. Johansson P, et al. Microbiological growth on building materials – critical moisture levels. State of the art. Swedish National Testing and Research Institute. Borås, SP: s.n., 2005.

Marco D'Orazio\*  
Gianluca Cursio\*\*

# Facciate in laterizio faccia a vista contro il bio-degrado: risultati analitici

Il rischio di degrado biologico per i componenti edilizi è destinato ad aumentare a causa della recente introduzione degli standard NZEB, ma l'utilizzo di elementi tradizionali quali il laterizio faccia a vista può ridurre l'impatto degli agenti patogeni

**KEYWORDS** Laterizio, Biodegrado, NZEB, ETICS

L'emanazione delle direttive comunitarie (SAVE e NZEB) finalizzate a ridurre drasticamente le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera ha portato gli stati membri dell'Unione Europea ad adottare normative stringenti in merito alla trasmittanza dei componenti edilizi. Questa nel futuro dovrà essere sempre più bassa così da arrivare a costruire solo edifici "a energia quasi zero" (Nearly Zero Energy Buildings, NZEB), al netto dell'energia autoprodotta tramite impianti per la climatizzazione con fonti energetiche rinnovabili. Questi provvedimenti non sono tuttavia privi di conseguenze "secondarie". Ad esempio, realizzare edifici ad energia quasi zero con componenti edilizi fortemente isolati, spesso "leggeri", con ridottissima possibilità di scam-

bio, sia di calore che di vapore, tra interno ed esterno, nonché componenti vetrati a bassa permeabilità all'aria, ha conseguenze sia sul piano della vivibilità degli ambienti interni (qualità dell'aria interna) che sul funzionamento degli elementi costruttivi stessi (durabilità).

Nelle pareti a ridotta trasmittanza termica stazionaria (U), la parte interna della parete, riuscendo a scambiare una ridotta quantità di calore e vapore verso l'esterno, tende a reagire solo alle condizioni climatiche interne, mentre quella esterna, attraversata da ridotti flussi di calore e vapore provenienti dall'interno, è costretta a "lavorare" a condizioni di temperatura e umidità relativa molto più gravose rispetto al passato. Proprio in relazione a quest'ultimo aspetto si è notato in questi ultimi anni un incre-

## Clay brick façades against biofouling: analytical results

**KEYWORDS** Clay brick, Biodefacement, NZEB, ETICS

Clay bricks have been regarded as one of the longest lasting and strongest building materials used throughout history due to their low cost and ease for application.

Today, standards towards NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) promote more and more the use of ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) for the construction of new lightweight façades and for energy requalification of ancient buildings.

The consequence is an increase of the biological growth (algae, mould, bacteria) on façades finishing, because of the new mechanisms of heat and vapor transfer from indoors to outdoors. In overinsulated façades, outgoing heat fluxes are strongly limited and are not able to heat the

walls, causing the "undercooling" phenomenon and the condensation on the external finishing. Biological growth rises consequently.

This paper aims to define the dynamic of these phenomena and to evaluate the potential biological growth on brick and ETICS façades (with thermal resistance according to recent standards), under the same environmental conditions.

Results obtained by transient numerical analysis show that façades with ETICS cause more favorable conditions for algal growth. Therefore, for the same environmental conditions (temperature and relative humidity outside), the lightweight construction systems have worse performance, especially compared to brick walls

| Nome sintetico | Descrizione   | Rif. [6]* | Rif. EOTA** | Rappresentazione schematica   |
|----------------|---|-----------|-------------|---|
| ETICS          | Muratura monostrato con isolamento a cappotto   | 10        | ETA 07/0280 |  |
| FVM            | Muratura pluristrato faccia a vista con mattone in pasta molle e isolante in intercapedine                | 2         | -           |  |
| FVE            | Muratura pluristrato faccia a vista con mattone estruso e isolante in intercapedine                       | 1         | -           |  |
| FVE+INT        | Muratura pluristrato faccia a vista con mattone estruso, isolante in intercapedine e camera d'aria        | 8         | -           |  |
| FVM+INT        | Muratura pluristrato faccia a vista con mattone in pasta molle, isolante in intercapedine e camera d'aria | 10        | -           |  |

\* riferimento relativo alle caratteristiche del blocco in laterizio utilizzato e all'intonaco interno; \*\* riferimento relativo al sistema d'isolamento a cappotto utilizzato.

Tabella 1. Chiusure verticali simulate.

| Materiale                     | S         | $\lambda$ | $\rho$            | $\mu$ | R                  | c      | $A\omega$                          |
|-------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-------|--------------------|--------|------------------------------------|
|                               | m         | W/mK      | Kg/m <sup>3</sup> | -     | m <sup>2</sup> K/W | J/kg K | kg/m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> |
| Intonaco interno              | 0,015     | 0,540     | 1500              | 18    | 0,028              | 1000   | 0,18                               |
| Blocco in laterizio con ETICS | 0,25      | 0,308*    | 810**             | 21    | 0,81               | 1000   | 0,18                               |
| Blocco in laterizio           | 0,12      | 0,186*    | 900**             | 21    | 0,645              | 1000   | 0,18                               |
| Laterizio forato              | 0,12      | 0,387***  | 690               | 19,28 | 0,31               | 1000   | 0,18                               |
| Malte collante                | 0,002     | 0,8       | 1344              | 25    | 0,0025             | 1050   | 0,026                              |
| Isolante termico              | -         | 0,036     | 20                | 1,80  | -                  | 1300   | -                                  |
| Intonaco di staghezza         | 0,01      | 0,93      | 1800              | 18    | 0,01               | 1050   | 0,026                              |
| Malta rasante                 | 0,003     | 0,75      | 1350              | 25    | 0,004              | 1050   | 0,026                              |
| Intercapedine d'aria****      | 0,05/0,04 | -         | -                 | 193   | 0,16               | 1000   | -                                  |
| Mattone in pasta molle        | 0,12      | 0,472**   | 1540**            | 30,2  | 0,225              | 1000   | 0,28                               |
| Mattone estruso               | 0,12      | 0,285**   | 1100**            | 24,42 | 0,354              | 834    | 0,05                               |

\* valore riferito alla muratura; \*\* valore riferito al singolo elemento; \*\*\* valori termici da norma UNI 10355; \*\*\*\* rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946.

Tabella 2. Proprietà termo-fisiche dei materiali oggetto dell'indagine analitica.

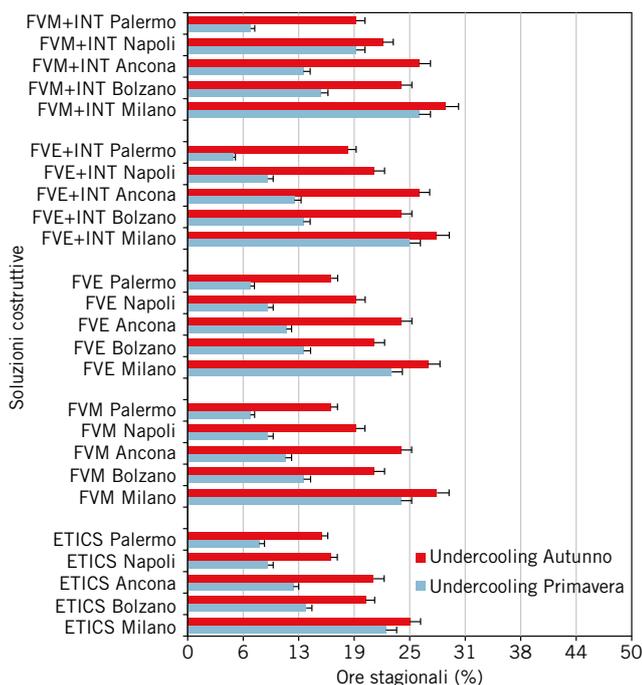
mento dell'incidenza di attacchi biologici proprio sulle superfici esterne. Come noto infatti, microorganismi quali alghe e cianobatteri possono attecchire sull'involucro esterno degli edifici, in relazione a specifiche condizioni termoigrometriche del substrato.

Per cogliere appieno la dinamica di questi fenomeni e la loro incidenza in relazione a diversi sistemi costruttivi, si è condotto uno studio per valutare, sia mediante analisi sperimentale che tramite modelli analitici, il rischio di attacco biologico su diverse tipologie di pareti realizzate in ottemperanza ai requisiti NZEB. Di seguito si riporta, in

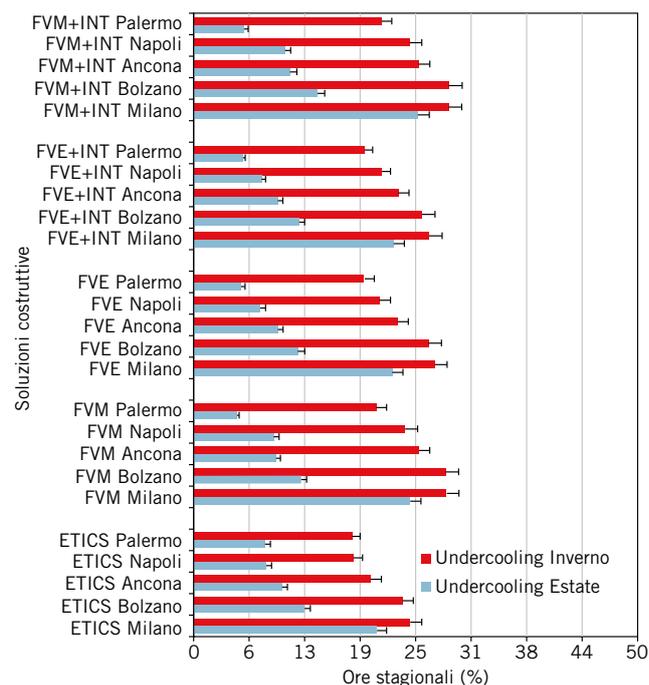
particolare, la valutazione analitica dell'influenza delle prestazioni termoigrometriche di diversi sistemi costruttivi sul manifestarsi di condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo di alghe e cianobatteri.

### Metodologia

Si sono analizzate cinque diverse tipologie di pareti stratificate, quattro delle quali con isolante in intercapedine (con e senza camera d'aria aggiuntiva) e faccia a vista in laterizio (sia estruso che in pasta molle) e una realizzata con cappotto termico esterno (ETICS, External Thermal



1. Potenziale di undercooling, riportato per diverse pareti analizzate nelle cinque zone climatiche, ovvero, percentuale di ore dell'anno in cui la temperatura superficiale esterna della parete risulta al di sotto della temperatura dell'aria esterna. Il potenziale è riportato per le pareti analizzate nelle diverse zone climatiche durante le stagioni Autunno e Primavera.



2. Potenziale di undercooling, riportato per diverse pareti analizzate nelle cinque zone climatiche, ovvero, percentuale di ore dell'anno in cui la temperatura superficiale esterna della parete risulta al di sotto della temperatura dell'aria esterna. Il potenziale è riportato per le pareti analizzate nelle diverse zone climatiche durante le stagioni Estate e Inverno.

Insulation Composite Systems). Le pareti sono state analizzate in cinque differenti località italiane (Bolzano, Milano, Ancona, Napoli, Palermo), considerando i requisiti di trasmittanza limite di legge in relazione alle diverse zone climatiche di appartenenza (ottenuti facendo variare lo spessore di isolamento termico necessario).

In tabella 1 è riportato il quadro generale delle differenti tipologie di pareti testate, mentre in tabella 2 sono indicate le proprietà termo-fisiche dei materiali.

Gli studi sono stati condotti con il software di analisi termoigrometrica in regime dinamico CHAMPS-BES sviluppato dalla Syracuse University (USA), che è stato validato sperimentalmente dall'Università Politecnica delle Marche, grazie a numerose ricerche condotte in passato su queste tematiche.

Con lo strumento di calcolo si è analizzato in particolare il trasporto congiunto di aria, acqua, vapore e calore, considerando sia le proprietà resistive che inerziali dei materiali, nonché le influenze reciproche tra le variazioni delle varie grandezze.

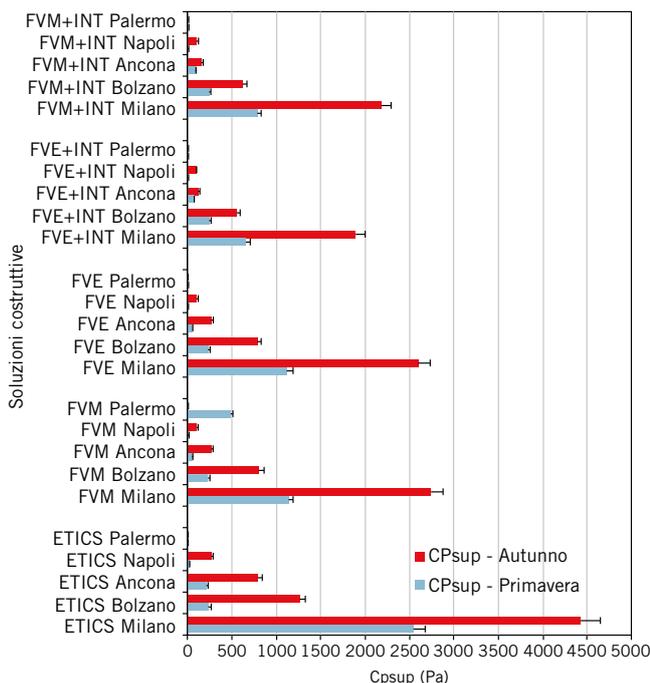
Le simulazioni sono state condotte, imponendo come condizioni al contorno esterne quelle specifiche delle diverse località climatiche considerate, considerando che lo sviluppo algale è connesso principalmente alle variazioni dei

contenuti d'acqua esterni (eventi piovosi, condensazione superficiale, ecc.). Come condizioni al contorno interne, si sono assunte quelle definite dal DPR 59/09 articolo 17. Il periodo di tempo simulato è stato di 5 anni, un tempo cioè tale da permettere ai muri di equilibrarsi con l'ambiente circostante e raggiungere così il comportamento di regime. Le simulazioni sono state condotte ipotizzando per le pareti una esposizione verso nord (condizione peggiorativa) [1].

I risultati sono stati espressi con tre grandezze utili a definire le potenzialità di sviluppo di specie algali, ovvero: il potenziale di undercooling, il potenziale di condensazione ed il TOW (time of wetness).

Il Potenziale di undercooling rappresenta il numero di ore dell'anno in cui la temperatura superficiale esterna della parete risulta al di sotto della temperatura esterna dell'aria (a causa dei fenomeni di re-irraggiamento verso la volta celeste, soprattutto in fase notturna). In letteratura diversi studi su pareti [2] o coperture [3] si sono interessati di questo fenomeno, poiché è ritenuto la principale causa della formazione di condensa superficiale in relazione a ridotti valori di trasmittanza termica dei componenti edilizi.

Il potenziale di condensazione [3,4], di seguito definito CPsup (Pa), rappresenta il tempo di possibile condensa-



3. Potenziale di condensazione CPsup (Pa), calcolato come somma delle differenze tra la pressione di vapore dell'aria ( $PV_{ARIA}$ ) e la pressione di vapore di saturazione della superficie esterna del componente ( $PV_{SAT}$ ). Il potenziale è riportato per le pareti analizzate nelle diverse zone climatiche durante un anno di calcolo.

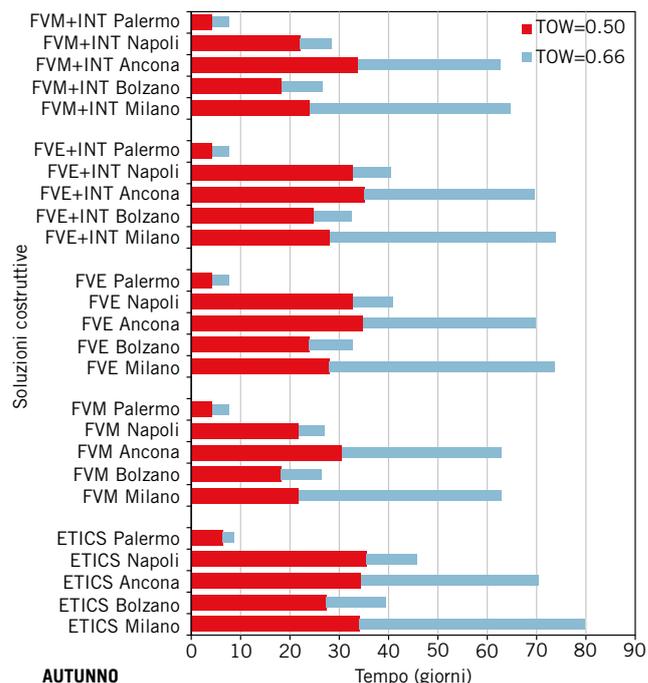
zione superficiale esterna, calcolato come differenza tra la pressione di vapore dell'aria ( $PV_{ARIA}$ ) e la pressione di vapore di saturazione della superficie esterna del componente ( $PV_{SAT}$ ).

Il TOW (time of wetness) rappresenta il numero di ore in cui l'umidità relativa superficiale esterna è superiore ad un valore limite  $UR = XX\%$  specifico in relazione a diverse specie algali (tab. 3). Se la condizione limite, indicata come TOWXX (dove XX va sostituito con l'UR% considerata. Ad esempio con UR 50% sarà TOW50), è mantenuta per un elevato numero di ore giornaliere, si innalza il rischio di sviluppo di microrganismi sulle superfici.

Altri autori sottolineano l'importanza non solo della permanenza al di sopra della condizione limite, ma anche della ciclicità delle condizioni di UR superficiale (ripetizione di periodi di bagnatura e di asciugatura) [4,5]. Pertanto essi a partire da test sperimentali accelerati (tab. 4) individuano negli indici TOW50 e TOW66 le condizioni critiche per lo sviluppo di microrganismi.

### Risultati

Lo sviluppo biologico sull'esterno dei componenti costruttivi è principalmente legato alla presenza d'acqua, sia piovana che di condensazione. Mentre la prima interviene



4. TOW (time of wetness), espresso come periodo di tempo (in giorni in un anno) in cui l'umidità relativa superficiale esterna delle pareti analizzate è superiore ad un valore limite. Gli indici riportati TOW50 e TOW60, sono stati definiti sperimentalmente da precedenti ricerche, attraverso test accelerati con cicli giornalieri di bagnatura (TOW50 si riferisce a 12 ore di bagnatura con UR al 97% e TOW66 a 16 ore di bagnatura con UR al 97%).

per periodi limitati di tempo, la seconda può avere una frequenza quotidiana in fase notturna, in relazione ai noti fenomeni di undercooling, acuiti in presenza di una ridotta trasmittanza dell'involucro.

Per valutare questo aspetto si è analizzata la durata temporale dei fenomeni di undercooling durante le diverse stagioni. Le figure 1 e 2 riportano la percentuale delle ore nelle quali si prevedono fenomeni di undercooling per le pareti prese in considerazione, rispettivamente nelle stagioni autunno-primavera e inverno-estate. Le analisi condotte evidenziano differenze poco significative tra le diverse soluzioni costruttive.

A parità di località e considerando le stagioni intermedie in figura 1 (più affini allo sviluppo algale) la percentuale di ore stagionali nelle quali si verificano fenomeni di undercooling è del 15-25 %, con differenze tra le diverse soluzioni dell'ordine delle unità.

Il fenomeno dell'undercooling fornisce informazioni sull'intervallo temporale nel quale è possibile la formazione di condensa, ma da solo non permette di quantificare di per sé quella superficiale esterna.

Data la sostanziale equivalenza dei risultati ottenuti si è quindi proceduto all'analisi del potenziale di condensazione annuale CPsup (Pa) delle pareti. In figura 3 si ri-

| Umidità relativa | Tempo (h /anno) | Tempo (gg /anno) |
|------------------|-----------------|------------------|
| > 60-70%         | 1052            | 49               |
| > 70-80%         | 666             | 28               |
| > 80-90%         | 135             | 6                |
| > 90%            | 16              | 0,66             |

Tabella 3. Abaco con i tempi di crescita di microorganismi sulle superfici dei componenti edilizi in funzione dell'UR% ambientale.

| Ciclo di UR – test accelerato in laboratorio | Frequenza giornaliera (f) | TOW  |       |
|--|---------------------------|------|-------|
| 2 h al 97% UR e 10 h al 58% UR               | 2                         | 0,17 |       |
| 4 h al 97% UR e 8 h al 58% UR                | 2                         | 0,33 |       |
| 6 h al 97% UR e 6 h al 58% UR                | 2                         | 0,50 | TOW50 |
| 8 h al 97% UR e 4 h al 58% UR                | 2                         | 0,66 | TOW66 |

Tabella 4. TOW sperimentalmente in seguito ai test accelerati in laboratorio.

| Indici di performance |  | Chiusure verticali simulate |     |     |         |         |
|-----------------------|--|-----------------------------|-----|-----|---------|---------|
|                       |  | ETICS                       | FVM | FVE | FVE+INT | FVM+INT |
| CPsup                 |  | 1°                          | 5°  | 2°  | 3°      | 4°      |
| TOW66                 |  | 1°                          | 5°  | 2°  | 3°      | 4°      |

Tabella 5. Classificazione di "Indice di rischio biologico" per le pareti analizzate, secondo i parametri CPsup e TOW66.

portano i risultati in autunno e primavera: è evidente una prestazione maggiormente diversificata tra le diverse soluzioni costruttive. In particolare, si verificano elevati valori di CPsup per la parete leggera (con isolante a cappotto), soprattutto nelle zone climatiche più fredde, con maggiore possibilità di attecchimento e crescita di organismi biologici.

Si può concludere pertanto che, pur essendo simile la durata in cui si verificano fenomeni di undercooling per le pareti, la quantità d'acqua che i diversi sistemi costruttivi rendono disponibile per l'attecchimento e la crescita degli organismi biologici stessi è fondamentalmente differente. Le pareti pluristrato con laterizi sul lato esterno manifestano prestazioni simili tra loro.

Si evidenzia tuttavia come le pareti realizzate con mattone in pasta molle FVM presentano esternamente una minore quantità di acqua condensata, anche grazie alla struttura porosa del materiale, che agisce da "tampone igroscopico". Il laterizio di per sé è, infatti, in grado di adsorbire e rilasciare l'acqua di condensa in relazione alle diverse condizioni ambientali esterne. Redistribuendosi all'interno del materiale, l'acqua si riduce sulla superficie, garantendo quindi condizioni meno favorevoli all'attecchimento delle alghe e dei cianobatteri.

Tanto il potenziale di undercooling che il potenziale di condensazione rappresentano, come suggeriscono le denominazioni, un "potenziale" manifestarsi di un fenomeno

ma non sono ancora in grado di determinare l'effettivo rischio biologico. Per valutare questo "rischio", come suggerito da alcuni autori, si è analizzato quindi il TOW, come precedentemente definito. La figura 4 riporta a tal fine il TOW50 e il TOW66 per ciascuna soluzione costruttiva. Dai risultati si confermano le indicazioni già ottenute attraverso il potenziale di condensazione. In particolare, si evidenzia il ruolo positivo che sistemi costruttivi di tipo capacitivo (in grado cioè di accumulare e rilasciare acqua) possono avere nel ridurre i contenuti d'acqua superficiale e conseguentemente ridurre il rischio di formazione di specie algali sull'esterno. I maggiori rischi di proliferazione algale si manifestano durante la stagione autunnale poiché questa è generalmente caratterizzata da giorni ad elevata UR ambientale. In queste situazioni si può verificare un repentino sviluppo di cianobatteri in meno di un giorno.

In tabella 5, si riassumono le prestazioni delle soluzioni costruttive analizzate dal punto di vista del CPsup e del TOW66, ottenendo una classificazione di "indice di rischio biologico".

## Conclusioni

Le ricerche presentate hanno permesso di comprendere l'influenza delle condizioni ambientali sullo sviluppo di microorganismi sulle superfici esterne di componenti edilizi, in relazione a diverse modalità costruttive.

I calcoli analitici eseguiti in regime dinamico, attraverso appositi software, evidenziano che soluzioni costruttive leggere, caratterizzate da un cappotto termico e rasante esterno, determinano condizioni più favorevoli alla proliferazione algale. Pertanto a parità di fattori ambientali (temperature e umidità relative esterne), i sistemi costruttivi leggeri hanno una peggiore prestazione, soprattutto rispetto a paramenti murari faccia a vista in laterizio. ¶

\* Marco D'Orazio

Professore Ordinario, Università Politecnica delle Marche

\*\* Gianluca Cursio

Ingegnere Civile Edile

## Bibliografia

- [1] M. D'Orazio, G. Cursio, I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico», *Costruire in Laterizio* 154 (2013), 52-55.
- [2] P. Raschle, R. Büchli, *Algen auf Fassaden*, EMPA-Akademie, Dübendorf, 2000.
- [3] R. Zheng, *Performance of highly insulated Zinc Roofs in moderate humid regions*, Katholieke Universiteit Leuven, dissertation, 2004.
- [4] O.G.C. Adan, *On the Fungal Defacement of Interior Finishes*. Eindhoven, dissertation, 1994.
- [5] J. Wierzbos, B. Camara, A. De Los Rios, *Microbial colonization of Ca-sulfate crusts in the hyperarid core of the Atacama Desert: implications for the search for life on Mars*, *Geobiology* 9 (2011), 44-60.
- [6] C. Monticelli, *Prestazioni termiche e acustiche di soluzioni d'involucro in laterizio faccia a vista*, LaterService - ANDIL, Roma, 2009.

Marco D'Orazio\*  
Gianluca Cursio\*\*

# NZEB e degrado biologico delle superfici

Si riportano i risultati di una ricerca sperimentale volta a valutare l'influenza che l'introduzione di modelli costruttivi di tipo NZEB potrebbe avere sul degrado biologico e durabilità delle superfici esterne degli edifici

**KEYWORDS** Laterizio, Bio-degrado, Alghe, NZEB, ETICS

La direttiva 31/2010/UE richiede agli stati membri che tutti gli edifici di nuova costruzione, realizzati a partire dal 31 dicembre 2020 (2018 per gli edifici pubblici), siano «Nearly Zero Energy Buildings, NZEB», ovvero edifici “a energia quasi zero”, al netto dell'energia autoprodotta tramite impianti per la climatizzazione con fonti energetiche rinnovabili. Già oggi [1] è possibile trovare a livello mondiale, ed anche in Italia, costruzioni che si avvicinano a questo standard. A livello legislativo le azioni che vengono promosse (alcune sono di prossima attuazione) per raggiungere tale obiettivo privilegiano l'abbattimento dei consumi mediante l'introduzione di limiti di trasmittanza sempre più bassi.

Appare possibile, a breve, un significativo abbattimento dei valori fissati dal D.Lgs. 311/06.

Sebbene questa strada sia quella più “facile” per ottenere ulteriori riduzioni dei consumi, va considerato che, in caso di estremizzazione del concetto di isolamento, si introducono nei componenti edilizi modelli di funzionamento differenti rispet-

to al passato e che possono implicare conseguenze indesiderate. Oltre a problematiche di qualità dell'aria interna, per la progressiva introduzione di infissi ad altissima tenuta in assenza di una progettazione complessiva dell'intervento di retrofit energetico, si stanno registrando di recente, anche nel nostro paese, problematiche di degrado biologico delle superfici esterne. La forte riduzione dei flussi termici passanti, positiva per il contenimento dei consumi energetici, rende infatti più sollecitate le superfici esterne soprattutto in contesti con inverni freddi e/o caratterizzati da UR% elevate, come rilevato già da alcuni anni in altri paesi europei [2].

In questa ricerca, seguendo studi già compiuti dagli stessi autori [3], [4], si riportano i risultati di una attività sperimentale volta a individuare le relazioni tra fenomeni di degrado biologico delle superfici esterne e l'introduzione di modelli costruttivi a bassissima trasmittanza. In particolare si è analizzata l'influenza, sullo sviluppo di microrganismi esterni (alghe), di particolari tipologie di materiali correlate a specifiche soluzioni costruttive.

## NZEB and biofouling of architectural surfaces

**KEYWORDS** Brick, Biofouling, Algae, NZEB, ETICS

Standards towards NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) are promoting the use of ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) for either thermal insulation in new buildings or energy requalification of ancient buildings. However the progressive thickening of ETICS has facilitated the growth of microalgae on façades, due to limitation of outgoing heat and moisture flux. This study evaluate the growth of two selected algal strains on fired

clay bricks and ETICS; the influence of surface roughness, porosity and water absorption of these building materials was investigated. Biofouling of building components has been reproduced through a laboratory-accelerated growth test. Results from colorimetric and confocal laser scanning microscopy (CLSM) analyses clearly demonstrated that bioreceptivity of the building materials analyzed is strongly affected by total porosity and surface roughness.

| Materiali edili          | Natura chimica                               | Colore | Nome campione |
|--------------------------|--|--------|---------------|
| ETICS finitura           | Acrilica                                     | Bianco | ETICS-1       |
|                          | Silicati di potassio in dispersione acrilica | Bianco | ETICS-2       |
|                          | Acril-siliconica                             | Bianco | ETICS-4       |
|                          | Acril-silossanica                            | Bianco | ETICS-3       |
| Laterizio faccia a vista | Silicatica – pasta molle                     | Rosso  | FVM-1         |
|                          | Silicatica – pasta molle                     | Giallo | FVM-2         |
|                          | Silicatica – pasta molle                     | Giallo | FVM-3         |
|                          | Silicatica – Estruso                         | Rosso  | FVE-1         |
|                          | Silicatica – Estruso                         | Giallo | FVE-2         |
|                          | Silicatica – Estruso                         | Giallo | FVE-3         |

Tabella 1. Identificazione dei campioni e loro composizione.

### Metodologia

Al fine di determinare quantitativamente, sul degrado biologico, gli effetti delle proprietà fisico-chimiche dei materiali si sono effettuati, su diverse tipologie di provini, test accelerati di invecchiamento, simulando le condizioni abiotiche ottimali per lo sviluppo algale. Le tipologie di prodotti analizzate sono state scelte in relazione alla necessità di valutare l'influenza della tipologia costruttiva (posizione e spessore dell'isolamento), delle caratteristiche fisiche superficiali dei materiali (rugosità e assorbimento per capillarità) nonché della natura chimica dei materiali di finitura.

L'influenza della tipologia costruttiva è stata analizzata negli studi precedentemente pubblicati [3], [4], qui si riportano invece i risultati relativi all'influenza delle proprietà superficiali dei materiali di finitura sull'attecchimento e crescita di alghe. I materiali analizzati sono riconducibili a tre categorie: finiture di sistemi ETICS (isolamento a cappotto), laterizi faccia a vista in pasta molle, laterizi faccia a vista estrusi. Per ciascuna categoria sono stati presi in considerazione materiali differenti come evidenziato in tabella 1.

I campioni (3 per ciascun materiale) hanno una superficie ciascuno di 35 cm<sup>2</sup> e spessore pari a 12 cm, in modo da considerare anche i processi relativi allo scambio di acqua con la parte retrostante. I campioni di ETICS sono stati preparati applicando uno strato d'intonaco di finitura, con differenti composizioni, su pannelli in EPS in conformità con gli standard ETA [6, 7].

I ceppi algali testati, denominati *Chlorella mirabilis* ALCP 221B e *Chroococcidiopsis fissurarum* IPPAS B445Z8, sono stati forniti dalla Algotheque du Laboratoire de Cryptogamie del Museo National d'Histoire Naturelle (MNHN, Parigi, Francia). L'attivazione biologica dei due ceppi è avvenuta separatamente in bottiglie di vetro da laboratorio contenenti 5 L di Bold's Basal Medium (BBM) [7] alle seguenti condizioni: 24°C, fotoperiodo di (14 h/10 h - luce/buio) e intensità luminosa di 1500 lux. Prima di iniziare i test accelerati, le due brodo-culture (5 litri



1. Acquario in vetro utilizzato per la prova di crescita accelerata in laboratorio.

ciascuna) sono state miscelate e trasferite nei box-test in vetro. Preliminarmente ai test di crescita accelerata si sono determinati la porosità totale (W) con porosimetro a mercurio secondo la ASTM D4404-10 [8], l'assorbimento d'acqua (Aw) secondo l'ETAG04 [6, 7] e la UNI EN 15801 [9]. La rugosità superficiale è stata misurata con Perthometer (M4P, Mahr Federal); le misure colorimetriche sono state infine effettuate con il colorimetro (Konica Minolta CM 2600d), a un'apertura focale di 8 mm in accordo con la norma europea UNI EN 15886:2010 [10].

Per valutare la crescita algale si è utilizzato il sistema raffigurato in figura 1 già validato in una precedente ricerca [11]. Durante il ciclo di crescita di 14 h di luce ogni campione ha ricevuto una radiazione luminosa pari a 1500 lux e 20 L di brodo colturale per 3 h. Temperatura e umidità relativa sono stati monitorati da un *data logger* posto all'interno del box. Le stesse impostazioni strumentali utilizzate in questa ricerca sono state di recente usate da *Tran et al.* [12] per correlare i risultati di laboratorio al normale sviluppo di microorganismi osservabile all'esterno degli edifici, ricavando un fattore d'accelerazione pari a 10. La crescita microbica superficiale è stata infine valutata mediante ispezione visiva accoppiata all'acquisizione di immagini tramite uno scanner (a 600 dpi di risoluzione) e analisi colorimetrica. Quest'ultima, espressa tramite l'indicatore  $\Delta E$  (1) [10], consente la misura del colore delle superfici di materiali inorganici porosi e le loro possibili variazioni cromatiche.

In particolare questo standard di misurazione permette di associare la variazione di colore, assunta da una generica superficie bio-contaminata, allo stato vitale di crescita che caratterizza gli organismi fotosintetici, ad esempio valori più bassi di  $a^*$  (molto verde) e più alti di  $b^*$  (molto giallo) indicano più clorofilla e più carotenoidi.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  sono le differenze di colore misurate nello spazio delle coordinate CIELab.

Ulteriori test sono stati condotti al fine di valutare il grado di adesione tra il biofilm e la superficie dei campioni. Per la valutazione si è utilizzato un CLSM (Axioplan 200M Carl Zeiss Microscope dotato di un sistema d'acquisizione confocale Zeiss LSM510) con il quale si è calcolata la fluorescenza espressa con valori da 0 a 250 (unità arbitrarie) (2) come di seguito indicato:

$$\text{Fluorescenza media} = \frac{\sum(I_{xf})}{P} \quad (2)$$

Dove  $I$  è l'intensità di fluorescenza (da 0 a 250),  $f$  è il numero di pixel aventi la stessa  $I$  e  $P$  è il numero totale di pixel contaminati.

| Nome campione | W [%] | Aw [Kg/m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> ] | Ra [µm] | L*    | a*    | b*    |
|---------------|-------|--|---------|-------|-------|-------|
| ETICS-1       | 23.87 | 0.0071                                   | 10.77   | 88.90 | -0.81 | 7.90  |
| ETICS-2       | 27.15 | 0.0043                                   | 14.98   | 82.54 | -1.93 | 10.95 |
| ETICS-3       | 18.30 | 0.0011                                   | 13.69   | 88.83 | -0.62 | 10.31 |
| ETICS-4       | 26.89 | 0.0027                                   | 16.48   | 89.73 | -0.37 | 7.10  |
| FVM-1         | 37.37 | 0.1332                                   | 9.65    | 41.42 | 20.82 | 23.61 |
| FVM-2         | 40.66 | 0.2872                                   | 9.75    | 55.02 | 8.72  | 23.88 |
| FVM-3         | 38.43 | 0.2675                                   | 9.55    | 58.85 | 4.91  | 24.07 |
| FVE-1         | 30.64 | 0.0370                                   | 6.00    | 38.61 | 10.86 | 19.35 |
| FVE-2         | 34.11 | 0.0440                                   | 5.47    | 50.58 | -1.41 | 26.00 |
| FVE-3         | 36.21 | 0.0500                                   | 7.99    | 43.68 | 2.84  | 19.78 |

Tabella 2. Caratterizzazione dei campioni.

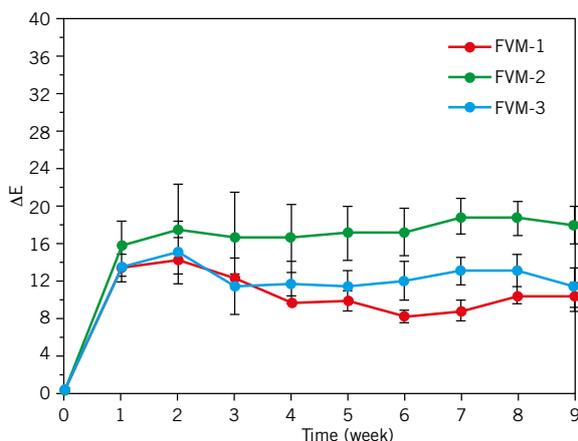
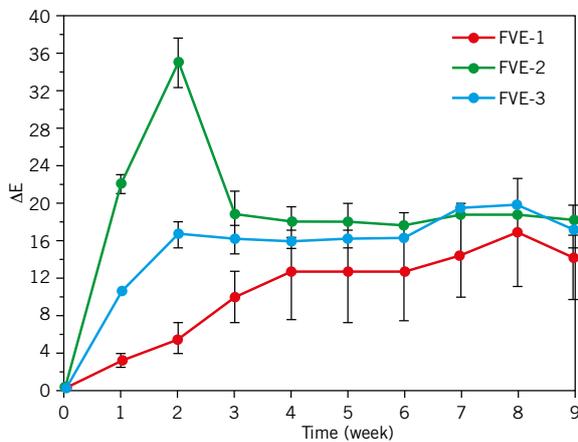
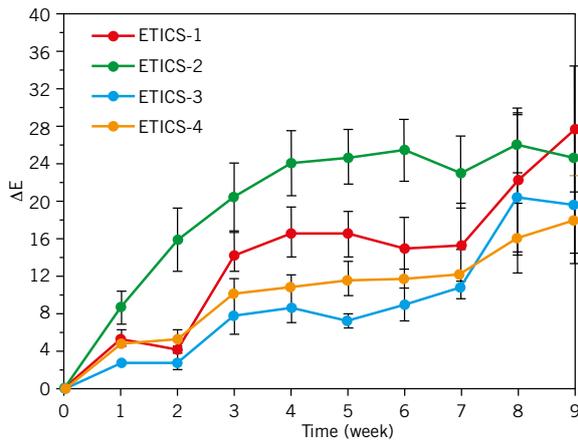


2. Sviluppo algale al tempo zero (t0), dopo 1 settimana (t1), dopo 3 settimane (t3) e alla fine del test di laboratorio (t9). Il trend di ETICS-2 è stato considerato separatamente dagli altri campioni di ETICS, pertanto l'immagine contiene quattro campioni rappresentativi anziché tre.

## Risultati

La prima fase della ricerca ha riguardato la caratterizzazione dei materiali, come riportato in tabella 2. In particolare sono stati ricavati la porosità totale (W), l'assorbimento per capillarità (Aw), la rugosità superficiale (Ra) ed i parametri colorimetrici (L,a,b).

L'analisi dei dati evidenzia la forte differenziazione tra sistemi di finitura ETICS e laterizi in merito alla porosità totale ed in merito all'assorbimento per capillarità. I primi manifestano porosità più basse e coefficienti di assorbimento capillare minori. I secondi evidenziano porosità più elevate (soprattutto per i prodotti in pasta molle) e assorbimenti per capillarità più elevati. Netta differenziazione si ha anche per la rugosità. I sistemi ETICS osservati presentano rugosità più importanti, aspetto che potrebbe potenzialmente favorire il mantenimento delle cellule algali sulla superficie.



3. Variazione cromatica superficiale dei campioni espressa tramite ( $\Delta E$ ). La differenza di colore totale tra due generiche misurazioni, inserite nel grafico, è data dalla distanza geometrica tra le loro posizioni nello spazio CIELab ( $\Delta L=L_n-L_0$ ;  $\Delta a=a_n-a_0$ ;  $\Delta b=b_n-b_0$ ;  $n=n$ -esima misurazione al tempo  $t=n$  e  $0$ =misurazione al tempo  $t=0$ ).

A seguito della caratterizzazione si sono effettuati i test di invecchiamento, procedendo, dopo l'inoculazione, alla verifica della velocità di crescita delle due specie algali prese in considerazione sulle superfici analizzate. La figura 2 mostra la copertura algale superficiale al tempo zero e dopo 1, 3 e 9 settimane di test accelerati di degrado.

Come si può osservare, l'estensione del biofilm algale è stato differente in ogni campione e, come atteso, dipendente anche dalla natura dei materiali utilizzati.

I campioni ETICS-2 hanno registrato una crescita consistente ed anche un significativo attecchimento nel tempo delle alghe sulle superfici (i test prevedevano anche cicli di lavaggio per verificare l'adesione delle alghe). Se si confronta questa tipologia di materiale con gli altri della stessa categoria, si osserva come questo sia quello con la maggiore porosità nella categoria unita al maggior valore di assorbimento capillare ed ad una delle più alte rugosità.

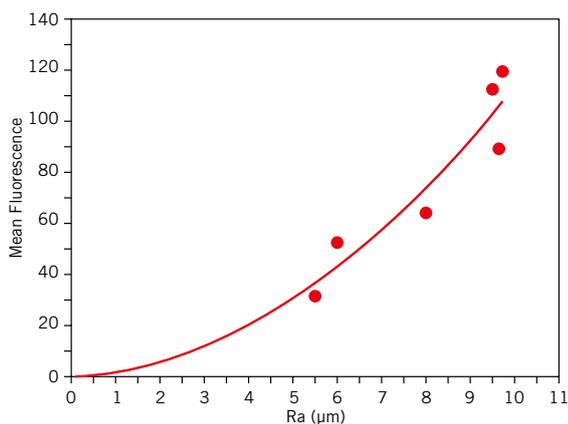
E' possibile pertanto che la disponibilità di acqua e l'alta rugosità unite alla presenza di sostanze organiche abbiano favorito l'attecchimento [13].

Il confronto tra i campioni FVE e FVM mostra che i primi si sono coperti più lentamente rispetto ai secondi; ciò presumibilmente perché sono caratterizzati da minore porosità e rugosità superficiale, come dimostrano precedenti ricerche condotte nello stesso ambito [5, 14, 16].

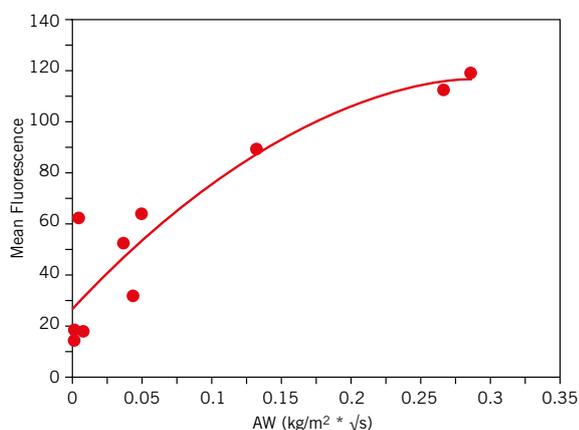
L'analisi colorimetrica condotta per la verifica della copertura algale ha confermato quanto prima indicato [5,16] ed ha permesso anche di evidenziare la maggiore copertura al termine della prova per i campioni di tipo ETICS. Dopo un iniziale picco per una tipologia di prodotti in laterizio (subito smorzato in quanto con il lavaggio atto a simulare l'azione dell'acqua piovana il delta E si è immediatamente abbassato) i campioni ETICS hanno mostrato un incremento della copertura algale, mentre i laterizi sia in pasta molle che estrusi hanno manifestato stabilità, segno dell'influenza della rugosità sulla capacità di attecchimento delle alghe (fig. 3).

A conclusione dei test accelerati, il  $\Delta E$  medio (viraggio cromatico) della categoria ETICS è stato ca. 22 mentre per i laterizi è stato ca. 14 con un conseguente incremento di biodegrado a carico dei primi che hanno mostrato minore resistenza alla proliferazione algale rispetto ai mattoni faccia a vista. Si consideri che più è alto il valore  $\Delta E$  più si percepisce la differenza cromatica. Per l'occhio umano variazioni pari a 2-3 sono non percettibili. Variazioni dell'ordine di 20 significano un netto cambio di colore.

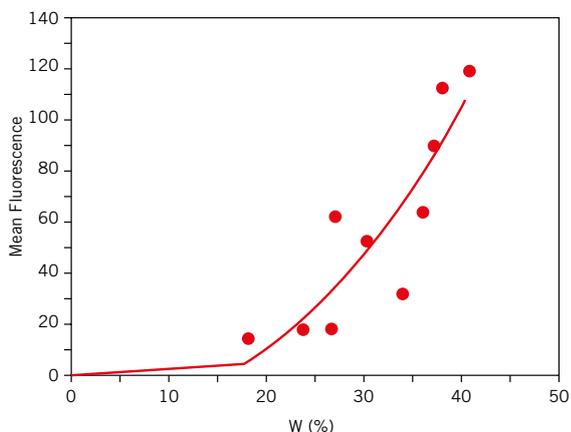
Una spiegazione di quanto rilevato può ricavarsi incrociando i dati di caratterizzazione con i risultati dell'invecchiamento accelerato. La figura 4 mostra l'evidente influenza della rugosità sulla biorecettività dei campioni [15]. In particolare appare evidente il fatto che i campioni caratterizzati da maggiore rugosità superficiale sono quelli risultati maggiormente bioricettivi.



4. Correlazione tra biorecettività e rugosità superficiale.  
Mean Fluorescence: indica il grado di attività vitale sulle superfici dei campioni.  
Ra: Rugosità media aritmetica, ottenuta come valore medio assoluto degli scarti della superficie reale da quella tecnica.



5. Correlazione tra biorecettività e assorbimento d'acqua capillare.  
Mean Fluorescence: indica il grado di attività vitale sulle superfici dei campioni.  
AW: coefficiente assorbimento d'acqua ottenuto per capillarità a 24 ore.



6. Correlazione tra biorecettività e assorbimento d'acqua totale.  
Mean Fluorescence: indica il grado di attività vitale sulle superfici dei campioni.  
W: coefficiente di assorbimento d'acqua totale ottenuto tramite porosimetria a mercurio

Stesso discorso può essere effettuato per la porosità e per l'assorbimento capillare. Le figure 5 e 6 mostrano rispettivamente il legame tra la biorecettività e la porosità dei materiali testati. La proliferazione algale aumenta velocemente se c'è maggiore ritenzione idrica e maggiore quantità di nutrienti disponibili [16].

## Conclusioni

Le attività sperimentali hanno permesso di valutare, a parità di condizioni d'esercizio gli effetti, sulla crescita di alghe, di grandezze che caratterizzano il comportamento superficiale dei materiali analizzati (rugosità, porosità, etc...). E' evidente il peggior comportamento di alcuni campioni riconducibili alla categoria ETICS per la combinazione di rugosità, porosità totale, assorbimento per capillarità e presenza di nutrienti che li caratterizza. Va rilevato che questi comportamenti sono esaltati ancora di più se questi stessi materiali sono impiegati a finitura di sistemi di isolamento ad altissimo spessore per via dell'ovvia inibizione degli scambi di natura sia termica che igrometrica con la parte retrostante della parete.

\* Marco D'Orazio

Professore Ordinario, Università Politecnica delle Marche

\*\* Gianluca Cursio

Ingegnere Edile

## Bibliografia

- [1] G.B. Caruso, G. Evola, G. Margani. Progettare un net ZEB in clima mediterraneo, Costruire in Laterizio n. 155 (2014), 52-58.
- [2] M. Nay, P. Raschle. Algen und Pilze an Fassaden im Blickwinkel der Forschung. EMPA, 2003.
- [3] M. D'Orazio, G. Cursio. I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico», Costruire in laterizio n.155 (2013), 52-55.
- [4] M. D'Orazio, G. Cursio. Facciate in laterizio contro il bio-degrado: risultati analitici, Costruire in laterizio n.155 (2014), 64-68.
- [5] W. De Muynck et al. Evaluation of strategies to prevent algal fouling on white architectural and cellular concrete. International Biodeterioration & Biodegradation, 63 (2009) 679-689.
- [6] ETA-04/0018. External thermal insulation composite systems with rendering for the use as external insulation of building walls. European Organization for Technical Assessment (EOTA), 2000.
- [7] ETA-07/0280. External thermal insulation composite systems with rendering for the use as external insulation of building walls. European Organization for Technical Assessment (EOTA), 2000.
- [8] ASTM D4404-10. Standard test method for determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry. American Society for Testing and Materials, 2010.
- [9] UNI EN 15801:2010. Conservation of cultural property e test methods e determination of water absorption by capillarity. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010.
- [10] UNI EN 15886:2010. Conservation of cultural property e test methods e colour measurement of surfaces. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010.
- [11] Graziani L, Quagliarini E, Osimani A, Aquilanti L, Clementi F, Yéprémian C, et al. Evaluation of inhibitory effect of TiO<sub>2</sub> nanocoatings against microalgal growth on clay brick façades under weak UV exposure conditions. Building and Environment 2013; 64:38-45.
- [12] Tran TH, Govin A, Guyonnet R, Grosseau P, Lors C, Damidot D, et al. Influence of the intrinsic characteristics of mortars on their biofouling by pigmented organisms: comparison between laboratory and field-scale experiments. International Biodeterioration & Biodegradation 2014; 86:334-42.
- [13] Ivanova E. The biodegradation of layered silicates under the influence of cyanobacterial-actinomycetes associations. Geophys Res Abstr 2013;15:2013.
- [14] Guillitte O, Dreesen R. Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials. Sci Total Environ 1995;167:365-74.
- [15] Barberousse H, Ruot B, Yéprémian C, Boulon G. An assessment of façade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. Build Environ 2007;42:2555-61.
- [16] Dubosc A, Escadeillas G, Blanc PJ. Characterization of biological stains on external concrete walls and influence of concrete as underlying material. Cem Concr Res 2001;31:1613-7.

Claudio Piferi

# Ancoraggi e graffaggi nei paramenti in laterizio faccia a vista

Tra le molte immagini che rimangono impresse del terremoto aquilano ci sono quelle degli edifici dai quali si è dissociato il paramento esterno in laterizio faccia a vista. Edifici spogliati del loro “vestito buono” che hanno messo a nudo, oltre che essi stessi, uno degli errori progettuali più frequenti nell’impiego di questa tecnologia costruttiva



1. Danni del terremoto d’Abruzzo sui paramenti in laterizio faccia a vista.

**A**d un anno dal terremoto che ha colpito la città de L’Aquila ed i Comuni limitrofi, si possono trarre alcune interessanti considerazioni. I tecnici che, dopo il sisma, hanno iniziato ad analizzare ed interpretare i crolli sono stati in grado, quasi da subito, di stabilirne le cause. Una buona conoscenza della tecnologia e della scienza delle costruzioni e rilievi diagnostici, prima visivi e poi strumentali, hanno consentito ai professionisti di capire come mai edifici costruiti a poche decine di metri di distanza abbiano subito deformazioni e danneggiamenti differenti, indipendentemente dall’anno di costruzione e dalla tecnologia costruttiva (muratura portante o struttura intelaiata che fosse). Di un fattore si può essere certi: gli edifici ben progettati e ben costruiti hanno reagito meglio di quelli realizzati con prodotti scadenti e progettati con superficialità, ovvero

confidando più sulle possibilità dei materiali e delle soluzioni costruttive che non sulla corretta progettazione degli stessi.

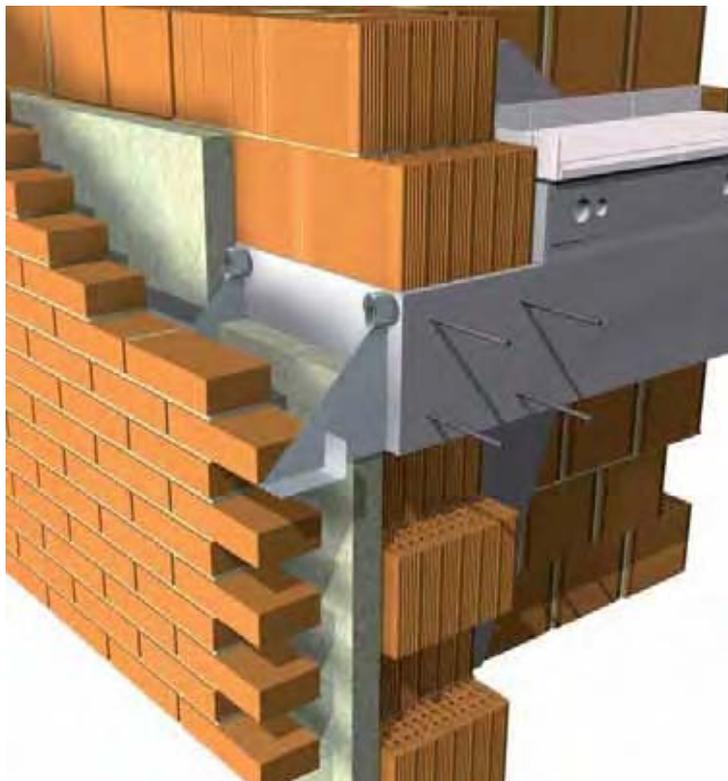
Non appare affatto banale ribadire che gli edifici, in presenza di un sisma, crollano e subiscono danni, non tanto per l’assenza di una normativa adeguata (anzi, in Italia è dai primi del Novecento che ci si è preoccupati di normare il problema sismico), quanto per una cattiva o nulla applicazione della normativa stessa e per errori progettuali solo apparentemente ininfluenti.

Le regole per progettare e realizzare un edificio in muratura portante, che possa resistere sia alle spinte verticali che orizzontali, ci sono da anni, così come quelle per realizzare ottimi calcestruzzi e telai in cemento armato in grado di rispondere adeguatamente alle sollecitazioni sismiche.

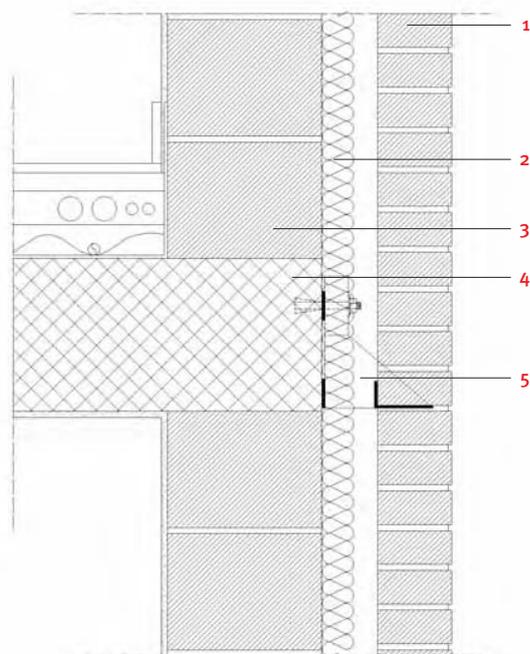
Il terremoto d’Abruzzo ha evidenziato,

però, tutta una serie di problematiche legate a sistemi e sottosistemi tecnologici di cui le normative si sono occupate solo marginalmente, confidando (forse troppo) nella buona pratica del costruire e nella competenza dei professionisti. Sebbene, infatti, il legislatore si sia da sempre, giustamente, preoccupato della stabilità strutturale dell’edificio, soltanto negli ultimi anni ha concentrato la sua attenzione anche sugli elementi e sulle parti non strutturali che possono comunque causare gravi danni alle persone e al costruito.

Tra le varie immagini che rimangono impresse del terremoto aquilano, dopo ovviamente quelle drammatiche della tragedia, ci sono quelle di manufatti realizzati recentemente (alcuni ancora da terminare) che hanno retto abbastanza bene al sisma, ma dai quali si è dissociato il paramento esterno in laterizio faccia a vista (fig. 1).



2. Sistema di ancoraggio per intercapedini (piene o vuote) di spessore elevato (disegno: Francesca Nesi).



3. Sistema di ancoraggio in prossimità della trave di bordo.

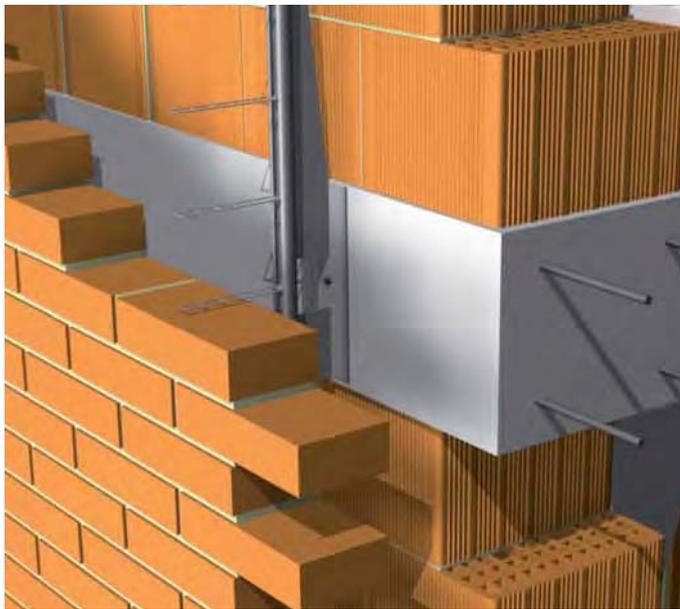
Legenda:

1. mattone in laterizio faccia a vista
2. strato isolante
3. blocco in laterizio alleggerito
4. trave di bordo
5. piastra a sbalzo con angolare

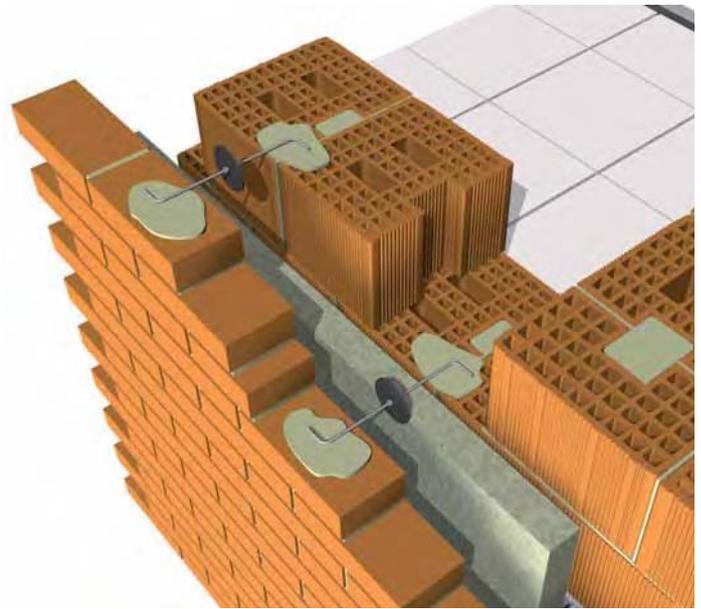
Edifici spogliati del loro “vestito buono”, che hanno messo a nudo, oltre che essi stessi, uno degli errori, purtroppo frequenti, della progettazione e realizzazione di questa tipologia di tamponamento esterno. L'assenza di un efficace ancoraggio dei laterizi faccia a vista alla struttura portante degli edifici o il loro graffaggio alla parete interna del tamponamento a cassa vuota o piena, seppure strutturalmente non abbia una valenza rilevante, dal punto di vista dell'incolumità delle persone e del danneggiamento degli edifici può rappresentare un punto debole della costruzione. Può, ma non dovrebbe, in quanto la manualistica di riferimento è presente e molto ampia, ma purtroppo scarsamente applicata. È utile, a questo punto, differenziare i graffaggi dagli ancoraggi, in quanto differenti sia per forma che per prestazioni offerte.

Per *ancoraggi* si intendono quei sistemi di fissaggio che svolgono non solo una funzione di tenuta del paramento esterno, ma anche una funzione portante dello stesso, garantendogli una resistenza maggiore ai carichi verticali e orizzontali in quanto fissati alle parti strutturali dell'edificio (travi e pilastri in cemento armato, ad esempio). Per *graffaggi* si intendono quei sistemi di fissaggio che permettono esclusivamente di evitare il ribaltamento della cortina faccia a vista, senza svolgere alcun compito di carattere strutturale nei confronti delle azioni verticali, esercitando una minima azione rispetto a quelle orizzontali. L'impiego o meno di tali sistemi appare assai rilevante nel momento in cui si verifica un sisma, in quanto le oscillazioni orizzontali portano le murature di tamponamento a subire spostamenti non solo nel loro piano ma anche fuori dallo stesso, con le evidenti conseguenze che ciò comporta.

**Ancoraggi** I sistemi di ancoraggio si sono affermati negli ultimi anni, sia per ridurre o eliminare il problema dell'inserimento dei pannelli termo-isolanti, sia per realizzare dei paramenti “appesi”. Gli ancoraggi, rispetto ai graffaggi, sono in numero minore e non vengono disposti su tutta la facciata ma, solitamente, in prossimità degli elementi resistenti (pilastri, travi e cordoli). Sono sistemi tecnologicamente più sofisticati, ma anch'essi non particolarmente ingegnerizzati. Hanno la possibilità, oltre che di sostenere/fissare il paramento faccia a vista, anche di facilitarne la messa in opera permettendo regolazioni del piano su tutti e tre gli assi cartesiani, garantendo risultati estetici migliori (soprattutto per facciate di una certa altezza) ed evitando lo “svergolamento del giunto” (le regolazioni in altezza sono generalmente dell'ordine di  $\pm 3,5$  cm; figg. 2-3).



4. Sistema di ancoraggio su barra verticale per ogni corso di mattoni, indicato in prossimità dei parapetti di tetti piani e balconi (disegno: Francesca Nesi).



5. Graffaggio in tondino di acciaio piegato alle estremità a 90° con rondella "rompigoccia" (disegno: Francesca Nesi).

Queste tipologie di ancoraggio non possono essere accomunate in *toto* a quelle impiegate nelle facciate a montaggio meccanico, in quanto esse prevedono l'uso del giunto di malta tra corsi successivi di mattoni.

Gli ancoraggi possono essere fissati alla struttura portante anche attraverso binari annegati negli elementi in calcestruzzo armato al momento del getto e presentano differenti capacità di carico in relazione al proprio dimensionamento.

Le caratteristiche offerte da questo tipo di ancoraggio lo rendono particolarmente idoneo proprio alle azioni fuori dal piano che possono venire a crearsi in occasione di un sisma o di un vento particolarmente forte.

Mentre i graffaggi oppongono scarsa resistenza meccanica in senso verticale, alcune tipologie di ancoraggi sono in grado anche di assorbire gli spostamenti perpendicolari al piano, riducendo gli effetti di danneggiamento del tamponamento; inoltre, hanno la capacità di "portare" il paramento faccia a vista e di isolarlo ad ogni interpiano (alcuni sistemi, addirittura, ad ogni corso di mattoni), evitando altezze libere eccessive del rivestimento (fig. 4).

**Graffaggi** Il compito principale dei graffaggi è quello di legare le due pareti di una muratura a doppio strato, in modo da creare un insieme più stabile e di scaricare le azioni applicate alla parete faccia a vista sulla parete retrostante. Le graffe (o zanche), collocate con maggiore frequenza alla quota di circa 120 cm dal piano di calpestio, assicurano la resistenza alle spinte sul paramento faccia a vista nella direzione verso la parete interna, oppure collaborano, nel caso di azioni verso l'esterno (per esempio, provocate dalla pressione idraulica di eventuale materiale granulare di isolamento termico posto all'interno dell'intercapedine). Per valutare la resistenza di graffe compresse, ortogonali ai piani delle stratificazioni interessate ai muri, ottenute per doppia piegatura a 90° di tondino di acciaio inossidabile, si può utilizzare la formula empirica di Rankine, valida per aste di qualsiasi lunghezza (fig. 5).

Il carico ammissibile  $P$  è determinato attraverso

la relazione:

$$P = \frac{k'' A}{1 + X \lambda^2}$$

dove

- $k''$  = carico di sicurezza a compressione (nel caso di acciaio inossidabile, viene assunto pari a 1000 daN/cm<sup>2</sup>);
- $A$  = area della sezione della barra in cm<sup>2</sup>;
- $X$  = fattore sperimentale (per gli acciai, può essere valutato pari a 0,00015);
- $\lambda$  = snellezza, data dal rapporto  $l_0/\varphi_{\min}$ ;
- $l_0$  = valore pari a 0,7  $l$  ( $l$  = spessore dell'intercapedine) con graffa supposta vincolata con due semi incastri;
- $\varphi_{\min}$  = valore pari a  $r/2$ , nel caso di barra circolare, con  $r$  raggio della sezione.

Per una graffa in acciaio inossidabile, costituita da una barretta di diametro pari a 4 mm posta fra due pareti distanziate di 12 cm, il carico ammis-

sibile risulta essere:

$$P = \frac{K \cdot A}{1 + \chi \lambda^2} = \frac{1000 \cdot 0,1256}{1 + 0,00015 \left( \frac{0,7 \cdot 12}{0,1} \right)^2} \cong 59 \text{ daN}$$

Una volta stabilito il carico ammissibile per ogni graffa, si è in grado di determinarne il quantitativo necessario per ogni metro quadrato o metro lineare di parete.

Dalla formula sperimentale e dalle norme europee ad oggi emanate, si è arrivati a definire il numero minimo di graffaggi necessari per “mettere in sicurezza” la struttura stratificata: in condizioni normali, devono essere garantite almeno 5 graffe a metro quadrato, mentre in prossimità di un giunto o di un bordo libero del muro è bene prevedere almeno 3 graffe ogni metro lineare (fig. 6).

Di non secondaria importanza nei graffaggi di paramenti faccia a vista, è l’attenzione da porre al problema dell’acqua.

Sebbene, infatti, questi dispositivi non creino particolari problemi di “ponte termico” (né acustico) per via del loro esiguo spessore, possono però dare luogo ad inconvenienti derivanti proprio dall’acqua e dall’umidità che può venire a trovarsi all’interno dell’intercapedine.

Per evitare di compromettere, ad esempio, le prestazioni dell’isolante termico, è necessario, pertanto, che le graffe siano in acciaio inossidabile austenitico (18% cromo, 8% nichel), zincate o, comunque, non corrodibili (in polipropilene o in lega), che abbiano una leggera pendenza verso l’esterno e siano munite di rondella “rompigoccia” o sagomate in modo da evitare che l’acqua entri in contatto con lo strato interno.

La rondella svolge, spesso, anche il ruolo di sostenere il pannello di materiale isolante (fig. 7).

Le graffe non devono essere appoggiate direttamente sul piano dell’elemento costituente lo strato, ma

vanno disposte su una prima stesura di malta e, successivamente, ricoperte di ulteriore malta; inoltre non devono essere inserite a forza in giunti di malta già secchi.

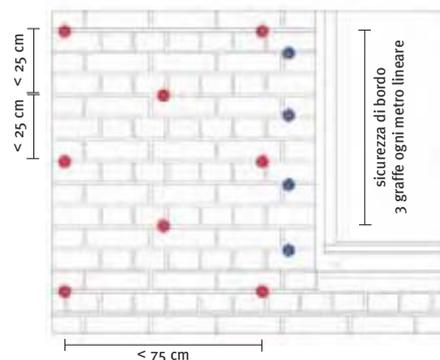
La modalità di messa in opera è piuttosto semplice: le graffe, se possibile, vanno inserite prima nei giunti dello strato interno della muratura a cassetta e poi nei giunti dello strato faccia a vista. Se i due tavolati del tamponamento vengono costruiti in tempi diversi, si possono adoperare graffe con una estremità predisposta per l’uso di tasselli chimici o ad espansione (fig. 7).

Attualmente, sono in via di sperimentazione sistemi di graffaggio non rigidi tra tavolati, composti principalmente da reti metalliche o in materiale plastico, il cui inserimento permette al paramento esterno di assorbire meglio le deformazioni perpendicolari al piano.

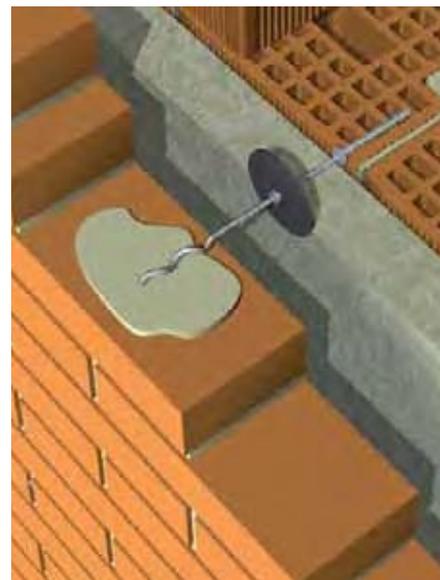
Le reti vengono solitamente annegate nei giunti di malta che, in questi casi, devono essere coincidenti tra i due paramenti; il loro spessore esiguo rende praticamente nulli gli effetti di “ponte termico”, mentre la composizione materica e la conformazione geometrica assicurano una più che sufficiente resistenza alle azioni del vento e del sisma.

Anche in questo caso, le reti devono essere in acciaio inossidabile o in lega (a maggior ragione, poiché la superficie metallica a contatto con la malta e con il pannello isolante è superiore) e inclinate verso l’esterno, in quanto è praticamente impossibile l’inserimento di elementi “rompigoccia” (fig. 8). ¶

Bibliografia e norme di riferimento  
 Tubi N., *La realizzazione di murature in laterizio*, Edizioni Laterconsult, Roma 1983.  
 Tubi N., *Il dimensionamento dei graffaggi nelle murature doppie*, in “In Laterizio” n.3/1987.  
 UNI EN 845-1:2008.  
 UNI EN 845-3:2008.  
 DIN 1053: 1990.



6. Schema di distribuzione dei graffaggi nei paramenti faccia a vista, come disposto dalla norma Din 1053/90.



7. Sistema di graffaggio con ancorante meccanico (disegno: Francesca Nesi).

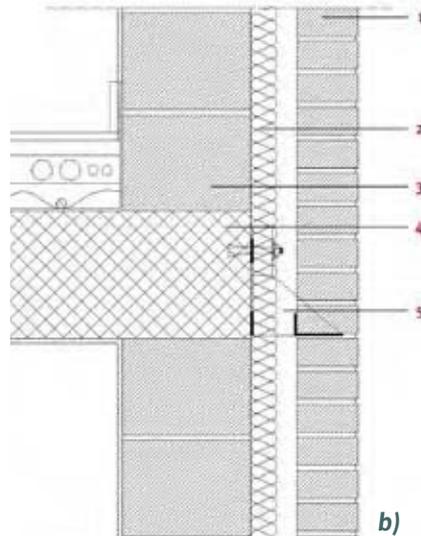
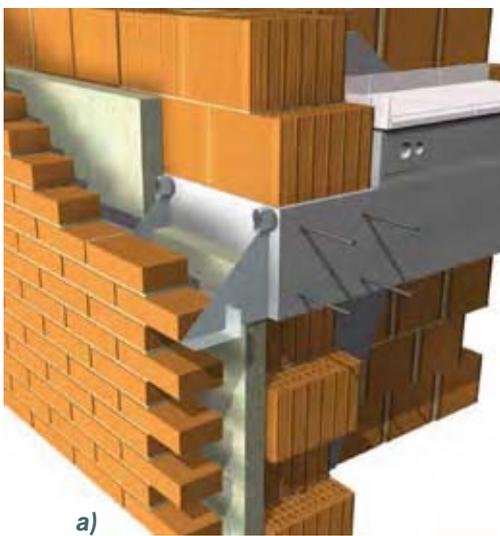


8. Predisposizione di fogli di rete metallica come sistema di graffaggio (foto: Michele Destro).

# La progettazione sismica nelle murature “faccia a vista”: dettagli costruttivi

P. Morandi, G. Magenes, S. Hak, Università degli Studi di Pavia

L'evoluzione tecnologica del modo di costruire i paramenti in mattoni di laterizio “faccia a vista”, a seguito delle nuove normative sul risparmio energetico, ha cambiato radicalmente i sistemi utilizzati fino a pochi anni fa. Dal punto di vista sismico, lo studio del comportamento dei paramenti in laterizio faccia a vista è abbastanza recente. Si anticipano, nel seguito, alcuni aspetti introduttivi analizzati in una recente ricerca in fase di svolgimento presso l'Università di Pavia.



**Figura 1. Sistema di ancoraggio a): dettaglio del sistema di ancoraggio in prossimità della trave di bordo b) (Piferi, 2010): 1. mattone in laterizio faccia a vista; 2. strato isolante; 3. blocco in laterizio alleggerito in pasta; 4. trave di bordo; 5. piastra a sbalzo con angolare (ancoraggio).**

In seguito all'emanazione dei DLgs 192/05, 311/06 e smi, per il recepimento della direttiva europea 2002/91/CE sul risparmio energetico in edilizia, si è assistito ad una rapida evoluzione tecnologica nella costruzione dei paramenti con mattoni faccia a vista in laterizio nei tamponamenti delle strutture in c.a.

La soluzione multistrato ben si presta a coniugare durabilità e prestazioni energetiche, accogliendo al suo interno un opportuno spessore di isolante. La necessità di risolvere le criticità dei ponti termici ha, infatti, spostato materialmente la cortina a vista esternamente alla cornice del telaio in c.a. Non vi è più, quindi, la possibilità di sostenerla attraverso le travi nella struttura portante in c.a. ma bisogna ricorrere a graffaggi ed ancoraggi.

Come sempre avviene, la corretta posa in opera, oltre che assistita da una attenta e curata progettazione, passa anche attraverso i particolari costruttivi. Con specifico riferimento alle tamponature “stratificate” con rivestimento esterno in elementi di laterizio faccia a vista, si presentano nel seguito alcuni accorgimenti e soluzioni di dettaglio nel caso di murature a doppio strato con paramento non racchiuso nella cornice del telaio strutturale.



1

NEWSLETTER DEL FACCIA A VISTA  
Mensile di informazione tecnica sul Laterizio Faccia a Vista

Luglio 2012 - Numero 42



2

## La progettazione sismica nelle murature “faccia a vista”: dettagli costruttivi

E' consigliabile, ad esempio, eseguire il paramento interno ed il paramento esterno faccia a vista partendo dal piano più alto per evitare che la freccia delle travi di bordo produca fessure nei tamponamenti sottostanti; si evita così, al tempo stesso, di sporcare la muratura a vista dei piani inferiori e si può smontare più velocemente il ponteggio riducendo di conseguenza i costi. Per una corretta realizzazione di una muratura pluristrato faccia a vista, inoltre, è necessario realizzare sia un efficace ancoraggio dei laterizi alla struttura portante degli edifici che un loro graffaggio (collegamento puntuale) alla parete interna del tamponamento, il quale, a sua volta, deve essere sufficientemente robusto per sostenere l'azione fuori piano innescata dal paramento esterno e non danneggiarsi per azioni nel piano e fuori piano.

E' necessario precisare che, nella nomenclatura tecnica, per ancoraggi o mensole di sostegno si intendono quei sistemi di fissaggio che svolgono prevalentemente una funzione portante del peso proprio del paramento esterno e risultano collegati agli elementi strutturali dell'edificio, per esempio alle travi in c.a. (fig. 1). L'utilizzo di questi dispositivi ha consentito di eliminare o comunque ridurre il problema dell'inserimento di pannelli isolanti per risolvere la presenza dei ponti termici legati alla struttura in c.a. Gli ancoraggi, che possono essere fissati alla struttura portante anche attraverso binari annegati negli elementi in calcestruzzo armato al momento del getto, presentano differenti capacità di carico in relazione al proprio dimensionamento. Inoltre, hanno la capacità di sostenere il paramento faccia a vista e di interromperlo ad ogni interpiano (alcuni sistemi anche ad ogni corso di mattoni), evitando altezze libere eccessive del rivestimento; in corrispondenza delle mensole di sostegno, dovrà dunque formarsi un giunto orizzontale di dilatazione, come mostrato in figura 2. E' consigliabile posizionare, a livello di trave di bordo, almeno un sostegno ogni due interpiani e comunque ad interasse non superiore a 6,5÷ 7,0 m (in altezza).

Questi sistemi di supporto sono in genere corredati dai valori di resistenza ai carichi verticali forniti dalle aziende produttrici, ma possono anche essere realizzati con specifica carpenteria metallica tassellata alle travi di bordo; in quest'ultimo caso, il progettista dovrà calcolare la resistenza ai carichi verticali del supporto considerandolo, in prima approssimazione, come una trave continua su più appoggi con un carico verticale distribuito, pari al peso proprio della parete faccia a vista sostenuta; le reazioni agli appoggi risultano essere le sollecitazioni necessarie per dimensionare i tasselli nelle travi di bordo.



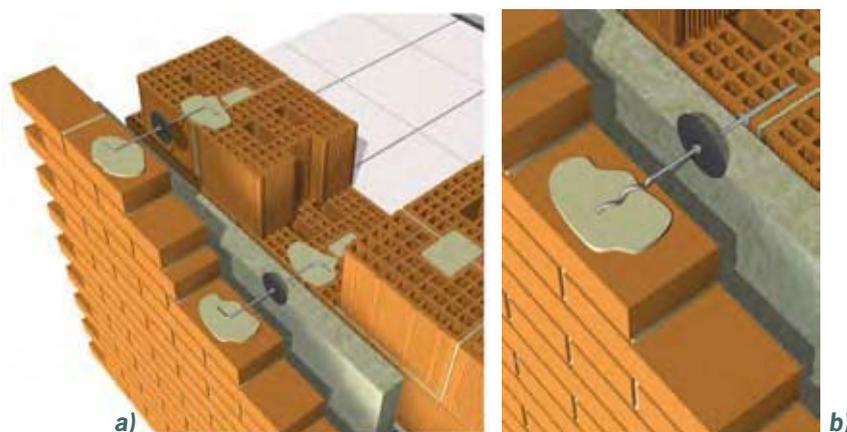
*Figura 2. Giunto orizzontale di dilatazione in corrispondenza delle mensole di sostegno.*

Per graffaggi si intendono, invece, quei sistemi di fissaggio che permettono principalmente di evitare il ribaltamento fuori piano del paramento esterno. Essi possono essere realizzati con dispositivi differenti (due esempi sono riportati in figura 3). Il dimensionamento dei graffaggi di una parete a doppio paramento dipende dalla resistenza del singolo graffaggio (in funzione della sua lunghezza, ovvero della

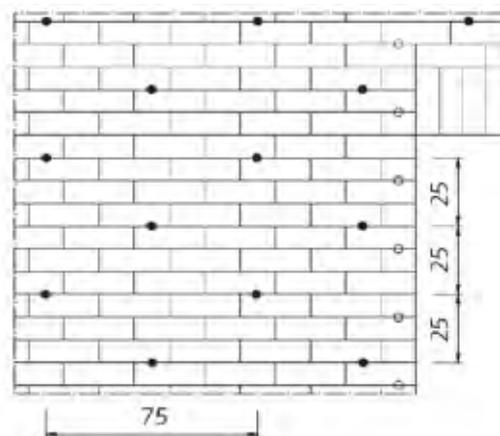
larghezza dell'intercapedine tra la parete interna ed il paramento faccia a vista), dalle dimensioni e dalle caratteristiche meccaniche della parete e dall'azione che è chiamato a contrastare. La resistenza del singolo graffaggio viene generalmente fornita dal produttore, oppure può essere valutata attraverso calcolo dal progettista che deve tenere in debita considerazione i diversi meccanismi di rottura che coinvolgono sia la resistenza a trazione/compressione del singolo graffaggio, sia altri modi di rottura legati all'interazione con gli strati che costituiscono il doppio paramento (per esempio, rottura per esfoliazione della malta, rottura per strappo, rottura dell'interfaccia malta-mattone o malta-blocco, resistenza a trazione dell'eventuale ancorante meccanico inserito nel paramento interno). Una volta nota la resistenza del singolo graffaggio, è possibile definire il numero di graffaggi necessari attraverso uno specifico calcolo. Le norme tedesche (DIN 1053/90) consigliano di inserire, al centro del tamponamento, almeno 5 graffe per metro quadrato, mentre nelle zone di estremità (margini dell'edificio, finestrate, giunti di dilatazione e bordi superiori del rivestimento) propongono di prevedere almeno 3 graffe al metro lineare. Raccomandano, inoltre, di limitare gli interassi massimi verticali dei graffaggi a valori inferiori a 50 cm e gli interassi massimi orizzontali a distanze inferiori a 75 cm (figura 4).

E' bene ricordare che i requisiti qui richiamati rappresentano condizioni minime che devono comunque essere verificate attraverso calcolo esplicito.

A tale proposito, l'Università di Pavia, nell'ambito di una ricerca sul comportamento sismico dei tamponamenti in laterizio, sta elaborando una serie di raccomandazioni (di prossima pubblicazione) per la progettazione anche di murature a doppio strato con paramento esterno realizzato con elementi faccia a vista non racchiuso dalle "cornici" del telaio.



**Figura 3. Graffaggio di acciaio piegato alle estremità a 90° con rondella "rompi goccia" a); graffaggio con ancorante meccanico b) (Piferi, 2010).**



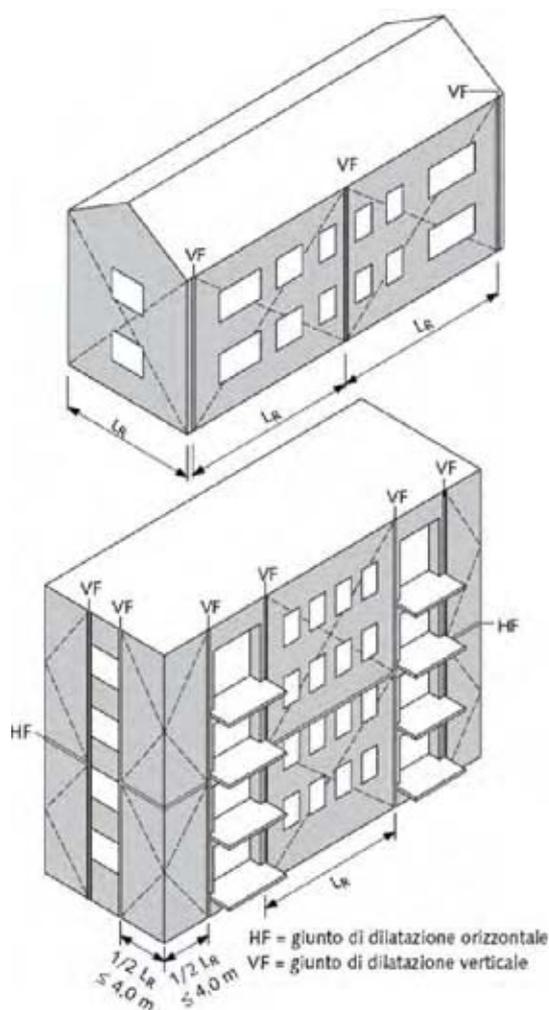
**Figura 4. Distribuzione dei graffaggi nei paramenti faccia a vista (DIN 1053/90).**



4

## La progettazione sismica nelle murature “faccia a vista”: dettagli costruttivi

Nella muratura faccia a vista è fondamentale inserire anche giunti verticali di dilatazione (con spessori di circa 15÷20 mm) in aggiunta ai già citati giunti orizzontali in corrispondenza dei sistemi di ancoraggio. Gli interassi tra queste ultime tipologie di giunti dipendono dalle sollecitazioni climatiche, dal comportamento del materiale e dal colore della facciata, nonché dalla geometria dell'edificio (presenza di incroci, angoli, ecc.). Normalmente, è necessario predisporre giunti verticali di dilatazione in corrispondenza degli angoli dei rivestimenti (figura 5) e comunque ad interasse massimo ( $L_R$ ) di 8÷10 m. In definitiva, si raccomanda di realizzare nelle murature faccia a vista un reticolo di giunti verticali ed orizzontali che portino alla realizzazione di pannelli con dimensioni massime pari a 6,5÷7,0 m di altezza (2 interpiani) e 8÷10 m di lunghezza.



**Figura 5. Distribuzione dei giunti di dilatazione verticali ed orizzontali negli edifici con paramento esterno di laterizi faccia a vista.**

Oltre agli aspetti statici, è importante utilizzare graffaggi che non trasmettano acqua ed umidità dal rivestimento esterno a quello interno e che utilizzino, per esempio, una rondella “rompigoccia” (quest’ultima utile anche per bloccare un eventuale pannello termo-isolante) o che vengano sagomati in modo che l’acqua non entri in contatto con lo strato interno e comunque sempre con una leggera pendenza verso l’esterno. E’ opportuno che i graffaggi siano realizzati con materiale non corrodibile (acciaio inossidabile, acciaio zincato, in lega o in polipropilene). Se possibile, vanno inseriti prima nei giunti dello strato interno della muratura e successivamente nello strato faccia a vista; possono essere forniti anche con ancorante meccanico da inserire nel paramento interno.

## Divisori, tamponamenti e facciate in laterizio negli edifici in c.a.

### Le verifiche sismiche per le pareti non strutturali

Ing. Alfonsina Di Fusco – ANDIL Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi

*Edifici multipiano in c.a. e laterizi da tamponamento - Bosco Verticale<sup>®</sup> (MI)*

Tra le diverse tipologie costruttive sismo-resistenti, le strutture in cemento armato intelaiate con tamponature, in muratura di laterizio non portante, rappresentano senza dubbio il sistema più conosciuto e prevalente nell'edilizia sia residenziale che commerciale. Ciononostante, i modelli progettuali attualmente in uso risultano piuttosto approssimati, trascurando di fatto il contributo dei tamponamenti sia in termini di rigidezza, sia di resistenza: l'analisi strutturale globale dell'edificio viene pertanto svolta su modelli a telai "nudi".

Sono molteplici le pubblicazioni scientifiche che valorizzano, invece, il ruolo benefico della tamponatura - incremento della resistenza, capacità di dissipare energia con conseguente limitazione dei danni sugli elementi strutturali principali - sulla risposta sismica degli edifici a telaio in c.a.;

ovviamente, quando le pareti sono realizzate a regola d'arte e realizzate con elementi di una certa robustezza e malta di buona qualità. In realtà, trascurare nel calcolo la presenza delle tamponature conduce spesso a scelte progettuali conservative, con costruzioni sovradimensionate nel caso di tamponature consistenti, o altrimenti poco prudentiali per quelle più leggere (come riscontrato ad esempio con il terremoto de L'Aquila del 2009).

Un buon comportamento sismico delle pareti divisorie e/o di tamponamento è fortemente influenzato dall'adeguata interazione tra struttura in cemento armato e gli elementi non strutturali in laterizio. Tale condizione consiste, sostanzialmente, nella capacità di garantire, nel contempo:

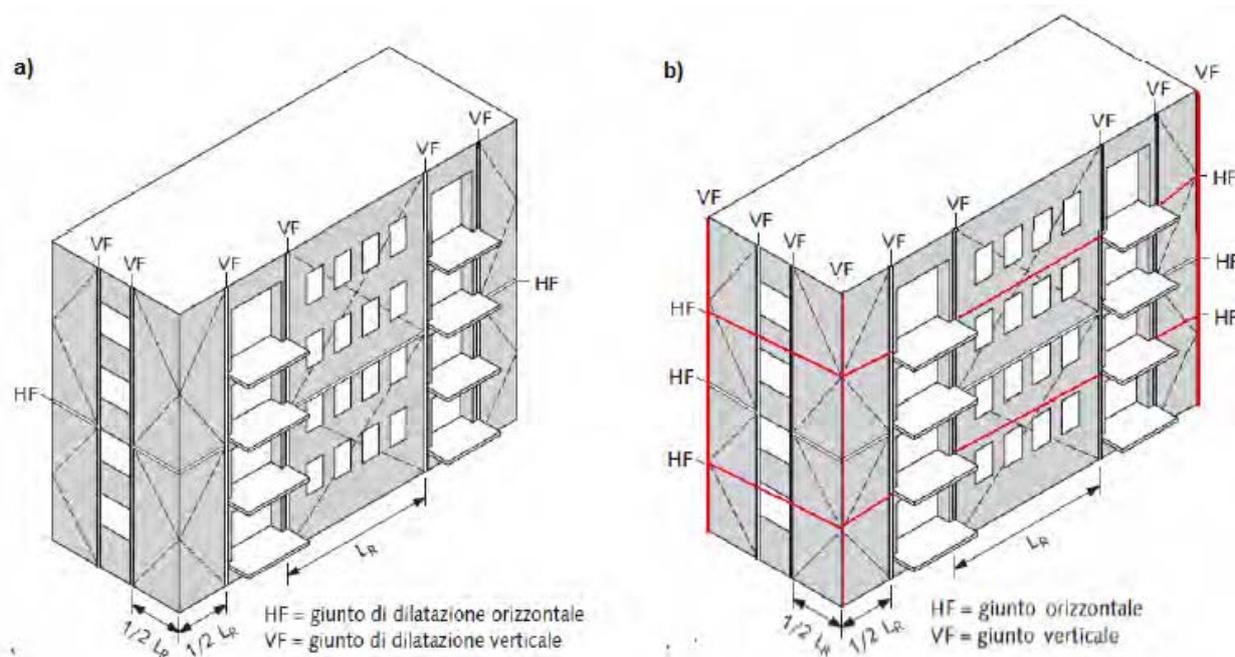
- uno spostamento equivalente nel piano tra telaio portante e pannello murario, così da non indurre danneggiamenti di quest'ultimo;
- resistenza fuori piano, tale da evitare l'espulsione del pannello stesso.

Allo stesso modo, per i paramenti faccia a vista dei tamponamenti pluristrato la prerogativa indispensabile per sopportare i terremoti è fornita dalla regolarità esecutiva e dall'attenta cura dei dettagli costruttivi. Una soluzione, poi, oramai imprescindibile in particolar modo nelle zone ad alta pericolosità sismica, sta nell'impiego di un efficace ancoraggio<sup>1</sup> dei laterizi di facciata alla



<sup>1</sup> Per *ancoraggio* si intende il sistema di fissaggio che svolge non solo una funzione di tenuta del paramento esterno, ma anche una funzione portante dello stesso, garantendogli una resistenza maggiore ai carichi verticali e orizzontali in quanto fissati alle parti strutturali dell'edificio (travi e pilastri in cemento armato, ad esempio).

struttura portante dell'edificio oppure di un loro collegamento puntuale con graffaggi<sup>2</sup> allo strato di muratura più interno, che caratterizza l'involucro di chiusura dell'edificio. La parete interna di supporto, a cui vanno fissati i graffaggi, dovrà essere quindi sufficientemente robusta per resistere all'azione fuori piano innescata dal rivestimento esterno in mattoni e non danneggiarsi per eventuali meccanismi di piano e/o fuori piano. Bisognerà inoltre prevedere la presenza di giunti di dilatazione verticali e orizzontali, al fine di consentire le variazioni di spostamento relative. Esistono in commercio diversi dispositivi speciali per l'ancoraggio e il graffaggio in acciaio inossidabile, acciaio zincato, in lega o in polipropilene.



**Schema di distribuzione dei giunti di dilatazione per il rivestimento faccia a vista di un edificio in c.a.: a) in zona a bassa sismicità, l'interasse massimo dei giunti verticali  $L_R$  è pari a 12 m, quello orizzontale è previsto ogni due piani; b) in zona a maggiore sismicità  $L_R = 8 \pm 10$  m ed i giunti verticali vanno anche negli spigoli, quelli orizzontali ogni piano.**

E' riconosciuto che la progettazione nei confronti dell'azione sismica dell'insieme telaio/tamponamento è un aspetto assai delicato, particolarmente complesso e spesso affetto da elevate incertezze, che sostanzialmente non viene affrontato convenientemente neanche dalle vigenti normative Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/1/2008). Nel dettaglio, le NTC08 prevedono che, con l'esclusione dei soli tamponamenti interni di spessore non superiore a 10 cm, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone, debbano essere localmente verificati, insieme alle loro connessioni, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati. Per le verifiche globali della struttura in c.a., come già detto, i criteri di modellazione delle NTC08 rappresentano, invece, gli elementi non strutturali autoportanti - tamponature e tramezzi - unicamente in termini di massa, e per tener conto di rigidità e resistenza va necessariamente dimostrato che tali caratteristiche modificano significativamente il comportamento complessivo. Ad ogni modo, quest'opportunità difficilmente

<sup>2</sup> Per *graffaggi* si intendono quegli elementi di fissaggio con funzione di ritegno che permettono esclusivamente di evitare il ribaltamento della cortina faccia a vista, senza svolgere alcun compito di carattere strutturale nei confronti delle azioni verticali, esercitando una limitata risposta rispetto a quelle orizzontali.

viene approssciata dai progettisti, non essendo fruibile per tutti una metodologia adeguata e semplice formulazioni.

Le NTC08, inoltre, prescrivono le modalità da seguire per alcuni casi non del tutto ordinari nella prassi costruttiva, in particolare l'attenzione è rivolta a pareti non strutturali:

- con una distribuzione in pianta fortemente irregolare, i cui gli effetti debbono essere valutati e tenuti in conto incrementando di un fattore 2 l'eccentricità accidentale;
- con una distribuzione fortemente irregolare in altezza, per cui è necessario contenere possibili concentrazioni di danno ai livelli con tamponamenti ridotti fissando un incremento di un fattore cautelativo pari a 1,4 per le azioni di calcolo degli elementi verticali (pilastri e pareti) dei livelli in questione;
- che non si estendono per l'intera altezza dei pilastri adiacenti, le cui sollecitazioni di taglio per la parte priva di tamponamento vanno valutate appositamente e l'armatura risultante deve coprire in aggiunta una distanza pari alla profondità del pilastro;
- presenti su un solo lato di un pilastro, la cui armatura trasversale va disposta sull'intera altezza del pilastro stesso.

### Verifiche di sicurezza agli stati limite

Al fine di scongiurare la temporanea inagibilità della costruzione, corrispondente allo stato limite di esercizio - operatività (SLO) o danno (SLD) in funzione della classe d'uso della costruzione - le NTC08 limitano gli spostamenti interpiano della struttura portante in funzione delle specifiche condizioni di vincolo, fissando in tal modo:

a) per i tamponamenti collegati rigidamente che interferiscono con la deformabilità della struttura,  $d_r < 0,005 h$ ;

b) per i tamponamenti non aderenti caratterizzati da deformabilità intrinseca  $d_{pr}$ , ovvero dei collegamenti alla struttura,  $d_r \leq d_{rp} \leq 0,01 h$ ;

dove  $d_r$  è lo spostamento interpiano e  $h$  è l'altezza del piano.

L'altra verifica da condurre a livello locale è che, allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), la resistenza del tamponamento risulti superiore alle sollecitazioni fuori piano indotte dall'azione sismica, calcolata come forza risultante applicata all'elemento senza funzione strutturale:

$$F_a = S_a W_a / q_a$$

dove, con riferimento all'elemento non strutturale,  $W_a$  è il suo peso,  $S_a$  la rispettiva accelerazione massima e  $q_a$  è il relativo fattore di struttura.

| Stato Limite | Descrizione della prestazione                                   | Riferimento paragrafo NTC08 | Classe d'uso |    |     |    |
|--------------|---|-----------------------------|--------------|----|-----|----|
|              |   |                             | I            | II | III | IV |
| SLO          | Contenimento del danno  | § 7.3.7.2                   | no           | no | si  | si |
| SLD          |   |                             | si           | si | no  | no |
| SLV          | Assenza di collasso fragile/prematuro ed espulsione fuori piano | § 7.3.6.3                   | si           | si | si  | si |

**Verifiche di sicurezza per "pareti non strutturali" (estratto da tab. C7.1.1 – Cir. N.617/09).**

Le NTC08 forniscono, in tal caso, le istruzioni per valutare l'azione sismica fuori piano per gli elementi non strutturali tralasciando, totalmente, qualsiasi informazione in merito ai metodi e criteri di calcolo della capacità (resistenza) delle pareti fuori piano ed ai potenziali meccanismi di rottura che si possono istaurare per le diverse configurazioni di vincolo tra tamponamento e telaio. A tale proposito, bisogna riferirsi quindi a normative di comprovata validità (ad esempio l'Eurocodice 6) oppure a formulazioni presenti in letteratura scientifica.

|   |       |
|---|-------|
| Elemento non strutturale  | $q_a$ |
| Parapetti o decorazioni aggettanti  |       |
| Insegne e pannelli pubblicitari   |       |
| Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza   | 1,0   |
| Pareti interne ed esterne   |       |
| Tramezzature e facciate   |       |
| Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa | 2,0   |
| Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento  |       |
| Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti   |       |

Valori del "fattore di struttura"  $q_a$  per elementi non strutturali (§ tab. 7.2.1 – NTC08)

In ogni caso, la Circolare ministeriale n.617/2009 dà istruzioni per un'alternativa alla verifica sismica allo SLV orientando il progettista all'impiego di leggere reti da intonaco sui due lati della muratura e collegate tra loro ed alle strutture circostanti a distanza non superiore a 500 mm, sia in direzione orizzontale sia in direzione verticale, ovvero con l'inserimento di elementi di armatura orizzontale nei letti di malta, a distanza non superiore a 500 mm. Con la scelta indicata dalla Circolare si può ritenere, a vantaggio di sicurezza, che la prestazione consistente nell'evitare collassi fragili e prematuri e la possibile espulsione sotto l'azione sismica allo SLV sia conseguita; tuttavia, è chiaro che tale tipo di intervento può risultare un'applicazione utile esclusivamente nel caso di pareti sottili e particolarmente snelle.

**IPOTESI: paramento interno portante, paramento esterno portato**

$F_a = W_a S_a / q_a$  Forza risultante applicata al paramento interno dovuta all'inerzia del paramento interno ed esterno,

dove  $W_a = p_{g,1} \cdot t_1 \cdot l_1 \cdot h_1 + p_{g,2} \cdot t_2 \cdot l_2 \cdot h_2$

con  $p_{g,1}$  = peso di volume della muratura del paramento esterno

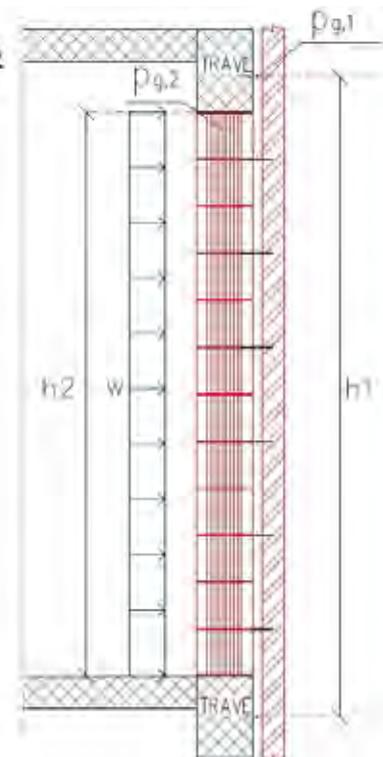
$p_{g,2}$  = peso di volume della muratura del paramento interno

$$S_a = \frac{a_g S}{g} \left[ \frac{3(1+Z/H)}{1+(1-T_{a,2}/T_1)^2} - 0.5 \right]$$

$w = F_a / (l_2 \cdot h_2)$

$$w \leq p_R = 0.72 f_{c,2} \left( \frac{t_2}{h_2} \right)^2$$

$f_{c,2}$  valore ridotto di resistenza a compressione della muratura del paramento interno per tener conto dell'eventuale danneggiamento nel piano.



**Procedimento semplificato di verifica fuori piano di tamponamenti pluristrato in laterizio (estratto dalle relazioni dell'Università di Pavia).**

**Studi e sperimentazioni in corso**

Per analizzare al meglio i suddetti concetti e colmare la carenza normativa evidenziata, l'industria italiana dei laterizi ha ritenuto opportuno commissionare all'Università di Pavia e all'Eucentre uno specifico studio, di interesse anche per l' "Area Tematica 2-1 Aspetti nella progettazione sismica delle nuove costruzioni. Task 3 – Costruzioni in muratura" del Piano RELUIS 2010/13 (REte dei Laboratori

Universitari di Ingegneria Sismica). In particolare, al team del Prof. Guido Magenes di Pavia è stata affidata una ricerca, sia numerica che sperimentale, sul comportamento sismico delle pareti non strutturali in laterizio, con l'obiettivo di redigere una serie di raccomandazioni per la progettazione e la pratica esecutiva di tamponamenti monostrato e pluristrato con paramento faccia a vista.

Un'ulteriore importante occasione di approfondimento sul tema deriva, inoltre, dal progetto di ricerca Europeo INSYSME "INnovative SYStems for earthquake resistant Masonry Enclosures in rc buildings", avviato lo scorso 1° ottobre e coordinato dal Prof. Claudio Modena dell'Università di Padova, che si propone di sviluppare sistemi innovativi per tamponature in laterizio resistenti ai terremoti. Oltre alla produzione di materiali e sistemi di tamponamento di ultima generazione da impiegare in edifici multipiano in c.a. nelle aree a maggiore rischio sismico, l'obiettivo principale è proprio quello di definire formule e procedure per la progettazione sismica da implementare in software di calcolo e trasferire nelle normative tecniche di riferimento. Tra le soluzioni di parete non strutturali da indagare, in collaborazione con ANDIL e le sue aziende associate, rientrano:

- i rivestimenti faccia a vista, con paramenti esterni alla cornice del telaio in c.a. e collegati alla parete interna di tamponamento;
- gli involucri monostrato, con sconnessioni e/o scorrimento finalizzate all'ottimizzazione dell'interazione parete/telaio;
- i divisori e le tramezze per partizioni interne, anche non comprese nella cornice del telaio;
- i muri alti non caricati per gli edifici industriali, mediante sistemi con armatura, o con confinamento, o modulari prefabbricati.

*Riferimenti bibliografici:*

Adriano De Sortis, Paolo Bazzurro, Fabrizio Mollaioli, Silvia Bruno, "Influenza delle tamponature sul rischio sismico degli edifici in calcestruzzo armato" (2007), *Atti del XII convegno nazionale ANIDIS*

Claudio Piferi, "[Ancoraggi e graffaggi nei paramenti in laterizio faccia a vista](#)" (2010), *Costruire in Laterizio* N. 136 - "Biblioteche" - Luglio/Agosto 2010 (Edizioni Business Media Sole 24 ore)

Paolo Morandi, Sanja Hak, Guido Magenes "[La progettazione sismica nelle murature faccia a vista: dettagli costruttivi](#)" (2012), *Newsletter Laterizio Faccia a Vista* - Luglio 2012 - Numero 42

Paolo Morandi, Sanja Hak, Guido Magenes, "[Simplified Out-of-plane Resistance Verification for Slender Clay Masonry Infills in RC Frames](#)" (2013), *Atti del XV convegno nazionale ANIDIS*

Paolo Morandi, Sanja Hak, Guido Magenes, "[Damage Control of Masonry Infills in Seismic Design](#)" *Research Report EUCENTRE 2013/01* - IUSS Press

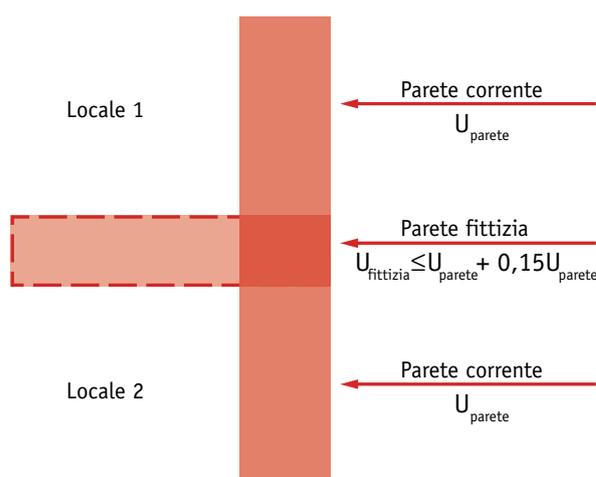
*Per maggiori informazioni visitare le pagine web:*

- "[Le garanzie antisismiche del costruire in laterizio](#)"
- "[Ricerca e Innovazione : Comportamento Strutturale: INSYSME](#)"

## Accorgimenti per la costruzione di involucri termicamente efficaci

Vi sono alcuni aspetti nella realizzazione delle murature stratificate, spesso sottovalutati, determinanti per il corretto funzionamento dell'involucro come regolatore di flussi termici esterno-interno e causa di prestazioni di isolamento ben differenti dalle previsioni progettuali. Tali aspetti, spesso trascurati dalla normativa di riferimento, vanno invece attentamente considerati in una progettazione accurata e competente, soprattutto nella fase di messa in opera dei componenti edilizi in cantiere.

Alla scala del subsistema delle chiusure verticali, si fa spesso riferimento al solo valore di trasmittanza termica di una parte di involucro, senza considerare gli influssi dovuti agli effetti dei ponti termici. Il valore  $U$  rappresenta solo un dato relativo alla qualità termica e tecnica della soluzione costruttiva prospettata. Nella realtà, pesanti cadute di isolamento termico – ponti termici, appunto – possono verificarsi nei nodi di interfaccia fra la muratura e le parti dell'edificio aventi funzioni differenti e tra materiali diversi: la loro considerazione è indispensabile per svolgere correttamente il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio. Sono punti singolari in cui si verifica un andamento del flusso termico in più direzioni, con una conseguente deviazione delle isoterme che, nelle parti isolate "omogeneamente", si



*Il ponte termico è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali, pareti verticali tra loro).*

*Il ponte termico risulta corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente:*

$$U_{fittizia} \leq U_{parete} + (U_{parete} \times 0,15)$$

*Ad esempio, se  $U_{parete} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  allora  $U_{fittizia}$  deve essere minore del valore  $0,345 \text{ W/m}^2\text{K}$*

Figura 2 – Ponte termico (rielaborazione dalla tabella 3, Allegato A del D. Lgs. 192/2005).

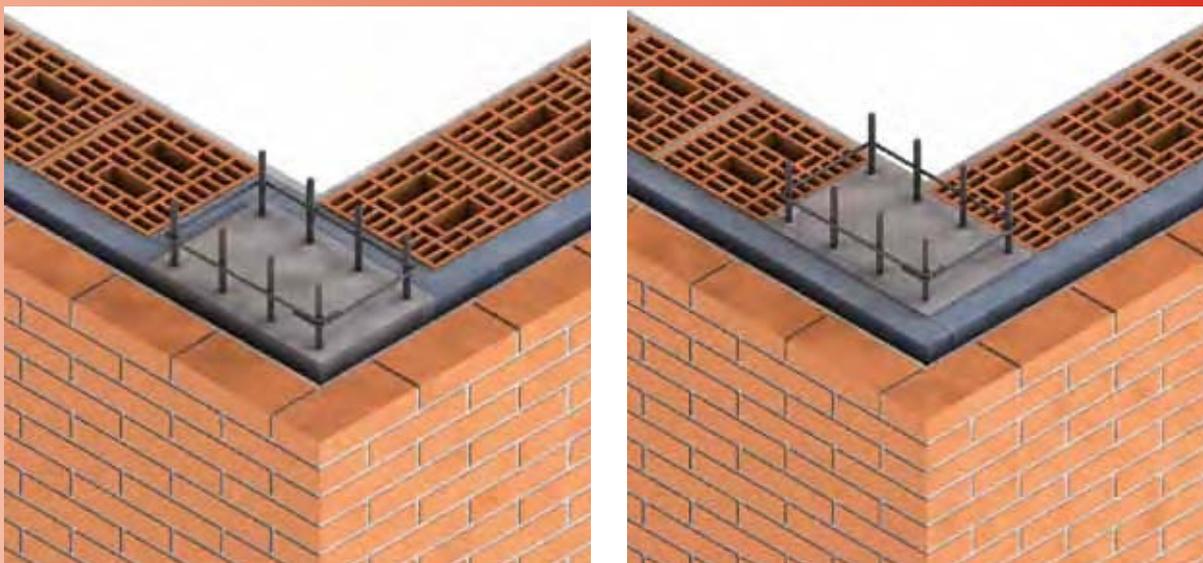


Figura 3 – Possibili soluzioni per l'eliminazione del ponte termico d'angolo.

presentano parallele; ad essi corrispondono sempre indesiderate dispersioni termiche e, nel periodo invernale, un abbassamento delle temperature delle superfici interne dell'edificio, con conseguenze negative sul comfort abitativo.

I ponti termici possono essere generati dalle seguenti circostanze: disomogeneità termica di materiali a contatto tra loro, con conduttività termiche anche molto differenti (ad esempio, all'interno di un solaio in latero-cemento o in corrispondenza di un pilastro di cemento armato in una parete di materiale diverso); disomogeneità geometrica, quando la superficie disperdente esterna è maggiore della superficie interna che riceve calore dall'interno (angoli di parete o incroci, ecc.). Nella maggior parte delle situazioni coesistono i ponti termici dovuti a entrambe le disomogeneità.

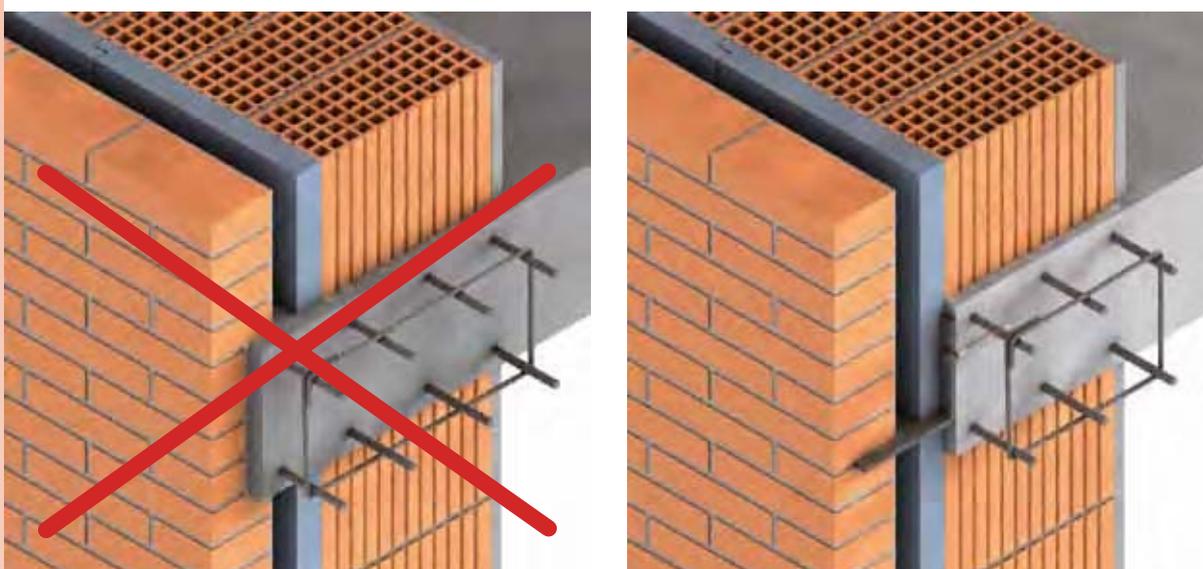


Figura 4 – Possibile soluzione per il ponte termico nell'interfaccia solaio interpiano – chiusura verticale opaca.



Figura 5 – Risoluzione del ponte termico nel punto di connessione fra serramento – davanzale – chiusura opaca mediante distacco del davanzale esterno in corrispondenza dello strato isolante.

Qualunque sia l'origine del ponte termico, risulta fondamentale capire come ridurre (o addirittura, eliminarne) gli effetti o, in casi estremi, come correggere, nel calcolo delle dispersioni termiche, i valori di trasmittanza, considerandone i contributi negativi.

È necessario intervenire preventivamente, durante la fase progettuale e nella fase di realizzazione, su questi punti particolari per garantire un edificio confortevole. Per evitare la formazione di ponti termici, bisogna che ci sia una perfetta continuità dell'isolamento tra la parete perimetrale e i nodi di interfaccia o di interruzione della stessa: per esempio, nel punto di imposta del solaio interpiano sulla chiusura verticale esterna, oppure nel perimetro di contatto fra un serramento e la chiusura verticale opaca.

Nel caso specifico di murature "stratificate", in cui ogni singolo componente viene messo in opera con una precisa specializzazione funzionale, una corretta progettazione e messa in opera risultano indispensabili per l'eliminazione, o quanto meno riduzione, dei ponti termici. Le murature stratificate, anche nel caso di utilizzazione di elementi "faccia a vista", prevedono, generalmente, uno strato di isolante intermedio. Un corretto posizionamento dello stesso, in corrispondenza della discontinuità dei materiali o di punti singolari, consente l'eliminazione dei ponti termici.

Nel caso di un edificio con struttura a telaio, è possibile eliminare il ponte termico tra i pilastri e la chiusura verticale esterna facendo, ad esempio, passare lo strato di materiale isolante all'interno dei pilastri stessi, seguendone la geometria; procedura più efficace è far continuare l'isolante sul lato esterno dei pilastri, lasciando al suo interno la struttura e lo strato resistente della stratificazione muraria (figura 3).

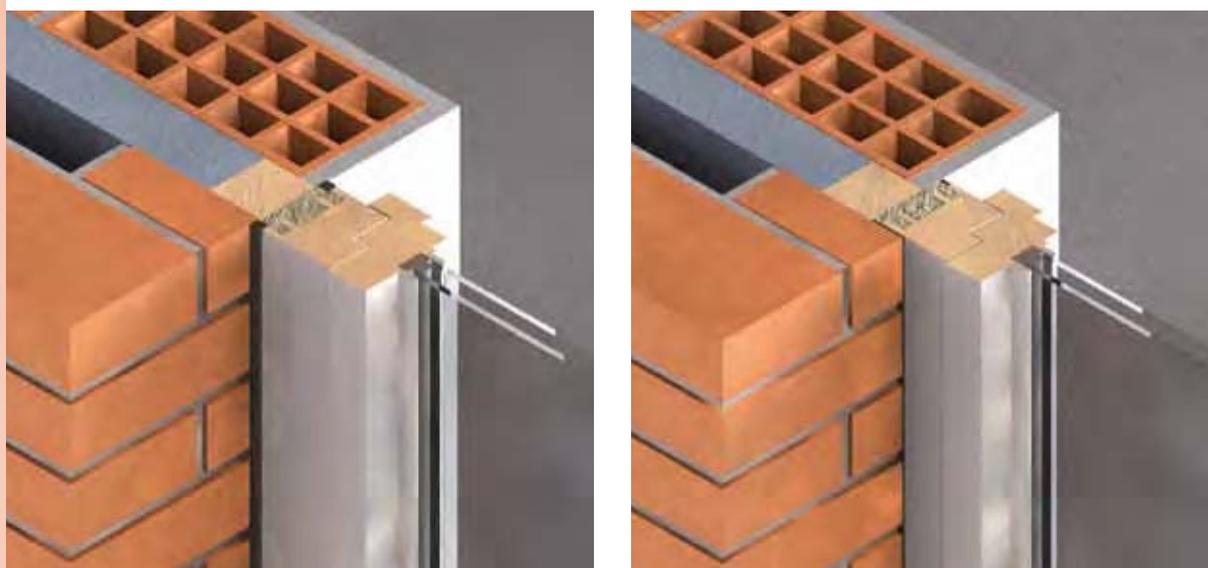
Nel caso dell'interfaccia solaio orizzontale e chiusura verticale esterna, bisogna evitare di lasciare il ponte termico che viene inevitabilmente a generarsi in corrispondenza della testa del solaio, causa di successivi cambi di colore o formazione di condensa. Si può eliminare questo ponte termico interrompendo il solaio interpiano, nella parte terminale verso l'esterno, con materiale isolante, che, anche in questo caso, deve poter continuare sopra e sotto nella stratificazione muraria. Tecnicamente, si possono inserire delle strisce di isolante nel cassero prima

del getto del calcestruzzo. Oppure si può seguire la strada di realizzare la struttura orizzontale e lo strato portante completamente staccati dal rivestimento esterno in elementi di laterizio, agganciando lo stesso mediante ancoraggi metallici posizionati puntualmente nella muratura (*figura 4*): l'incidenza di tali ancoraggi sulle proprietà termiche della stessa è comunque trascurabile. Per quanto attiene la loro influenza sull'isolamento acustico, si può manifestare un modesto calo di prestazioni alle medio-basse frequenze. Tale riduzione, normalmente contenuta all'interno dell'incertezza di misura, può essere ritenuta anch'essa trascurabile nel caso di una parete di facciata contenente serramenti [5].

Nel caso dell'interfaccia fra il perimetro del serramento con la chiusura verticale esterna, è fondamentale interrompere il davanzale esterno da quello interno all'edificio, in corrispondenza dello strato isolante che taglia il ponte termico (*figura 5*). È inoltre opportuno isolare in modo appropriato la chiusura verticale in prossimità dei termosifoni, solitamente posizionati sotto le chiusure trasparenti; analoga attenzione va posta per i cassonetti degli avvolgibili: in tal caso, si interviene sul lato esterno per impedire infiltrazioni d'aria e umidità.

### Accorgimenti per la costruzione di involucri acusticamente protetti

L'ottenimento di buone prestazioni di isolamento acustico da parte di componenti edilizi è un problema strettamente connesso con la qualità e la metodologia della realizzazione in opera dei medesimi componenti. In particolare, per quanto attiene le prestazioni acustiche delle facciate, è noto come errate procedure di realizzazione, installazione, montaggio o giunzione dei diversi componenti (murature, serramenti, dispositivi per l'oscuramento e



*Figura 6 – Giunto “in luce” (a sinistra) e “a battuta” (a destra) per un serramento.*

per il passaggio dell'aria, ecc.) possano ridurre fortemente le prestazioni acustiche attese. Vengono pertanto riportate di seguito alcune indicazioni per la corretta esecuzione in opera delle partizioni in muratura.

#### *Giunzione tra i componenti di facciata*

La prestazione acustica delle facciate dipende fortemente dalle modalità di giunzione tra i vari componenti. Nel caso del montaggio dei serramenti, deve essere posta particolare attenzione al raccordo tra controtelaio (o telaio fisso) del serramento e vano murario. In generale sono possibili due modalità di giunzione: "in luce" o "a battuta" (figura 6).

In linea di massima, il giunto "a battuta", che può essere realizzato incrementando la dimensione del telaio della finestra di alcuni centimetri rispetto al vano finestra in corrispondenza del paramento esterno della muratura faccia a vista, offre migliori garanzie di tenuta acustica ed all'aria.

In ogni caso, la corretta realizzazione del giunto prevede le seguenti fasi operative [6]:

1. nel caso di finestre, si applica un cordolo di sigillante continuo (ad esempio silicone) in posizione di mezzeria del traverso inferiore; sulle estremità del cordolo deve essere previsto un leggero eccesso di materiale, per garantire l'effetto barriera anche ai lati del davanzale; nel caso dei giunti "a battuta", il sigillante deve essere posto anche sulle due spallette verticali "a battuta" e, se presente, anche sulla battuta superiore;
2. se il giunto è "in luce", dopo aver posizionato e fissato il serramento, è necessario applicare il supporto di fondo-giunto (in genere di polietilene espanso), continuo e di diametro opportuno, che, inserito nella fuga, esercita sulle pareti una pressione tale da resistere all'iniezione del sigillante espandente e permette di fissare la profondità di inserimento del sigillante conferendo ad esso la libertà di dilatazione o di contrazione;
3. si effettua la chiusura del giunto con materiale espandente (generalmente schiuma poliuretana espandente o strisce di materiale autoespandente) con funzioni riempitive;
4. si sigilla l'esterno e l'interno del giunto con un cordolo di materiale sigillante (ad esempio silicone).

Analoga cura deve essere posta nel montaggio dei cassonetti porta-avvolgibili che rappresentano, frequentemente, punti critici di notevole rilevanza per la prestazione acustica della facciata.

#### *Prese d'aria*

Forti problemi di isolamento acustico si riscontrano sempre nelle partizioni in cui siano presenti prese d'aria o forature di vario tipo. In particolare, ciò riguarda solitamente le facciate dei locali dove sono collocati apparecchi a fiamma libera (ad esempio, cucine a gas, bruciatori, ecc.). In base alla legislazione vigente (legge 46/90 e norme UNI CIG 7129), occorre che tali locali siano dotati di una presa d'aria in facciata avente una sezione libera non inferiore a 100 cm<sup>2</sup>. Inoltre, differenti normative raccomandano la presenza di aperture di ventilazione anche nelle facciate dei locali abitabili, per consentire un naturale ricambio dell'aria.

Per limitare la perdita di isolamento acustico, è necessario che tali prese d'aria siano dotate di dispositivi ad accorgimenti fonoisolanti.

*Trasmissione laterale tra ambienti interni adiacenti*

Uno degli aspetti più problematici per l'ottenimento di buone prestazioni acustiche da parte di pareti in muratura è la trasmissione sonora laterale, ovvero la trasmissione di energia sonora che coinvolge le strutture laterali della parete di separazione (normalmente posta tra distinte unità immobiliari). Particolarmente interessante nella realizzazione delle pareti doppie in elementi di laterizio, è la modalità di giunzione laterale delle stesse con la parete stratificata "faccia a vista".

In figura 7, sono riportate alcune possibili configurazioni del giunto tra una partizione interna a doppio strato ed una parete di facciata.

La configurazione A, quella più frequentemente praticata nelle costruzioni edili, presenta una significativa trasmissione laterale. Il tavolato interno della parete di facciata, dotato spesso di ridotta massa superficiale e non interrotto in corrispondenza del giunto strutturale, costituisce un percorso efficace di trasmissione sonora. Inoltre, il medesimo tavolato crea un ponte acustico tra i due tramezzi della parete interna, contribuendo a ridurre le prestazioni di isolamento acustico.

La configurazione C risulta ottimale poiché elimina il ponte termico presente nella soluzione B e riduce fortemente la trasmissione sonora laterale attraverso la parete di facciata. Questa configurazione, inoltre, consente di eliminare il ponte acustico tra i due tramezzi della partizione interna.

La soluzione C, più vantaggiosa delle altre, può essere realizzata anche interrompendo la continuità del tavolato interno della parete di facciata dopo che questo è stato realizzato (tagliandolo, ad esempio, con un flessibile). Il taglio realizzato può essere eventualmente sigillato, poi, con materiale elastico.

*Continuità dei giunti di malta e presenza di connessioni tra i tavolati*

La prestazione di potere fonoisolante di una parete doppia può essere fortemente compromessa dalla presenza di discontinuità nei giunti orizzontali o verticali tra i diversi elementi costituenti. In particolare, questo problema può essere ricorrente nelle pareti composte da mattoni ad elevata percentuale di foratura disposti a fori orizzontali. In questo caso, se l'ese-



Figura 7 – Alcune configurazioni del collegamento tra parete divisoria interna e parete di facciata a doppio strato in elementi di laterizio.

cuzione non è condotta con cura, i giunti verticali possono risultare solo parzialmente riempiti di malta. Le discontinuità presenti, creando dei ponti acustici, riducono significativamente la prestazione acustica della parete.

Nel caso delle pareti doppie, l'aggiunta di uno strato di intonaco sulla faccia rivolta verso l'intercapedine di uno dei due tavolati contribuisce a migliorare la sigillatura di tutti i giunti, oltre ad incrementare positivamente la massa della parete.

Anche le connessioni rigide tra i due tavolati della parete doppia possono ridurre la prestazione acustica, creando punti di trasmissione delle vibrazioni e rendendo il comportamento della parete analogo a quello di una parete monolitica. Tuttavia, come già evidenziato per le pareti di facciata, l'influenza di tale calo di prestazione assume minore rilevanza, dal momento che la trasmissione dei rumori è attribuibile principalmente ai serramenti ed ai punti di connessione tra i vari componenti della facciata stessa.

#### *Materiali fonoassorbenti*

Premesso che nella scelta dei materiali isolanti da collocare all'interno dell'intercapedine delle pareti faccia a vista prevalgono gli aspetti legati al comportamento termo – igrometrico della stratificazione complessiva, dal punto di vista acustico sarebbero da privilegiare i materiali caratterizzati anche da idonee proprietà fonoassorbenti.

Le pareti doppie in laterizio hanno un comportamento acustico che è determinato principalmente dalla legge della massa complessiva, dal momento che il disaccoppiamento tra i due tavolati (e quindi la possibilità di funzionare secondo il principio del sistema doppio disaccoppiato) è normalmente influenzato negativamente dalle giunzioni laterali e dagli eventuali elementi di connessione tra gli stessi.

Per tale ragione, dal punto di vista dell'isolamento acustico, gli eventuali materiali (termoisolanti) posti all'interno dell'intercapedine hanno la funzione di attenuare le riverberazioni acustiche all'interno della medesima intercapedine, ma non quello di fungere da elemento elastico di disaccoppiamento strutturale tra gli strati della parete.

La natura e lo spessore del materiale da collocare all'interno di un'intercapedine devono essere scelti in funzione del coefficiente di assorbimento offerto. Materiali fibrosi o porosi a celle aperte garantiscono solitamente buoni valori di assorbimento acustico. Viceversa, i materiali a celle chiuse sono spesso caratterizzati da bassi valori del coefficiente di assorbimento e non sono pertanto idonei a fornire un contributo significativo ai fini della prestazione acustica.

## 2|4 QUALITÀ AMBIENTALE DELLE SOLUZIONI IN LATERIZIO

di Adolfo F. L. Baratta

### Laterizio e ambiente

Le amministrazioni pubbliche di alcuni Paesi europei hanno elaborato delle regole per la valutazione della sostenibilità ecologica dei materiali edili e della loro applicazione. Seppure solo parzialmente, anche l'Unione Europea si è mossa per riconoscere l'importanza di una trasformazione ecologica della produzione edilizia, prima con la Direttiva 89/106/CEE, "Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione", e poi con il Regolamento 880/92/CEE, "Sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica", che prevede la costituzione di un marchio europeo denominato Ecolabel per la certificazione della ecocompatibilità dei prodotti, non solo per l'edilizia. In estrema sintesi, la sostenibilità di un prodotto è definita dal suo impatto ambientale durante l'intero ciclo della sua vita: un prodotto è tanto più sostenibile quanto minore è l'impatto ambientale, in termini di input (consumo di energia, risorse, ecc.) e output (produzione di rifiuti, ecc.), nelle fasi di estrazione, lavorazione, imballaggio, trasporto e distribuzione, posa in opera, uso e dismissione con l'eventuale smaltimento, riciclo o riutilizzo. La complessità e l'articolazione del settore produttivo rendono particolarmente difficile la valutazione della qualità ecologica dei materiali da costruzione e la stesura quindi di "ecobilanci" che tengano conto delle numerose variabili. In realtà, all'interno di ogni fase, si verificano molteplici scambi con l'ambiente, sia in entrata che in uscita. Essi sono legati all'utilizzo di materiali e prodotti derivanti da altre lavorazioni, al tipo di energia utilizzata, all'uso in fase di produzione di scarti di produzione di altre industrie o al riuso di elementi in laterizio all'interno di cicli produttivi di altri elementi che, a seconda del loro valore di scambio, aumentano o diminuiscono l'impatto ambientale dell'oggetto. Una nota pubblicitaria riguardante i materiali in laterizio recita "fatto solo con terra, acqua, aria e fuoco": questo è utile ad evidenziare come i prodotti in laterizio siano sani ed ecologici.

*Le prime analisi del ciclo di vita (il cui slogan "from cradle to grave" - dalla culla alla tomba - simboleggia la globalità dell'approccio dell'indagine) risalgono alla fine degli anni '60 dello scorso secolo, quando Harry Taesley, allora dipendente della compagnia Coca Cola, coordinò lo studio sui diversi contenitori per bevande: l'obiettivo della ricerca era quello di comparare differenti recipienti per determinare quale produceva il minore impatto sulle risorse.*

### Valutazioni ambientali

Per valutare l'impatto ambientale di un prodotto avvalendosi del Life Cycle Assessment (LCA, valutazione del ciclo di vita), una metodologia di analisi della produzione industriale, si deve considerare l'intero arco di vita così da stabilirne i diversi impatti sull'ambiente, diretti e indiretti. Proprio in questa ottica, la fase produttiva, comprensiva di scelta del sito, consumo energetico e materiale, emissione di sostanze nocive e recupero paesaggistico, rappresenta una tappa fondamentale per stabilire il grado di sostenibilità di un prodotto.

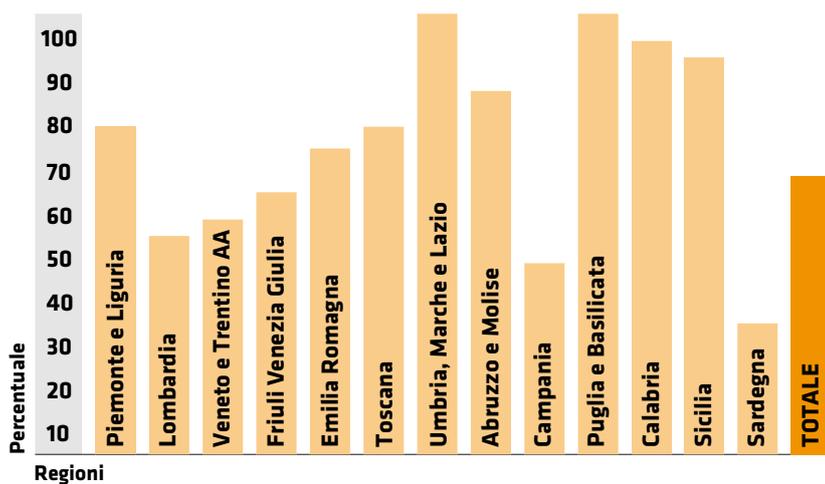
### Scelta del sito estrattivo

La scelta del sito estrattivo è uno dei passaggi più delicati dell'intero processo di produzione dei laterizi: la sua localizzazione, se adeguatamente valutata,

può contenere in maniera significativa gli effetti negativi sull'ambiente. La scelta della cava è condizionata da numerosi fattori che, partendo dalla qualità dell'argilla e dalle potenzialità di coltivazione, interessano la qualità del prodotto finito, i costi di lavorazione e di recupero dell'area. L'apertura e gestione di una cava è regolamentata dal Piano Cave che periodicamente le Regioni approvano: tale Piano tiene conto delle caratteristiche del terreno ed indica le aree da cui è possibile estrarre l'argilla.

Per prevenire il dissesto ambientale le autorizzazioni consentono di prelevare unicamente una circoscritta quantità di argilla e di scavare soltanto fino ad una profondità limitata. Gli enti locali (Comuni, Province e Regioni), attraverso funzionari e geologi, controllano periodicamente il rispetto dei vincoli e delle disposizioni dettate dalle autorizzazioni. Inoltre, sono sempre più frequenti le leggi e i regolamenti dell'Unione Europea che forniscono severe indicazioni a riguardo. Oltre alla disponibilità delle proprietà, aspetti condizionanti sono la distanza dell'impianto di estrazione dai siti utilizzati per le successive trasformazioni e la sua accessibilità e vicinanza alla rete stradale esistente.

La distanza da percorrere e le modalità di trasporto dei materiali, oltre ad un aggravio in termini di costi produttivi, producono un significativo impatto sulle infrastrutture stradali: oltre all'inquinamento acustico e atmosferico si segnala un incremento dei consumi energetici (figura 1). L'esperienza di molti produttori ha dimostrato come la distanza massima tra sito estrattivo e impianto di trattamento che garantisca comunque una convenienza economica per una azienda non deve essere superiore a 50,0 km circa.



**Fig 1. Percentuale di aziende che hanno le cave per l'approvvigionamento dell'argilla ad una distanza inferiore ai 10,0 km. Il ricorso a fonti di approvvigionamento dell'argilla distanti dalle fornaci può comportare un forte impatto ambientale, oltre che economico, dovuto al trasporto di materie prime. Fortunatamente la maggior parte delle Regioni italiane non denota problematiche particolari nel reperimento di argille in quanto le cave sono per lo più (il 65% del totale) a meno di 10,0 km dagli stabilimenti.**

## Prelievo delle risorse

Dopo l'incontrollato sfruttamento e gestione delle risorse naturali che per secoli ha trovato giustificazione nella convinzione che queste fossero illimitate, negli ultimi decenni si è diffusa la consapevolezza che il progresso tecnico-scientifico può trovare un limite nell'esauribilità delle risorse naturali e, più in generale, nella capacità di sopportazione dell'ambiente. In un primo momento, il basso costo delle materie prime in molti Paesi ha frenato le ricerche sui materiali alternativi motivandone i comportamenti con la presunta illimitatezza della disponibilità di materiali di escavazione quali, ad esempio, l'argilla. Successivamente, anche per effetto del crescente livello di inquinamento ambientale, nonché per la possibilità di esaurire le fonti di approvvigionamento indispensabili per lo sviluppo, sono stati rinnovati l'interesse e l'attenzione verso l'ambiente. In particolare, si è coscienti che il flusso di consumo dei materiali stia facendo diminuire drasticamente la changing capacity del pianeta, con il rischio di escludere definitivamente le possibilità di accesso allo sviluppo, inteso come miglioramento della qualità della vita.

*Già poco dopo la metà del secolo scorso, in Inghilterra, dove con la rivoluzione industriale lo sfruttamento di risorse naturali diventa sistematico, si poneva la cosiddetta **questione del carbone**. Si sosteneva che c'era un'urgente minaccia per le attività industriali britanniche a causa dei crescenti costi dell'estrazione di carbone, dovendo quest'ultimo essere estratto a profondità progressivamente maggiori e non prevedendo la disponibilità di combustibili alternativi. Una concezione, quindi, che riteneva che il materiale necessario alle attività produttive presente in natura fosse in quantità finite, anticipando, di fatto, la necessità che questo dovesse essere attentamente economizzato.*

Il processo estrattivo avviene tramite macchine per il movimento di terra, le quali, dopo aver rimosso lo strato superficiale, e averlo accantonato per riutilizzarlo nelle successive operazioni di ripristino, procedono all'escavazione degli strati di argilla sottostanti.

Accanto ad opere di mitigazione, quali l'impiego di barriere antirumore o l'utilizzo di materiale fonoassorbente applicato ad alcuni macchinari, sono stati sviluppati nuovi sistemi di lavorazione e tecnologie atte ad eliminare i problemi legati all'inquinamento acustico e ambientale. Proprio a tale fine, per circoscriverne l'impatto sull'ambiente e limitare i disagi per le persone che vivono nelle vicinanze della cava, il lavoro delle macchine escavatrici, la continua movimentazione dei terreni e i continui cambiamenti imposti alla morfologia dei luoghi, hanno richiesto l'individuazione di soluzioni mirate a:

- limitare la produzione di rumori e polveri, coprendo i depositi di materiale e bagnando i piazzali;
- controllare l'impatto visivo dell'area aprendo il fronte di scavo in modo da diminuirne la visibilità;
- tutelare le acque profonde e superficiali, costruendo bacini di sedimentazione per le acque utilizzate nel processo o quelle meteoriche;
- salvaguardare la fauna locale.

Le attuali stime sulla disponibilità reale delle risorse a cui l'edilizia ha tradizionalmente attinto ha spinto i produttori di laterizi a cercare di risolvere il problema riconnettendo in un circuito unitario e circolare i due poli estremi del ciclo di trasformazione e consumo del loro prodotto (risorse e rifiuti), allo scopo di utilizzare meglio le materie prime e non incrementare la già imponente massa di rifiuti.

## Impiego di additivi

Nel corso della storia, per ottimizzare le materie prime e modificare le proprietà dei prodotti, più volte sono stati impiegati diversi espedienti, primo fra tutti l'aggiunta di paglia sminuzzata nell'impasto di argilla, usata per ridurre inconvenienti nell'essiccazione ed abbassare la densità dell'impasto ceramico cotto. Ancora oggi per il desiderio di ampliare la gamma di produzione, oltre che per la necessità di rispettare le sempre più severe direttive in materia di estrazione e ricostruzione del territorio, persistono le condizioni favorevoli per tentare l'aggiunta di materiali additivi all'impasto argilloso. Questi additivi agiscono come materie prime ausiliarie o per migliorare le caratteristiche dei semilavorati, rendendone più facile la lavorazione, innalzando le caratteristiche prestazionali e la qualità del prodotto finito. Nel rispetto delle norme esistenti è possibile avviare a riciclaggio gli scarti di lavorazione o attraverso il riuso da parte della medesima industria, o utilizzandoli come prodotti vendibili ad altri settori industriali o ad altri utenti. Ciò apporta un considerevole beneficio ambientale in quanto non solo riduce gli oneri e i problemi connessi allo smaltimento, ma limita il consumo di risorse ed energia necessarie alla fabbricazione di prodotti aventi le stesse caratteristiche e non spreca quella incorporata nei materiali nei processi che li hanno prodotti. A tale proposito, scorrendo il D.Lgs. 05.02.1997, n. 22, "Attuazione delle direttive 91/156/CEE relativa ai rifiuti, 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi e 94/62/CEE relativa agli imballaggi e rifiuti di imballaggi", si scopre che l'industria dei laterizi, insieme ai cementifici e pochi altri soggetti, è nel ristretto elenco dei riutilizzatori privilegiati. Il settore dei laterizi nel 2000 ha prodotto 65.893 tonnellate di rifiuti a fronte di 256.411 tonnellate di scarti recuperati per un rapporto tra consumo e recupero di quasi 1 a 4, sicuramente tra i più alti in ambito produttivo. Gli additivi impiegati nell'industria dei laterizi, per migliorare il processo produttivo e le proprietà finali dei materiali, si possono dividere, secondo la loro composizione, in:

1. materiali combustibili (fanghi di cartiera, segatura di legno, scarti dell'estrazione e della lavorazione del carbone, scarti dell'industria tessile, ecc.);



2. materiali non combustibili (sabbia quarzosa, polveri e sabbie di pietre naturali, farina di vetro, sabbie di fonderia, ecc.).

I materiali combustibili presentano un elevato contenuto di sostanze organiche e/o carboniose che assicurano un significativo potere calorifico. Questi materiali concorrono alla produzione di laterizi apportando due grandi vantaggi: in primo luogo durante la combustione contribuiscono, con il loro apporto calorico, a ridurre automaticamente l'impiego di costosi carburanti primari e quindi a ridurre il consumo energetico; in secondo luogo, per la loro naturale attitudine a formare delle microcavità, contribuiscono a garantire un ulteriore accrescimento delle prestazioni termiche del prodotto finale. Per contro, tra i vantaggi dei materiali non combustibili, oltre a quello di potere avere alcune caratteristiche fisico-chimiche simili a quelle delle argille per laterizi, c'è quello di richiedere una minore quantità di acqua per assumere una buona lavorabilità e, di conseguenza, di ridurre i tempi necessari alla essiccazione dei manufatti. Tra le due soluzioni, l'emergenza energetico-ambientale degli ultimi decenni ha ovviamente privilegiato l'impiego di materiali combustibili, dando un forte impulso agli studi riguardanti il loro impiego che, in prospettiva futura, possono garantire un significativo risparmio energetico anche se utilizzati in quantità ridotte.

## Consumo e recupero energetico

A seconda delle caratteristiche richieste, le temperature di cottura degli elementi in laterizio oscillano tra i 800 e i 1.150 °C. L'incidenza del fattore energetico sulla determinazione del costo finale del prodotto finito ha sempre indirizzato gli operatori del settore ad una continua ricerca per il miglioramento degli strumenti produttivi attraverso l'uso di nuove tecnologie e l'ottimizzazione del ciclo produttivo (tabella 1).

È possibile mettere a punto un sistema produttivo che non solo consumi meno energia ma, poiché ottimizzato nelle varie fasi e nei suoi comportamenti, porti anche a costi di produzione minori. Le certificazioni ISO 14000, oltre alla procedura Emas, sono la dimostrazione di un interesse che persegue il risparmio energetico con la riduzione del peso ambientale della produzione. I dati indicano che, attraverso questo processo di ottimizzazione in atto, la quantità di energia utilizzata per unità di prodotto nell'industria dei laterizi, dal 1985 al 2001, si è ridotta del 25% circa. Numerose aziende hanno cercato di recuperare l'energia prodotta e, in particolare, il calore dei forni per il riscaldamento dell'aria degli essiccatoi. La diversa provenienza di materie aggiunte all'impasto originale contribuisce alla combustione con dei valori di potere calorifico molto diversi, che vanno da un minimo di 350 kcal·kg<sup>-1</sup> (ceneri volanti) ad un massimo di 4.500 kcal·kg<sup>-1</sup> (segatura): ovviamente le migliori prospettive concernono i materiali ricchi in sostanze organiche, in quanto la loro combustione in fase di cottura permette, anche se usati in quantità ridotte, un risparmio energetico significativo.

| N. | MATERIALE                     | ENERGIA DI PRODUZIONE MJ/KG |
|----|-------------------------------|-----------------------------|
| 01 | Alluminio                     | 25,0-45,0                   |
| 02 | Calcestruzzo gettato in opera | 150,0-220,0                 |
| 03 | Cemento                       | 2,3                         |
| 04 | Cemento fibra                 | 5,0-6,0                     |
| 05 | Laterizi                      | 7,6                         |
| 06 | Materie plastiche             | 1,7-2,7                     |
| 07 | Pietra importata              | 80,0-220,0                  |
| 08 | Pietra locale                 | 13,9                        |
| 09 | Rame                          | 5,9                         |
| 10 | Rame                          | 70,0-170,0                  |
| 11 | Vetro                         | 13,0                        |

Per l'attribuzione del proprio marchio di qualità bioecologico l'ANAB (Associazione Nazionale dell'Architettura Biologica) valuta i seguenti aspetti:

- impiego di risorse naturali;
- inquinamento dell'acqua, dell'aria e del suolo;
- inquinamento acustico, perdite di calore, radiazioni, campi elettromagnetici e radioattività;
- effetti su benessere e salute;
- effetti sulla biocenosi;
- vie di trasporto e modal spilt;
- imballaggio (peso, dimensioni,
- materiale usato, ritiro);
- manutenzione, conservazione,
- cura, durata;
- riciclabilità;
- possibilità di trattamento termico;
- idoneità allo smaltimento in discarica.

**Tab 1. Energia di produzione per i principali materiali da costruzione [fonte: Paoletta, A.; Minacci R. (a cura di) "Cambiamenti climatici ed edilizia", *Allegato di Attenzione*, Roma, n. 19 (aprile 2003), p. 19].**

## Emissioni nocive in fase produttiva

Relativamente al potenziale impatto ambientale dovuto alle emissioni di polveri e prodotti in fase di combustione, oramai tutti gli impianti produttivi presenti sul territorio nazionale sono dotati di sistemi di lavaggio dei fumi e abbattimento delle polveri. Alla ricerca per la riduzione di consumi energetici si è affiancata la preoccupazione per il tipo di energia utilizzata (provenienza da fonti rinnovabili o meno, costi ambientali per la sua produzione, distribuzione ed uso, ecc.). Le strategie messe in atto all'interno del settore produttivo tendono a utilizzare combustibili più economici ma anche più efficienti. L'incidenza dell'energia prodotta da oli combustibili è diminuita, dal 1985 al 2001, dal 65% al 17%, a tutto vantaggio di quella prodotta da gas metano passata, nello stesso periodo, dal 25% al 74%. Uno spostamento significativo, soprattutto se si considera il minor inquinamento che comporta l'uso del metano nei confronti degli oli combustibili. Il miglioramento degli impianti e le scelte sui combustibili si sono tradotti in una diminuzione delle quantità di anidride carbonica emessa (circa il 16% in meno dal 1985 al 2001) ed in una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di prodotto (circa il 35% dal 1985 al 2001).

## Recupero dei siti industriali

Spesso accade che le attività di sfruttamento del territorio seguano una logica di carattere puramente economico senza considerare le questioni ambientali. Fortunatamente, se da un lato l'amministrazione pubblica ha contribuito con l'emanazione di nuove disposizioni in materia di tutela ambientale che hanno colmato il vuoto legislativo esistente, dall'altro alcuni operatori economici hanno maturato una differente consapevolezza ecologica riducendo progressivamente l'impatto ambientale dei nuovi interventi antropici.

Una volta cessata l'attività produttiva, lo stabilimento, ove economicamente e tecnicamente fattibile, può essere riconvertito per ospitare nuove funzioni di pertinenza della nuova area realizzata sul sito della cava. Si viene così a ristabilire, tramite un progetto funzionale di ripristino e riuso, la continuità tra le diverse aree interessate alla produzione e l'immediato intorno.

Il progetto di recupero della cava deve, infatti, sempre originarsi dalle considerazioni proprie del luogo (delle sue caratteristiche naturali, delle serie vegetazionali, della fauna e dei corsi d'acqua presenti), dai caratteri insediativi e dalle modalità con cui si è proceduto all'estrazione dell'argilla (l'ampiezza, la profondità e la morfologia dello scavo, le caratteristiche e le quantità dei materiali rimasti sul sito). Al momento della chiusura di un sito estrattivo viene portato a compimento il progetto di recupero della cava che può essere volto o a ripristinare la situazione precedente o a nuove e diverse destinazioni. L'uso successivo per coltivazioni è definito in base ai caratteri morfologici delle cave ed alla loro localizzazione geografica: ad esempio, le cave a fossa non profonde, situate in aree coltivate, solitamente sono recuperate alla produzione agricola mentre la vicinanza ad aree urbane può aprire la riflessione su destinazioni più articolate.

Il recupero ambientale si configura comunque come un progetto generale di governo del territorio, nel cui ambito vanno inquadrate le attività di estrazione. Per rendere più rigorosa questa richiesta alcune Regioni italiane hanno introdotto il divieto di trasformazione dei siti estrattivi in discariche. Le aree estrattive determinano una interruzione strutturale e percettiva nell'unità paesaggistica interessata. È perciò inevitabile una attenta analisi ambientale preventiva che permetta di controllare gli effetti negativi derivanti dalla modifica del paesaggio. Le cave di pianura, le più diffuse, hanno un impatto ambientale sicuramente più contenuto rispetto alle cave collinari che, sebbene molto rare, richiedono interventi di recupero più complessi e delicati.

Nel corso dei decenni gli interventi di recupero finalizzati a definire aree verdi attrezzate, zone sportive, turistiche, naturalistiche, ad elevata fruibilità sono sensibilmente aumentati. Una volta terminata l'attività estrattiva le cave vengono riqualificate rimodellando il profilo paesaggistico e rendendo il terreno nuovamente disponibile. Per assicurarsi che questo avvenga sono stati predisposti due vincoli:

1. ancora prima del rilascio delle necessarie autorizzazioni le aziende interessate alle operazioni estrattive sono obbligate a predisporre un piano di recupero ambientale dell'area;
2. le stesse aziende devono depositare una garanzia bancaria per il ripristino ambientale dell'area attraverso fidejussioni.

La redazione contemporanea del progetto della cava di estrazione e di quello di ripristino ambientale è fondamentale perché, attraverso la loro integrazione, è possibile arrivare ad un processo unitario di estrazione e ripristino.

Le modalità e le fasi di estrazione vengono infatti definite tenendo conto delle azioni che dovranno essere compiute in seguito per recuperare i luoghi a seconda della loro futura destinazione. Nello stesso tempo è così possibile iniziare il lavoro sull'area variando in alcuni casi il tipo di coltivazione e modificandone la morfologia. I due progetti perciò, finalizzati all'estrazione e al recupero ambientale, si vengono a fondere fin dall'inizio in una serie di azioni e operazioni una anticipatrice dell'altra. Spesso la fase di ripristino è contemporanea alla fase di scavo: succede che durante l'escavazione alcune zone si rinverdiscono riducendo l'impatto visivo. Successivamente si ricorre allo sviluppo di una vegetazione cosiddetta pioniera affiancata da specie arboree simili a quelle preesistenti all'escavazione (o comunque autoctone) al fine di ripristinare la peculiarità della flora locale.



**Fig.3. Fase di tombamento di una cava con inerti e successiva piantumazione a pioppeto nell'area di una ex cava.**

## Requisiti e criteri di progettazione

Valutando la più recente panoramica architettonica si può rilevare la crescente attenzione riservata dai progettisti nei confronti dell'ambiente.

In alcuni Paesi dell'Europa centro-settentrionale tale rapporto ha condotto alla riconsiderazione dei processi edilizi in una prospettiva ambientalista generando la Baubiologie (biologia del costruire), una corrente che cerca di coniugare scienze naturali e architettura.

Ciò che unisce le diverse espressioni dell'architettura ecologica sono le risposte legate al benessere e alla salute degli utenti, alla salubrità dell'ambiente e alla protezione della natura. Tali esigenze, sempre presenti nella architettura storica, sono state per lunghi decenni trascurate a causa dello sviluppo di economie che tendono a ignorare i costi sociali legati alla dilapidazione di risorse naturali e al danno della salute degli uomini. Oltre che nella scelta di soluzioni meno invasive per l'uomo e per l'ambiente, in fase progettuale si dovrebbero prediligere materiali a minore impatto ambientale.

In quest'ottica il processo di costruzione può essere interpretato anche come il frutto di una successione di fasi strettamente correlate tra loro che richiedono la partecipazione di molti operatori che sono chiamati ad occuparsi della gestione dei materiali e dei componenti edilizi. Interessi e compiti risultano assai differenti, ma il ruolo di ogni soggetto coinvolto è fondamentale per la corretta gestione delle risorse materiche ed energetiche oltre che per la contrazione dei volumi da destinare alla discarica per effetto dell'incidenza del riciclaggio e del riuso. Nei loro rispettivi campi d'attività, i progettisti dovrebbero pertanto avere un'adeguata conoscenza dei materiali e delle tecnologie a disposizione. In questo senso, fra le diverse componenti che influenzano la scelta dei materiali, il progettista dovrebbe prediligere la loro longevità, così da ridurre quegli interventi di manutenzione e di sostituzione che troppo spesso producono rifiuti e consumano energia. I materiali tradizionali come il laterizio, che nel bacino mediterraneo è presente da sempre e che risulta

Il termine **Baubiologie** significa *biologia edile (bau, edilizia e biologie, biologia): il neologismo è stato coniato in analogia ai termini Bauphysik e Bauchemie, corrispondenti alla fisica e chimica applicate all'edilizia. Il principale interesse della Baubiologie, sorta in Germania negli anni Sessanta dello scorso secolo, è rivolto alla salute degli abitanti, al loro benessere fisiologico, psicologico e sociale: essa riconduce le principali cause di malessere nell'alienazione dell'uomo dalla natura e nello stile di vita delle società moderne. Proprio per questo motivo, in Germania la Baubiologie è considerata un movimento di consumatori piuttosto che di tecnici.*

radicato nel concetto stesso di durevolezza in architettura, garantiscono caratteristiche e prestazioni sicure e controllate. Il progettista può prediligere soluzioni che richiedono un minor impegno materico: così facendo, si riduce anche l'impatto della nuova costruzione nei confronti dell'ambiente per effetto di un minor consumo di materie prime. La valutazione sull'idoneità di un materiale, quindi, può passare attraverso l'esame della quantità di esigenze cui questo è in grado di rispondere simultaneamente: più funzioni svolge, meno sprechi di risorse generali e quindi anche ambientali si verificano. Sulla scelta dei materiali non deve essere trascurato il controllo di non nocività, al fine di evitare quei prodotti destinati a diventare rifiuti speciali al termine della loro "vita utile". Emerge, dunque, come il progettista svolga un ruolo strategico per la salvaguardia del benessere ambientale.

In relazione agli aspetti ambientali, sono sempre più frequenti i supporti informatici che agevolano le scelte progettuali. Uno dei più interessanti è senza dubbio quello messo a punto dall'Institut Für Industrielle Bauproduktion dell'Università di Karlsruhe: il programma permette di valutare il comportamento energetico ed ambientale del fabbricato e di confrontare il suo impatto al variare delle scelte progettuali. Inseriti i dati relativi alla tipologia, alle soluzioni tecnologiche e ai materiali impiegati, il programma visualizza un diagramma a cerchi concentrici che esprimono i valori di impatto delle stesse soluzioni per ciascuna categoria considerata (effetto serra, consumo di risorse, consumo d'acqua, consumo d'energia, tossicità per l'uomo, produzione di rifiuti, ecc.). I valori di impatto sono compresi tra 0 e 1: tanto più i valori si avvicinano all'unità tanto più accettabile è la soluzione (figura 4).

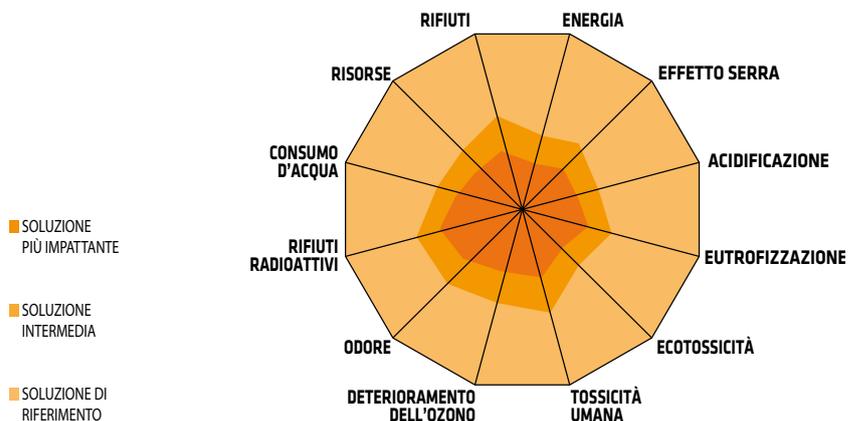
## Valutazioni ambientali sulla fase di posa in opera

In relazione alla natura specifica del materiale, il cantiere in laterizio presenta un livello ridotto di rischio ambientale perché produce poche polveri e rifiuti, non implica cattivi odori e, in virtù di processi di messa in opera che raramente richiedono il ricorso a lavorazioni pesanti e l'impiego di macchinari speciali, generalmente è poco rumoroso.

Nella fase di approntamento del cantiere, lo stoccaggio dei prodotti in laterizio non richiede particolari accortezze, dal momento che i prodotti in argilla non comportano nessun rischio per gli operatori del cantiere e per quanti vivono o lavorano nelle vicinanze del cantiere stesso.

Lo stoccaggio e la movimentazione richiedono semplici operazioni di protezione degli elementi, quali la sistemazione su superfici piane e asciutte, in modo da evitare il diretto contatto col terreno e il conseguente assorbimento di sostanze che possano causare efflorescenze o scarsa adesione con le malte, e la protezione dalla pioggia, così da evitare il danneggiamento da gelo nei mesi invernali.

**Fig 4. Simulazione di grafico realizzato con il software dell'Insitut für Industrielle Bauproduktion.**



Analogamente, in fase di costruzione pur essendo necessarie misure di protezioni personali (quelle che rientrano nella pratica corrente, come mascherine, guanti, ecc.) il sistema non può essere considerato di grande impatto ambientale.

L'attività di costruzione produce comunque rifiuti che, se non correttamente gestiti, costituiscono la principale voce negativa nel bilancio ambientale di questa fase del procedimento: si tratta in generale di "rifiuti puliti" quali le rimanenze di materiali (dovute ad esuberi negli ordini giornalieri), scarti di lavorazione, prodotti difettati e imballaggi. Per tali rifiuti inerti la normativa vigente consente il riutilizzo, previa valutazione della qualità ambientale, per la realizzazione di sottofondi, riempimenti e colmate, strati di fondazione, sistemazioni a verde, ecc., con la conseguente riduzione del volume da conferire in discarica.

Anche in questa fase il principale elemento di valutazione nel consumo di risorse è limitato dall'uso di acqua, necessaria per la preparazione delle malte e degli intonaci e per la bagnatura del laterizio.

## Valutazioni ambientali sulla fase d'uso

L'applicazione della Valutazione del Ciclo di Vita in fase d'uso comporta un approccio integrato che mette in relazione l'uso del prodotto e l'uso dell'edificio in cui il prodotto è collocato. Gli impatti generati da un edificio in fase di uso sono circa dieci volte superiori a quelli generati in fase di produzione e costruzione, per cui aspetti quali le prestazioni e la durabilità del prodotto risultano prioritari. Si consideri, inoltre, che è proprio nei luoghi confinati che l'uomo trascorre il 90% circa del proprio tempo.

Da alcuni anni, particolare attenzione è stata riservata al controllo dei rischi sanitari, misurando la qualità edilizia in relazione ai possibili disagi sulla salute generati dal costruito (sensazioni di malessere, fenomeni allergici, depressioni, stati d'ansia, stress, ecc.). Le mobilitazioni dell'opinione pubblica, che da anni si ripetono, sulla *Sick Building Syndrome* confermano questa crescente percezione dei rischi sanitari causati dagli inquinanti interni che portano alla valutazione di nuovi parametri quali l'emissione di composti organici volatili e semivolatili, l'emanaione di polveri, il comportamento all'umidità, la capacità di generare microrganismi, le emissioni radioattive, il comportamento in caso di incendio, ecc.

Relativamente all'impatto sulla qualità dell'aria, dalle ricerche condotte in molti Paesi europei si evince che i prodotti in laterizio si distinguono per una totale assenza di inquinanti durante la fase d'uso. A partire dal gennaio 2006 la certificazione energetica degli edifici (Direttiva 2002/91/CEE sul rendimento energetico nell'edilizia) è obbligatoria e il consumatore è chiamato ad utilizzare l'indicatore del consumo energetico (kWh/m<sup>2</sup> anno) per indirizzare la sua scelta abitativa.

Appare evidente come la regolamentazione termica abbia sempre più importanti ripercussioni sui materiali e sui sistemi costruttivi: l'importanza data ai ponti termici, alla trasmittanza e alla inerzia termica è sempre maggiore. Una progettazione energeticamente efficiente non può trascurare fattori quali, ad esempio, il ponte termico così da determinare un adeguato benessere e comfort abitativo oltre che di risparmio energetico. Il laterizio presenta anche una elevata permeabilità al vapore, che consente di mantenere una buona qualità dell'aria negli ambienti confinati.

Una costruzione in laterizio presenta un ottimo rapporto costi ambientali/benefici, soprattutto se rapportata alla vita utile dell'edificio. In sintesi, per i laterizi i consumi energetici e di risorse, le emissioni e la produzione di inquinanti che caratterizzano le fasi di produzione e costruzione sono largamente riassorbiti dai risparmi energetici e dal basso impatto ambientale conseguiti durante la fase in uso.

Con il termine **Sick Building Syndrome (SBS)**, o *Sindrome dell'edificio malato*, si descrivono situazioni in cui gli occupanti di un edificio lamentano generici disturbi di salute, non riconducibili ad una malattia o ad una causa specifica, avvertibili solo ed esclusivamente durante la permanenza all'interno di un fabbricato. I fattori riconosciuti come causa di questa sindrome sono la ventilazione insufficiente, la contaminazione chimica da fonti interne, la contaminazione chimica da fonti esterne, la contaminazione biologica, ecc. Questi elementi possono agire combinati tra loro o con altri fattori (come un difettoso controllo di temperatura, umidità, illuminazione e rumorosità ambientale) determinando una diminuzione del comfort ambientale ed un rischio non trascurabile per la salute. Gli occupanti lamentano sintomi riconducibili a sensazioni di disagio acuto, come ad esempio cefalea, irritazione di occhi, naso e gola, tosse secca, pelle disidratata, vertigini o nausea, difficoltà di concentrazione, affaticamento, particolare sensibilità agli odori, ecc.

**Fig 5. Massimo Gennari. Complesso residenziale, Cerbaia (FI) 2003-05.**



## Qualità dell'aria e sostanze inquinanti negli ambienti confinati

**Tab 2. Limiti massimi di accettabilità di inquinanti presenti nell'aria di ambienti confinati.**

**Legenda:**

**a: Comunità Economica Europea (CEE)**

**b: Health & Welfare (Canada)**

**c: Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)**

**d: Environmental Protection Agency**

**e: America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE, Stati Uniti)**

**1: Action level (livello di riferimento per le costruzioni esistenti)**

**2: Target level (livello da applicarsi alle costruzioni future)**

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità oltre il 30% degli edifici dei Paesi industrializzati presenta problemi di inquinamento interno che sono nocivi per gli utenti. In un edificio la salubrità dell'aria dipende da molti fattori quali la localizzazione, la scelta del terreno, la tipologia, le soluzioni tecniche, i materiali e i prodotti edilizi, gli impianti di climatizzazione, ecc.

L'aria degli ambienti confinati, che sempre più spesso risulta più inquinata di quella esterna, può contenere sostanze nocive di varia natura ed in concentrazioni tali da essere causa di malattie per l'uomo. Con riferimento allo statunitense ASHRAE 62-89 (*Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*) l'aria interna di qualità accettabile è definita come "l'aria in cui non sono presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose secondo quanto stabilito dalle autorità competenti e rispetto alla quale la maggioranza delle persone (almeno l'80%) non esprima insoddisfazione". Tale definizione di qualità dell'aria interna considera al contempo parametri oggettivi (concentrazione di contaminanti) e parametri soggettivi (insoddisfazione), questi ultimi valutati su base statistica. Il controllo della qualità dell'aria investe tutte le fasi del processo realizzativo, dal progetto alla costruzione (scelta dei materiali da costruzione e della tipologia impiantistica), dal collaudo alla gestione (adozione di strategie di controllo e gestione che garantiscano il mantenimento della qualità pianificata). La qualità dell'aria in un edificio è fortemente influenzata anche dal rispetto delle normative che disciplinano la realizzazione dell'edificio e da quelle che garantiscono la non nocività dei prodotti da costruzione.

|                 | AGENTE INQUINANTE                 | CONCENTRAZIONE MASSIMA                   | TEMPO DI ESPOSIZIONE      |
|-----------------|-----------------------------------|--|---------------------------|
| CO <sub>2</sub> | Anidride carbonica                | 6,3x(10 <sup>6</sup> ) µg/m <sup>3</sup> | Media annuale (b)         |
| CO              | Ossido di carbonio                | ≤10x(10 <sup>3</sup> ) µg/m <sup>3</sup> | 8 ore (c, e)              |
| NO <sub>2</sub> | Biossido di azoto                 | 100 µg/m <sup>3</sup>                    | Media annuale (b, d, e)   |
|                 |                                   | 150 µg/m <sup>3</sup>                    | 24 ore (c)                |
| SO <sub>3</sub> | Biossido di zolfo                 | ≤50 µg/m <sup>3</sup>                    | Media annuale (b)         |
| O <sub>3</sub>  | Ozono                             | 240 µg/m <sup>3</sup>                    | 1 ora (b)                 |
| VOC             | Composti Organici Volatili        | 30-50 µg/m <sup>3</sup>                  | Continua (d)              |
| HCHO            | Formaldeide                       | 120 µg/m <sup>3</sup> (1)                | Media annuale (b)         |
|                 |                                   | 60 µg/m <sup>3</sup> (2)                 | Media annuale (b)         |
| IPA             | Idrocarburi Policiclici Aromatici | 160 µg/m <sup>3</sup>                    | 3 ore (d)                 |
| Pb              | Piombo                            | 1,5 µg/m <sup>3</sup>                    | 3 mesi continuativi (d)   |
| Rn              | Radon                             | 400 µg/m <sup>3</sup>                    | Media annuale (a)         |
|                 |                                   | 200 µg/m <sup>3</sup>                    | Target futuro annuale (a) |

Oltre al suddetto statunitense standard ASHRAE, per la salubrità indoor si può fare riferimento alle raccomandazioni che il Canada ha elaborato in "Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality". Le sostanze che possono avere effetti dannosi sulla salute dell'uomo sono distinte in sostanze non cancerogene e sostanze cancerogene. Per il primo gruppo sono stati indicati valori quantitativi in termini di concentrazione mentre per il secondo le raccomandazioni sono relative a misure da adottare per ridurre il rischio espositivo. Più in generale, la tabella 2 riporta i limiti di accettabilità per le concentrazioni di sostanze inquinanti presenti nell'aria interna proposti da diversi enti normatori internazionali. In Italia i riferimenti normativi si limitano a pochi decreti che regolamentano i livelli massimi di inquinamento

esterno, quali il D.P.C.M. 28.03.1983, "Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno", modificato dal D.P.C.M. 24.05.1988, n. 203, "Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987 n. 183", ed il D.M. 12.11.1992, "Criteri generali per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico nelle grandi zone urbane e disposizioni per il miglioramento della qualità dell'aria".

## Emissioni nocive

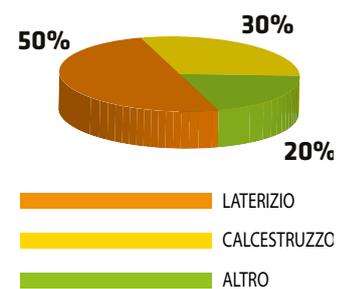
Gli inquinanti che interessano materiali come il laterizio possono essere di natura biologica, come ad esempio funghi e muffe, e di natura fisica, ovvero isotopi che emettono radiazioni ionizzanti. I funghi e le muffe si originano e proliferano su supporti idonei (organici, ecc.) per alte concentrazioni di umidità relativa ( $\geq 50\%$ ) e possono intaccare i rivestimenti delle pareti e dei soffitti in punti critici, quali i ponti termici, ove una struttura non ben isolata può dar luogo a fenomeni di condensa. I radioisotopi naturali, quali Uranio, Torio, Radio e Potassio, sono contenuti, oltre che nei materiali da costruzione (tufo, granito, cementi, argille, sabbie e marne), anche nel suolo e nell'acqua potabile di rete. Dal decadimento del Radio-226 per emissione di particelle alfa si origina il Radon-222; a sua volta questo gas decade originando i cosiddetti "radon daughters" (Polonio-218, Piombo-214, Bismuto-214 e Polonio-214) che, avendo emivite inferiori a 30 minuti ed essendo chimicamente attivi, possono attaccarsi alle particelle di polvere formando un aerosol radioattivo. I livelli di concentrazione di Radon negli ambienti chiusi dipendono da alcune caratteristiche dell'ambiente esterno ed interno. Fra le più importanti si possono ricordare la struttura geologica del terreno, le tecniche costruttive adottate, i livelli di ventilazione dell'edificio, i materiali utilizzati nell'edificio. La stima del contenuto di radionuclidi naturali (Radio-226, Torio-232 e Potassio-40) nei materiali da costruzione è fondamentale al fine della valutazione del rischio espositivo per l'uomo, espresso in termini di accettabilità di radiazione gamma. L'introduzione di una soglia di esposizione potrebbe limitare la dose di irradiazione gamma proveniente dai materiali da costruzione a 1,5 mGy. Verificando la seguente espressione si ottiene la conformità relativa alla irradiazione gamma:

$$(A_{Ra}/370) + (A_{Th}/259) + (A_K/4810) < 1 \text{ (Bq/kg)}$$

dove:

- A attività specifica media del nuclide per i materiali dell'abitazione, espressa in Bq/kg;
- Ra Radio-226;
- Th Torio-232;
- K Potassio-40.

I risultati dell'indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, condotta dall'ISS (Istituto Superiore di Sanità) e dall'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) su un campione di oltre 8.000 abitazioni, hanno dimostrato come la concentrazione interna di Radon nelle abitazioni ed i livelli di radiazione (gamma), attribuibili ai materiali da costruzione, siano sensibilmente inferiori al livello massimo indicato dalle Raccomandazioni della Comunità Europea. Da questa e altre indagini è emerso che fra i materiali a più alto contenuto di radioattività si collocano materiali lapidei quali il tufo ed il granito, mentre i laterizi, il cui contenuto di radioattività è influenzato dalle caratteristiche dell'argilla e dalla provenienza della stessa, possono essere considerati materiali a basso contenuto di radionuclidi risultando pertanto poco attivi nell'apporto di Radon all'interno delle abitazioni.



**Fig 6. La quantità di macerie miste contenenti laterizio è pari al 50% del totale.**

## Valutazioni ambientali sulla fase di dismissione



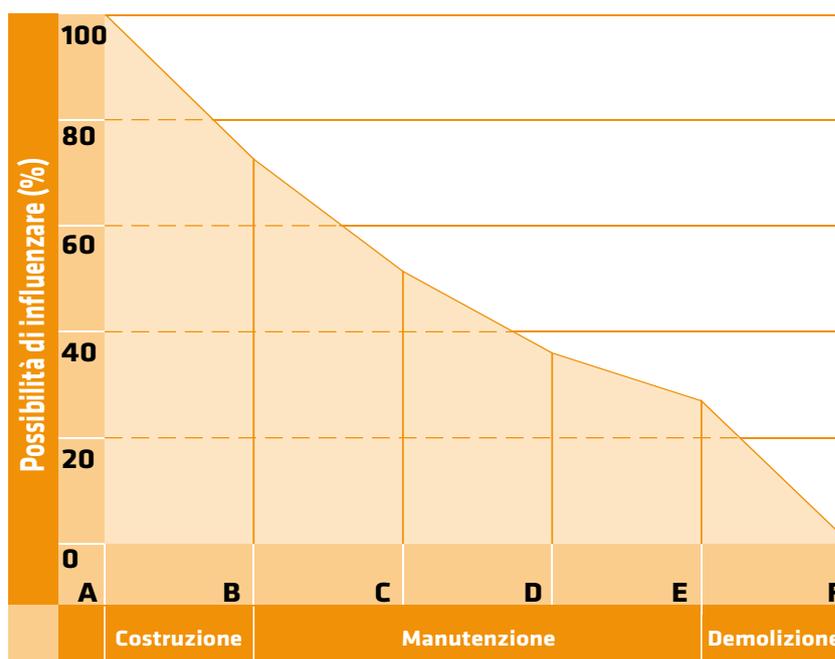
**Fig 7. Complesso residenziale Taviel a Saint-Omer (F).**  
Nel dettaglio, immagine dei mattoni recuperati e accatastati in attesa del reimpiego.

Il sistema di gestione dei rifiuti attualmente in uso, derivanti dalla demolizione degli edifici al termine della loro vita utile, produce una quantità notevole di macerie miste contenenti laterizio (figura 6). Tali macerie possono essere comunque utilizzate in una serie di applicazioni, alcune delle quali sono già pratica corrente nel settore delle costruzioni. Quando possibile, ad esempio, gli elementi in laterizio vengono riutilizzati: è questo il caso della cinquecentesca prigione di Saint-Omer in Francia da cui sono stati recuperati molti dei materiali impiegati per realizzare sullo stesso sito i 49 alloggi del complesso Taviel (figura 7). Perché tutto questo possa avvenire, il recupero non deve essere distruttivo bensì “sostenibile” dato che è necessario che i componenti mantengano la loro fisionomia iniziale per poter essere reimpiegati senza che le operazioni di ripristino diventino troppo lunghe e costose. Una grande quantità di prodotti edilizi è già reperibile nei depositi delle diverse Borse dei rifiuti. In assoluto, perché un prodotto riciclato sia accettato sul mercato deve rispettare almeno i seguenti requisiti:

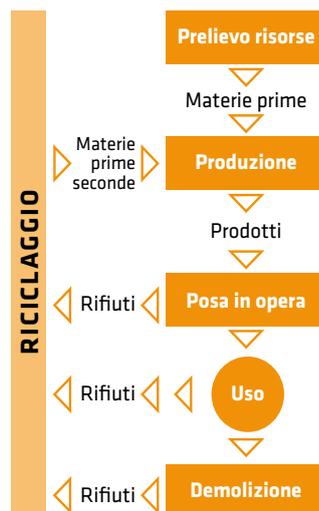
1. deve garantire delle prestazioni in opera non inferiori a quelle ottenute con prodotti tradizionali;
2. il prezzo del prodotto riciclato, materia prima seconda, deve essere competitivo con quello dello stesso prodotto ottenuto con materie prime.

Purtroppo capita spesso che il costo della raccolta e del trattamento renda il prezzo delle materie prime seconde non concorrenziale con quello delle materie prime, ponendo così molti problemi di carattere tecnico per la quantità e le caratteristiche delle sostanze da trattare. Tuttavia, verificate le caratteristiche tecniche quali, ad esempio, la resistenza a compressione, anche le macerie edilizie che non contengono elementi integri possono essere riutilizzate. Adeguatamente frantumato il laterizio può essere trasformato in inerte ed impiegato come tale per i riempimenti di scavi o la realizzazione di sottofondi di pavimentazioni e costruzioni stradali. Il laterizio, sempre in qualità di inerte, può essere inoltre utilizzato anche per la produzione di elementi per murature o, come avviene abitualmente in molti Paesi europei, per la produzione di terra per campi da tennis. Una delle soluzioni più indicate è quella che prevede l'impiego di laterizio frantumato come substrato per il giardinaggio (dalla terra alla terra). Tutte queste soluzioni sfruttano però soltanto parzialmente le potenzialità del laterizio come materia prima seconda.

**Fig 8. Possibilità (%) di influenzare la qualità e la quantità di rifiuti prodotti nella fase di costruzione (A-B), di manutenzione (B-E) e demolizione (E-F). La prima fase viene detta di “azione” mentre le ultime due sono definite di “reazione”.**



Le ricerche più avanzate in questo settore, anche se ancora in fase embrionale, come quelle effettuate in Germania e nel nostro Paese, si muovono in una nuova direzione: l'ambizioso traguardo è quello di concepire un nuovo elemento per murature realizzato interamente con laterizio riciclato. Le prime prove in tale senso confermano che per la realizzazione di elementi con caratteristiche meccaniche contenute, quindi per elementi di partizione interna o tamponamento esterno, le qualità specifiche di questi prodotti garantiscono prestazioni non inferiori a quelle ottenute con i prodotti abituali.



**Fig 9. Ciclo di vita ideale di un prodotto in laterizio.**

#### Bibliografia essenziale

- AA.VV. *Guida all'industria estrattiva e al riciclaggio*, IV edizione, edizioni Pei, Parma 2002.
- ANDIL *Laterizio e natura. La Riqualificazione Ambientale delle Cave d'Argilla*, Edizioni Laterservice, Roma 2005.
- ANDIL *Secondo Rapporto Ambientale dell'Industria Italiana dei Laterizi*, Edigraf, Roma 2005.
- Bonadè, A.; Lusignani, G. *Cave di argilla: coltivazione, recupero ambientale, sicurezza*, Andil, Roma 2000.
- ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale delle abitazioni*, Istituto Superiore di Sanità 1994.
- Omodeo Salè, S. *Verdeauero dell'architettura*, Maggioli editore, Rimini 1997
- Paoletta, A. Minacci R. (a cura di), *Cambiamenti climatici ed edilizia*, Allegato di Attenzione, n. 19, Roma 2003.
- Rigamonti, E. *Il riciclo dei materiali in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini 1996.
- Torricelli, M. C. (responsabile scientifico), *Analisi del ciclo di vita di prodotti in laterizio. Fasi di post-produzione*, Ricerca ANDIL - Dip.TAeD, 2004-06.

#### Riferimenti normativi

- D.P.C.M. 28.03.1983, "Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti nell'aria dell'ambiente esterno".
- D.P.R. 24.05.1988, n. 203, "Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 87 n. 183".
- Direttiva 89/106/CEE, "Direttiva del Consiglio del 21 Dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione".
- Regolamento 880/92/CEE, "Sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica".
- D.M. 12.11.1992, "Criteri generali per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico nelle grandi zone urbane e disposizioni per il miglioramento della qualità dell'aria".
- D.Lgs. 05.02.1997, n. 22, "Attuazione delle direttive 91/156/CEE relativa ai rifiuti, 91/689/CEE relativa ai rifiuti pericolosi e 94/62/CEE relativa agli imballaggi e rifiuti di imballaggi".
- D.M. 27.07.2004, "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Integrazione della voce 13.18, Allegato 1, Suballegato 1, del decreto 5 febbraio 1998, recante individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero, ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22".

M. Chiara Torricelli, Caterina Gargari, Elisabetta Palumbo

# Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali

**Laterlife è uno strumento di calcolo *on line*, tra breve gratuitamente disponibile sul sito [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it), in grado di fornire all'utente per una determinata soluzione costruttiva in laterizio, definita componendo strati di elementi tecnici in spessori variabili, i valori corrispondenti alle prescrizioni normative in materia di risparmio energetico, qualità dell'aria, inquinamento acustico, nonché i parametri descrittivi della qualità ambientale secondo l'approccio LCA**

Il progetto edilizio si trova oggi ad affrontare problematiche che impongono una visione integrata di più aspetti prestazionali e un approccio proiettato oltre le condizioni specifiche del contesto, siano esse legate al sito in cui l'opera verrà realizzata o all'impiego che ne verrà fatto. Questa complessità investe l'insieme delle attività tecnologiche e delle trasformazioni che ne derivano, ma nel settore delle costruzioni ha assunto una rilevanza a tutti ormai nota nelle sue motivazioni: impatto sull'uso delle risorse energetiche e materiali, importanza della qualità dell'ambiente costruito per garantire la qualità della vita, incidenza economica sul PIL e sul totale della forza lavoro, globalizzazione dei mercati, ecc. Le normative tecniche per l'edilizia, cogenti e non, hanno messo in evidenza questa complessità, fornendo utili strumenti di supporto al progetto, ma al contempo generando un quadro di riferimento spesso poco efficace e non facile da applicare, proprio per la numerosità delle norme stesse e la loro continua evoluzione. “*Better Regulation: simplification strategy*” è un'impostazione che la Commissione Europea stessa ha lanciato nel 2005<sup>(1)</sup> e che sta portando ad una ormai prossima revisione della Direttiva Prodotti da Costruzione (89/106/EEC) che diventerà Regolamento (CPR)<sup>(2)</sup>. In questo quadro, gli aspetti legati alle problematiche del risparmio energetico, dell'ambiente, della sostenibilità in genere sono diventati centrali per il progetto degli edifici e per il mercato dei prodotti. Tra questi, particolare attenzione viene posta nei confronti di ambiti specifici, quali:

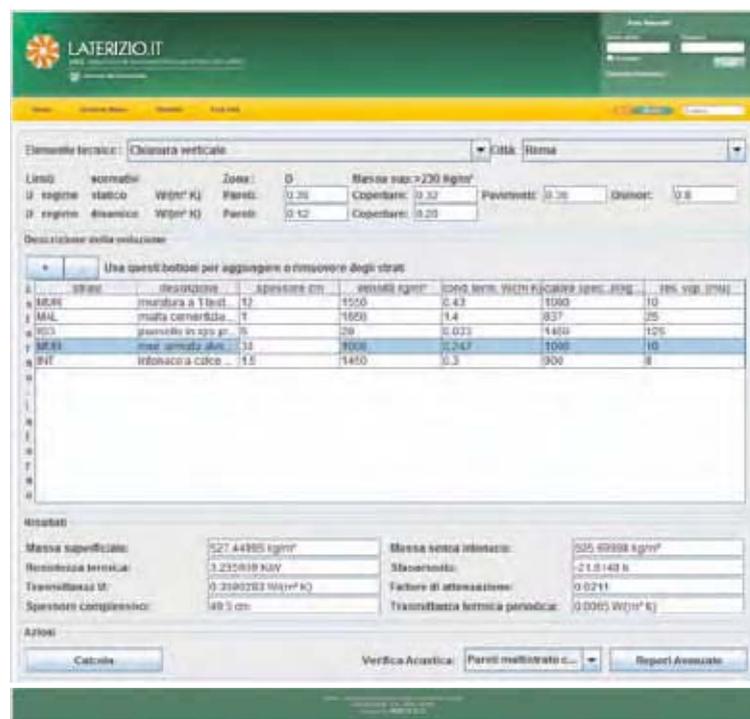
- l'efficienza energetica degli edifici;
- la protezione contro il rumore;
- la riduzione delle emissioni dannose e, *in primis*, dei “gas a effetto serra” (CO<sub>2equivalenti</sub>) imputabili alle costruzioni e al loro utilizzo e dismissione;

- l'uso sostenibile delle risorse energetiche naturali.

Il tema dell'efficienza energetica degli edifici in ambito europeo è normato in rapporto al “consumo di energia durante l'utilizzazione dell'opera” senza pregiudicare il “benessere termico degli occupanti”. Da tale criterio ha avuto origine la Direttiva sulle “prestazioni energetiche degli edifici, sulla certificazione energetica e sul controllo degli impianti”, alla quale l'Italia si è adeguata con le disposizioni contenute nei D.lgs. 192/2005, D.lgs.311/2006 e i nei successivi DPR attuativi<sup>(3)</sup>. La Direttiva europea sulle prestazioni energetiche degli edifici (EPBD) è attualmente in fase di revisione e la nuova versione, che dovrebbe essere rilasciata nel 2010<sup>(4)</sup>, oltre ad estendere le disposizioni ad un più ampio ambito del recupero, introduce i concetti di “livello ottimale di costo nel ciclo di vita” delle soluzioni impiantistiche e tecniche<sup>(5)</sup>, per il rispetto delle prestazioni energetiche, e di edifici a “zero energia e zero CO<sub>2</sub>”.

La protezione contro il rumore in ambiente abitativo è un requisito “passivo” degli edifici i cui livelli prestazionali di riferimento vanno ricondotti nel quadro più ampio delle disposizioni in materia di inquinamento acustico e rumore ambientale<sup>(6)</sup>. In relazione alle recenti normative su questo argomento, il Governo dovrà riformare le norme in materia, di cui al DPCM 5 dicembre 1997: la situazione è quindi al momento sospesa in un quadro normativo in evoluzione. Per quanto riguarda la riduzione dei gas a effetto serra e, più in generale, dell'impatto dannoso sull'ambiente e sulla salute dovuto alle costruzioni, al di là di quanto viene prescritto nelle norme relative alle prestazioni energetiche nelle fasi di uso degli edifici, la problematica viene ancora affrontata in ambito di norme non cogenti e di sistemi di certificazione, richiamati ormai sempre più spesso in capitolati e specifiche per gli appalti di opere pubbliche e nei criteri per le incentivazioni. In relazione a ciò, la

Commissione Europea ha dato mandato all'Ente di Normazione Europea (CEN) nel 2004 di "individuare un metodo per la diffusione volontaria di informazioni ambientali a supporto della costruzione di opere sostenibili, tanto per i nuovi interventi che per il costruito esistente"<sup>(7)</sup>. Su questo obiettivo sta lavorando il CEN TC 350 ed entro il 2011 saranno emanate le norme definitive per armonizzare le "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD) che, in diversi contesti nazionali, costituiscono già un efficace strumento di certificazione, e i metodi di valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici. Tali norme fanno riferimento alla valutazione nel ciclo di vita, *life cycle* (LCA), della sostenibilità ambientale e permettono di qualificare le prestazioni ambientali con riferimento ad indicatori di impatto, riconosciuti come significativi e scientificamente fondati. L'impatto ambientale delle costruzioni, valutato nell'intero ciclo di vita (dalla produzione alla dismissione) è oggetto anche del 7° requisito essenziale introdotto dal nuovo Regolamento europeo sui prodotti da costruzione (CPR), precedentemente citato, concernente appunto l'uso sostenibile delle risorse naturali in edilizia, declinato in termini di: a) riciclabilità delle opere e dei materiali, b) durabilità delle opere, c) uso di materie prime e secondarie, ambientalmente compatibili. Quanto detto evidenzia come l'attuale sistema di regolamenti e norme, pur importante per la sostenibilità del costruito, vada ad incrementare una struttura normativa che già si presenta in molte parti pletorica e incongruente e che, dai livelli sovranazionali a quelli locali, crea barriere e frammentazioni che certo non favoriscono la sostenibilità delle costruzioni e non promuovono la ricerca di soluzioni efficaci. L'introduzione dell'approccio *life cycle* applicato alle prestazioni ambientali è senza dubbio uno strumento valido, ma progettisti, committenti, consumatori devono poterlo utilizzare in modo semplice, senza che per questo esso perda la sua validità scientifica. È questa la sfida raccolta da ANDIL, l'Associazione italiana dei produttori di laterizi: informare adeguatamente e allo stesso tempo semplificare, perché chi deve decidere di promuovere la sostenibi-



1. L'homepage del software Laterlife.

lità delle costruzioni (committenti, progettisti, imprese, enti locali, ecc.) abbia a disposizione dati utili ed efficaci per operare. Le ricerche, condotte dal 2005 per conto di ANDIL dal Dipartimento Tecnologie dell'Architettura e Design (TAeD) "Pierluigi Spadolini" dell'Università di Firenze, hanno permesso di mettere a punto uno strumento informatizzato tra breve disponibile *on line* per la qualificazione energetica-acustica-ambientale di soluzioni tecniche in laterizio. Lo strumento, che si avvale di una banca dati riferita a prodotti italiani, permette di definire differenti tipologie di pareti, solai, coperture e di quantificarne i livelli prestazionali forniti, confrontandoli con le disposizioni normative vigenti. Esso è concepito per poter essere aggiornato con i dati che scaturiscono dal suo

## 1 Le verifiche effettuate dal software Laterlife

| verifica    | norma            | indice  | unità di misura                     |
|-------------|------------------|---|-------------------------------------|
| Termica     | DPR 59/2009      | Massa superficiale $M_s$                                      | [kg/m <sup>2</sup> ]                |
|             | DPR 59/2009      | Trasmittanza termica U  | [W/m <sup>2</sup> K]                |
|             | DPR 59/2009      | Trasmittanza termica periodica $Y_{FE}$                       | [W/m <sup>2</sup> K]                |
|             | DM 26/06/2009    | Sfasamento s  | [h]                                 |
|             | DM 26/06/2009    | Fattore di attenuazione $f_a$                                 | [--]                                |
| Igrometrica | DPR 59/2009      | Tabella delle pressioni di saturazione                        | [Pa]                                |
|             |                  | Tabella della quantità di condensa accumulata per strato/mese | [kg]                                |
| Acustica    | DPCM 5/12/1997   | Potere fonoisolante $R_w$                                     | [dB]                                |
| Ambientale  | TC 350 prEN15804 | Acidificazione  | [kg SO <sub>2</sub> eq]             |
|             |                  | Eutrofizzazione   | [kg PO <sub>4</sub> --- eq]         |
|             |                  | Riscaldamento globale (GWP <sub>100</sub> )                   | [kg CO <sub>2</sub> eq]             |
|             |                  | Riduzione dello strato di ozono (ODP)                         | [kg CFC <sup>11</sup> eq]           |
|             |                  | Ossidazione fotochimica                                       | [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ] |
|             |                  | Uso di risorse energetiche in produzione                      | [MJ eq]                             |

## 2 Stratigrafia verificata della soluzione tecnica 1.

| codice |  | spessore [cm] | densità [kg/m <sup>3</sup> ] | conducibilità termica [W/mK] | calore specifico [J/kgK] | resistenza al passaggio del vapore [m] | durata di vita [anni] |
|--------|--|---------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|--|-----------------------|
| MUR    | muratura a 1 testa in laterizio pieno faccia a vista                   | 12,00         | 1550                         | 0,430                        | 1000                     | 10,00                                  | 90                    |
| MAL    | rinzaffo con malta di calce e cemento                                  | 1,00          | 1650                         | 1,400                        | 837                      | 25,00                                  | 35                    |
| ISO    | strato termoisolante con pannelli in XPS                               | 5,00          | 28                           | 0,033                        | 1450                     | 125,00                                 | 50                    |
| MUR    | muratura in laterizio alleggerito in pasta murato a malta tradizionale | 30,00         | 1006                         | 0,247                        | 1000                     | 10,00                                  | 90                    |
| INT    | intonaco a calce e gesso   | 1,50          | 1450                         | 0,300                        | 900                      | 8,00                                   | 35                    |

stesso impiego e a seguito di variazioni intervenute in sede normativa. Il progettista, in fase di pre-progetto esecutivo, può utilizzare questo strumento per orientare le scelte progettuali; il committente, in fase di programmazione di un intervento, può associare alle soluzioni tecniche rispondenti alle norme i costi e le prescrizioni di capitolato; l'impresa può utilizzare lo strumento per formulare le proposte in procedure di aggiudicazione basate sull'offerta "più vantaggiosa".

**Il software *Laterlife***, disponibile gratuitamente per gli utenti del sito [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it), si propone quale strumento in grado di valutare il profilo ambientale di soluzioni tecniche in laterizio, intendendo come tale la valutazione di tutti quei parametri, relativi alla soluzione tecnica stessa, che ne definiscono e caratterizzano le *performance* dal punto di vista termico, igrometrico, acustico ed ecologico.

Il profilo ambientale, definito attraverso l'uso dello strumento, consente quindi all'utente di confrontare contemporaneamente le prestazioni di una o più soluzioni, in risposta non soltanto ad istanze di tipo normativo (DPR n. 59/2009; DM 26/06/2009; Legge n. 447/1995, dopo la sospensione del DPCM 5/12/1997), ma anche ad esigenze più ampie di scelta e verifica della compatibilità ambientale dei prodotti e delle soluzioni adottate nel progetto in un'ottica di ciclo di vita. *Laterlife*, quindi, è in grado di qualificare, con una unica operazione di calcolo, la soluzione tecnica che l'utente definisce componendo strati di elementi tecnici in spessori variabili, restituendo i valori corrispondenti alle prescrizioni normative in materia di risparmio energetico, qualità dell'aria, inquinamento acustico, oltre ai parametri descrittivi della qualità ambientale del componente secondo l'approccio LCA.

Il *tool*, sulla base della procedura di calcolo descritta più avanti, può effettuare, per le soluzioni tecniche individuate dall'utente, le verifiche delle caratteristiche e delle prestazioni riportate in tabella 1. Mentre per le verifiche di tipo igrometrico ed acustico il riferimento per i modelli di calcolo è stato dedotto dalle normative nazionali vigenti e dalle specifiche norme tecniche UNI, non essendo ad oggi disponibile una banca dati LCA dei materiali da costruzione, il gruppo di ricerca del TAeD ha condotto una indagine specifica sul mercato italiano al fine di costruire, in armonia con le indicazioni del prossimo standard per l'elaborazione di "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD), in fase di redazione presso il WG3 del CEN/TC 350, un *database* omogeneo di dati ambientali attraverso l'impiego del software Simapro e a partire dalle banche dati internazionali disponibili. I *record* presenti nella banca dati sono stati analizzati e modificati (in termini di scenari e processi) in relazione alle informazioni specifiche relative alle modalità di produzione dei materiali selezionati, raccolte direttamente presso aziende. In riferimento ai prodotti in laterizio, in particolare, sono stati impiegati i profili ambientali specificatamente elaborati dal gruppo di ricerca, su incarico di ANDIL, a partire dai dati sensibili forniti dagli stessi produttori<sup>(8)</sup>.

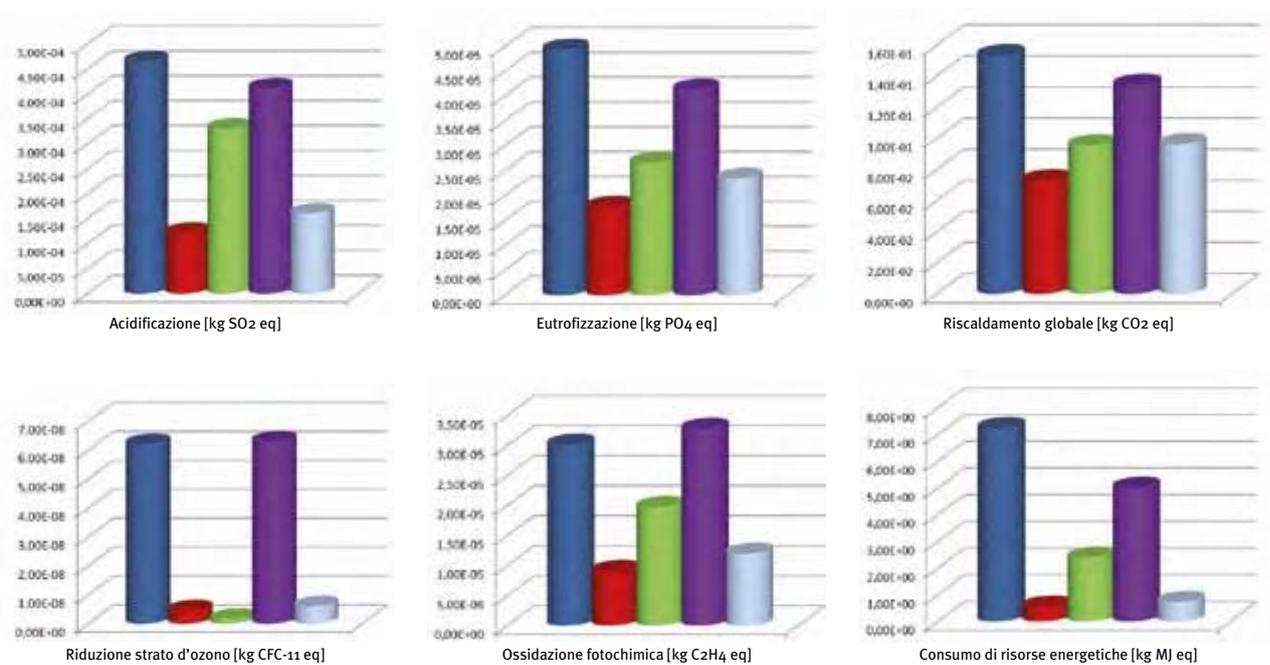
L'architettura del software è strutturata su apposito *database*, che l'utente può consultare al fine di comporre le diverse soluzioni tecniche specifiche, articolato in quattro distinte sezioni: dati geografici, dati climatici, normativa e materiali.

Attraverso la combinazione dei diversi elementi, l'utente è in grado di simulare e verificare il comportamento ambientale dei principali elementi di involucro selezionati.

**Il *database*** Ai fini del calcolo delle prestazioni ambientali della specifica soluzione tecnica, poiché il prodotto in laterizio generalmente concorre alla prestazione dell'elemento tecnico componendosi con altri i materiali per realizzare una stratificazione più o meno complessa (muratura e solaio), i dati relativi a tali soluzioni sono stati aggregati con quelli dei materiali complementari (ad esempio, malta, getto in cls, armatura). I dati primari relativi alle caratteristiche geometriche ed igrotermiche dei prodotti in laterizio (dimensioni, spessore, densità, conducibilità termica equivalente, calore specifico, resistenza alla diffusione del vapore, peso del laterizio, peso della malta) sono stati ricavati direttamente dalla documentazione tecnica delle aziende. Per quanto riguarda la caratte-

## 3 Profilo prestazionale della soluzione tecnica 1.

|                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Massa superficiale                | 527,45 [kg/m <sup>2</sup> ] |
| Massa superficiale senza intonaco | 505,70 [kg/m <sup>2</sup> ] |
| Spessore totale                   | 49,50 [cm]                  |
| Resistenza termica                | 3,236 [m <sup>2</sup> K/W]  |
| Trasmittanza termica              | 0,309 [W/m <sup>2</sup> K]  |
| Trasmittanza termica periodica    | 0,007 [W/m <sup>2</sup> K]  |
| Sfasamento                        | 21,61 [h]                   |
| Fattore di attenuazione           | 0,0211 [-]                  |
| Potere fonoisolante               | 56,443 [dB]                 |



2. Profilo LCA della soluzione tecnica 1. Il totale è calcolato, per ognuno dei 6 indicatori, sulla base dell'impatto annuo valutato in relazione alla vita utile del materiale e successivamente ponderato al rapporto tra il valore  $Y_{IE,lim}$  e il valore  $Y_{IE}$  di progetto. **Legenda:** ■ MUR ■ MAL ■ ISO ■ MUR ■ INT

rizzazione del profilo ambientale dei prodotti in laterizio, è stata eseguita una valutazione degli impatti nel ciclo di vita di blocchi, normali e alleggeriti, per muratura, blocchi per solaio, mattoni per faccia a vista, elementi per coperture, a partire dai dati specifici laterizio forniti dall'Associazione di categoria. Analogamente, sono stati selezionati dal mercato materiali complementari correntemente impiegati nella realizzazione di soluzioni costruttive in laterizio, privilegiando prodotti con prestazioni standard, che presentano però qualità ambientali dichiarate.

### Il foglio di calcolo on-line delle prestazioni ambientali

L'interfaccia web di *Laterlife*, accessibile dal portale dell'ANDIL ([www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)), agevola l'utente nella procedura di valutazione della soluzione tecnica prospettata. Una guida al software, contenente tutte le informazioni dettagliate sui contenuti del *database*, sulle procedure di calcolo e sulle modalità di lettura e interpretazione dei risultati ottenuti, è scaricabile in formato PDF direttamente dalla pagina iniziale. Attraverso questa maschera, è possibile comporre la stratigrafia dell'elemento da verificare; per questo, all'utente si richiede, inizialmente, di selezionare dalla finestra a scomparsa la località di riferimento e la tipologia di soluzione tecnica da verificare (chiusura verticale, chiusura orizzontale, partizione verticale, partizione orizzontale). Successivamente, è chiamato a comporre la stratigrafia della soluzione selezionando prima la categoria di elemento e successivamente, all'interno della categoria selezionata, il materiale preferito tra quelli compresi nell'elenco. Selezionando la categoria "custom", l'utente può inserire un nuovo materiale non presente in banca dati, purché abbia a disposizione

tutti i dati richiesti dal software per il calcolo specifico.

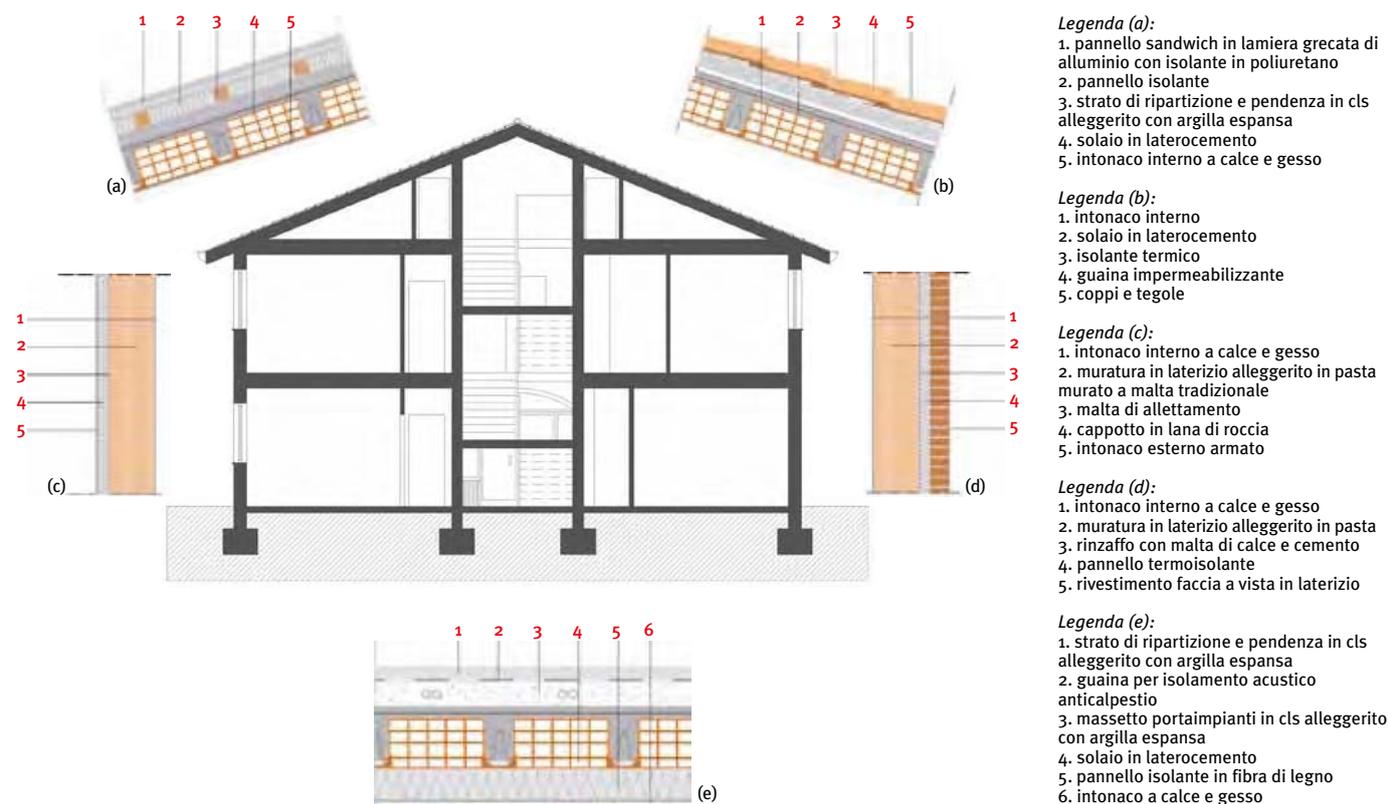
Una volta inseriti correttamente tutti gli strati, il software calcolerà in maniera automatica i valori di massa superficiale  $M_s$ , trasmittanza termica  $U$ , trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$ , sfasamento  $s$  e fattore di attenuazione  $f_a$ .

In questo modo, prima di procedere con il calcolo completo dei restanti parametri igrometrici, acustici ed ambientali, l'utente può verificare la rispondenza della prestazione alle esigenze progettuali e ai requisiti minimi previsti dalla normativa nazionale cogente ed apportare le eventuali modifiche alla stratigrafia, prima di generare il report completo del profilo ambientale.

Terminata questa prima fase, è possibile generare il documento PDF del profilo ambientale completo della soluzione tecnica, che include le indicazioni di *input* fornite (tab. 2), i valori delle prestazioni termiche, igrometriche e acustiche (selezionando la procedura di calcolo idonea; tab. 3), nonché il profilo LCA (fig. 2), da salvare, se lo si desidera, su supporto personale.

Il software si propone quale strumento di supporto alla progettazione, in grado di offrire al progettista non soltanto una verifica dei dati prestazionali significativi delle soluzioni tecniche di involucro previste dal progetto, ma soprattutto gli elementi utili al confronto tra soluzioni alternative sulla base del profilo ambientale in relazione alla prestazione termica in regime estivo.

Tenendo conto, infatti, della specificità climatica dell'ambito mediterraneo, i risultati del profilo LCA delle soluzioni vengono riellaborati dal software in relazione alla durata di vita utile di ogni singolo materiale e, successivamente, ponderati sulla base del rapporto tra la trasmittanza termica periodica limite  $Y_{IE,lim}$ , prevista dalla



3. Il caso studio. Progetto per una residenza: sezioni e dettagli esecutivi delle configurazioni di involucro.

normativa nazionale, e il valore della trasmittanza termica periodica di progetto  $Y_{IE}$ .

Il caso studio, considerato nel seguito, riporta l'analisi comparata di un progetto per una residenza, con struttura a telaio in cls e tamponamento in muratura, per la quale sono state messe a confronto due diverse soluzioni di tamponamento, calcolate a parità di trasmittanza termica  $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ :

- tamponamento in laterizio alleggerito con rivestimento in laterizio faccia a vista
- tamponamento in laterizio alleggerito con cappotto esterno e due diverse soluzioni di copertura (valutate anch'esse a parità di trasmittanza termica  $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ ):
- copertura ventilata isolata con manto in elementi di laterizio
- copertura isolata con manto in lamiera grecata.

I grafici da fig. 4 a fig. 7 riportano i valori comparati dei profili ambientali delle quattro soluzioni tecniche, relativi ai due indicatori di impatto di riferimento: riscaldamento globale e consumo di risorse energetiche. La valutazione generale, che premia, per il tamponamento di chiusura verticale, la *performance* della soluzione faccia a vista e, per la copertura, quella con manto in elementi di laterizio, è condizionata principalmente dalla diversa vita utile dei materiali: la maggiore durata degli elementi in laterizio comporta infatti, nella prospettiva di una vita utile prevista dal progetto per l'edificio di almeno 80 anni, una riduzione significativa degli impatti ambientali tenuto conto delle operazioni di sostituzione e manutenzione. Nel

contesto mediterraneo, la scelta della soluzione con rivestimento in "faccia a vista", combinata alla migliore prestazione termica in regime estivo, indica, infatti, una diminuzione di circa il 55% degli impatti relativi al surriscaldamento globale e del 21% del consumo di risorse. Analogamente per la copertura, pur avendo entrambe le soluzioni pari trasmittanza e massa superficiale, la soluzione in laterizio risulta maggiormente vantaggiosa in termini ambientali, con un risparmio che si attesta nell'ordine dell'80% per quanto concerne il riscaldamento globale e del 30% in riferimento all'uso di risorse.

**Conclusioni** Il software *Laterlife* si propone quale strumento in grado di rispondere e soddisfare le crescenti necessità progettuali di disporre di un numero sempre maggiore di informazioni "quantificate" e comparabili sulle caratteristiche di materiali ed elementi tecnici, in risposta alle esigenze di un mercato edilizio e di uno scenario progettuale sempre più orientati verso la sostenibilità ambientale. Dall'analisi dei dati numerici e dei grafici, il progettista è in grado di ricavare tutte le informazioni utili alla caratterizzazione della *performance* energetica ed ecologica della soluzione scelta e di tracciare, conseguentemente, un profilo ambientale dell'edificio nel suo complesso in relazione allo scenario definito.

Il *tool* si propone anche un secondo e più ampio obiettivo scientifico, ovvero di costituire uno strumento di indagine e classificazione dei profili ambientali della pratica corrente del costruire in laterizio, dato che è in grado di archiviare le valutazioni generate dagli

**Legenda (a):**

1. pannello sandwich in lamiera grecata di alluminio con isolante in poliuretano
2. pannello isolante
3. strato di ripartizione e pendenza in cls alleggerito con argilla espansa
4. solaio in laterocemento
5. intonaco interno a calce e gesso

**Legenda (b):**

1. intonaco interno
2. solaio in laterocemento
3. isolante termico
4. guaina impermeabilizzante
5. coppi e tegole

**Legenda (c):**

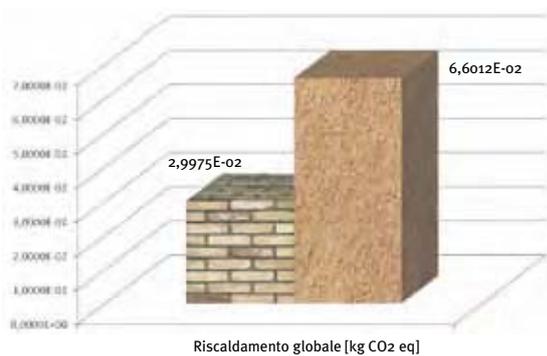
1. intonaco interno a calce e gesso
2. muratura in laterizio alleggerito in pasta murata a malta tradizionale
3. malta di allettamento
4. cappotto in lana di roccia
5. intonaco esterno armato

**Legenda (d):**

1. intonaco interno a calce e gesso
2. muratura in laterizio alleggerito in pasta murata a malta tradizionale
3. rinzaffo con malta di calce e cemento
4. pannello termoisolante
5. rivestimento faccia a vista in laterizio

**Legenda (e):**

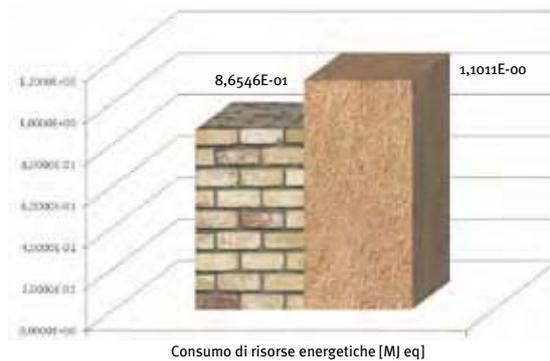
1. strato di ripartizione e pendenza in cls alleggerito con argilla espansa
2. guaina per isolamento acustico anticalpestio
3. massetto portaimpanti in cls alleggerito con argilla espansa
4. solaio in laterocemento
5. pannello isolante in fibra di legno
6. intonaco a calce e gesso



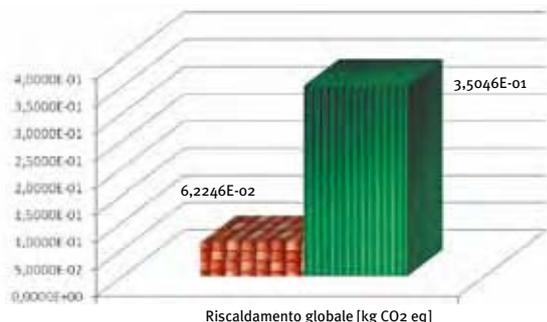
■ tamponamento in muratura di laterizio alleggerito con rivestimento faccia a vista

■ tamponamento in muratura di laterizio alleggerito con cappotto esterno

#### 4. Soluzioni di muratura a confronto: *riscaldamento globale*.



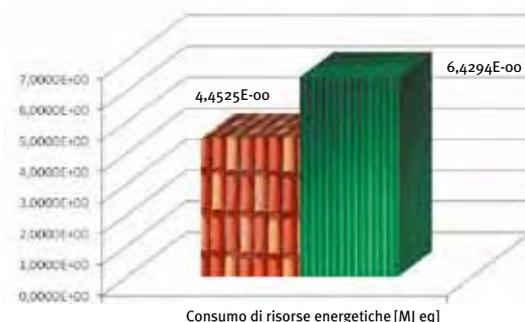
#### 5. Soluzioni di muratura a confronto: *consumo di risorse*.



■ copertura ventilata isolata con manto in coppi e tegole

■ copertura isolata con rivestimento in lamiera grecata

#### 6. Soluzioni di copertura a confronto: *riscaldamento globale*.



#### 7. Soluzioni di copertura a confronto: *consumo di risorse*.

utenti per le diverse soluzioni tecniche simulate.

L'analisi di questo *database* ampliato consentirà da un lato di individuare le soluzioni tecniche che costituiscono la pratica corrente (BAU, *Built As Usual*) e la migliore pratica (BAT, *Best Available Technologies*), in termini di spessori, stratigrafia e materiali impiegati, dall'altro di ottenere una esauriente raccolta delle *performance* delle suddette soluzioni come valori caratterizzanti per determinati contesti climatici. Per quanto in specifico riguarda la prestazione ecologica calcolata in termini di LCA (*cradle to gate*), dall'analisi di tale *database*, sarà quindi possibile ricavare una scala di *benchmark*, attualmente assente in letteratura e nelle stesse disposizioni normative, particolarmente interessante per sviluppare sistemi di etichettatura e di punteggio in fase di forniture per appalti orientati al *Green Procurement* (acquisti verdi). Ciò permetterà di elaborare una tabella dei profili LCA di soluzioni tecniche in laterizio, che potrà costituire il primo strumento nazionale di giudizio "quantificato" della sostenibilità ambientale di sistemi edilizi, basato sull'approccio LCA. ¶

#### Note

1. European Commission (2005), COM (2005) 535 final: *A Strategy for Simplification of the Regulatory Environment*, Brussels.
2. Construction Product Regulation -CPR-, cfr. Commission of the European Communities "Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of the construction products" (il nuovo CPR dovrebbe uscire nel 2010).
3. D.lgs. 192/05, "Attuazione della Direttiva 2002/91/CE"; D.lgs. 311/06, "Disposizioni correttive al D.lgs.192/05"; DPR 59/09; DM 26/06/2009 (linee guida nazionali).

4. Directive P6\_TA(2009)0278 Energy performance of buildings – recast.

5. "Cost-optimal level" significa, secondo la nuova direttiva, il livello al quale l'analisi costi-benefici calcolata sull'intero ciclo di vita è positiva, considerando il valore attuale netto dell'investimento, i costi di gestione e manutenzione, eventuali guadagni da produzione di energia e i costi di fine vita.

6. Decreto Legislativo 19/08/ 2005 n. 194 "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale".

7. European Commission: Standardization Mandate to CEN - M/350 EN, *Development of horizontal standardized methods for the assessment of the integrated environmental performance of buildings*, marzo 2004.

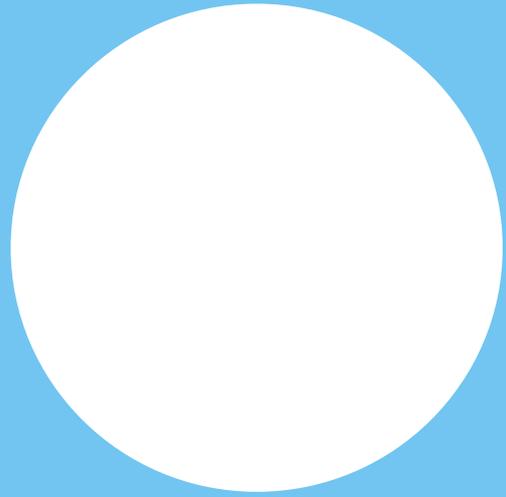
8. Confini del sistema per l'analisi LCA sono stati stabiliti sulla base della regola "cradle to gate" ed includono quindi tutti i processi a partire dalla fase di approvvigionamento delle materie prime fino al confezionamento del prodotto prima dell'uscita dal cancello dello stabilimento di produzione. Non includono la fase di trasporto del materiale al cantiere, né alcuno scenario di fine vita, né il contributo della soluzione tecnica all'impatto ambientale durante la fase di uso dell'edificio in cui è collocata. L'analisi tiene in considerazione il consumo di risorse primarie, energetiche e di materiali, le emissioni in aria e in acqua lungo l'intero ciclo di vita. Il *mix* energetico impiegato negli scenari si riferisce al contesto italiano.

#### Bibliografia

1. Torricelli M.C., E. Palumbo (2008), *Soluzioni tecniche in laterizio per progettare nel ciclo di vita*, Costruire in Laterizio, n. 125, pp. 61-69, ISSN: 0394-1590.
2. Torricelli M.C. (2007), *I vantaggi per i produttori e il ruolo delle imprese*, in: Neri P. (a cura di), *Linee guida per un approccio life cycle alla progettazione eco-sostenibile degli edifici*, pp. 43-45, Firenze, Alinea Editrice, ISBN/ISSN: 978-88-6055-174-0.
3. Torricelli M.C., C. Gargari, E. Palumbo (2007), *The life cycle assessment of italian clay brick products*, in: CIB, iSBE, UNEP.TURIN, 7-8 giugno 2007, n. 1, pp. 319-328, ISBN/ISSN: 10 88-7661-748-5.
4. Torricelli M.C., C. Gargari, E. Palumbo (2007), *Valutazione ambientale nel ciclo di vita dei prodotti in laterizio*, Costruire in Laterizio, n. 116, pp. 158-166, ISSN: 0394-1590.







**Tecnologia**



Andrea Campioli\*

# Proctor e Matthews in dettaglio

**La ricercata articolazione tridimensionale della tessitura dei rivestimenti in mattoni dei progetti di Proctor e Matthews propone declinazioni sempre inedite del tema della muratura faccia a vista.**

La sperimentazione condotta sul tema del rivestimento in mattoni faccia a vista in laterizio possiede un'evidente centralità nella ricerca progettuale dello studio londinese Proctor e Matthews. Ogni progetto costituisce infatti l'occasione per interpretare con originalità la storia plurimillenaria dell'impiego del mattone come elemento di rivestimento, tanto sul piano formale, cimentandosi con la messa a punto di soluzioni di tessitura muraria sempre nuove, quanto dal punto di vista tecnico-costruttivo, attraverso una meticolosa ricerca rivolta alla caratterizzazione del mattone, alle modalità di assemblaggio, alle possibilità di ibridazione tra logiche costruttive con retroterra culturali anche molto diversificati. La cura del dettaglio assume poi un ruolo particolarmente significativo in tre progetti residenziali, ai quali, non a caso, negli anni 2012, 2013 e 2014, è stato conferito il Brick Award promosso dall'inglese Brick Development Association.

Il progetto più recente è quello del complesso residenziale Abode, situato nell'insediamento di Great Kneighton, nella periferia sud di Cambridge, completato nel 2014. La sua articolazione prende forma dall'idea di strutturare un fitto tessuto residenziale a partire da un grande spazio a corte, la «great court», che riprende il tema delle corti di Cambridge. A partire da questo spazio, che presenta un evidente carattere urbano, si sviluppa un tessuto che ricerca una stretta relazione con il verde e le cui architetture evidenziano una interessante reinterpretazione del vernacolo locale, anche nella definizione del dettaglio costruttivo.

Gli edifici che delimitano la «great court» ospitano le residenze collettive e i servizi di quartiere; presentano una struttura in c.a. parzialmente prefabbricata e un tamponamento a doppia parete con muratura interna in blocchi, intercapedine isolata e paramento esterno in mattoni faccia a vista. Quest'ultimo è realizzato con mattoni di colore giallo con tessitura a cortina che, in corrispondenza degli ingressi agli alloggi assume un carattere tridimensionale attraverso la posa di mezzi mattoni semipieni di colore bruno disposti di testa a sporgere dal filo della facciata. Dal punto di vista del dettaglio la cura della tessitura muraria è affiancata da un preciso disegno dei para-

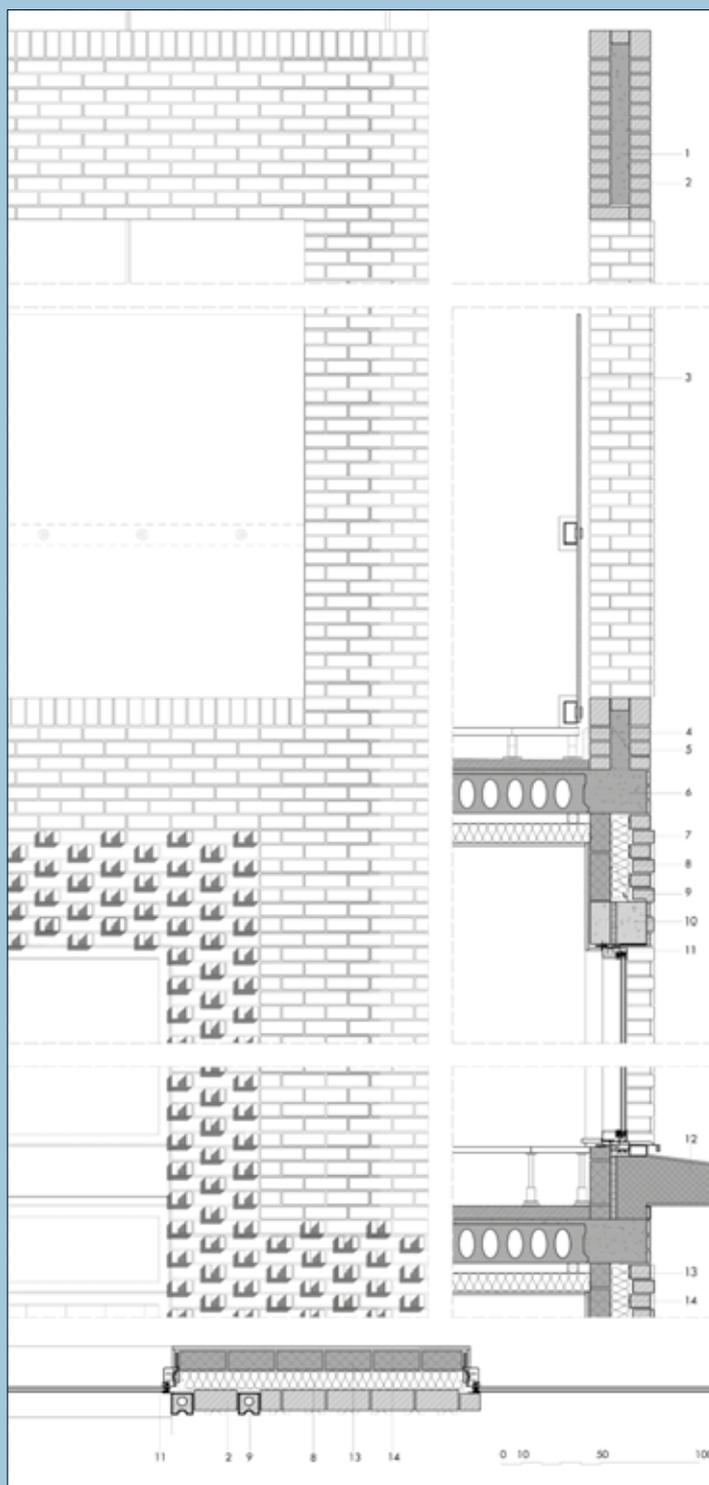
petti vetrati e del rivestimento in lamiera metallica forata che caratterizza la parte alta degli edifici.

Il complesso di edilizia sociale Hargood Close, realizzato nel 2013 a Colchester, nell'Essex, presenta, a una scala più ridotta, temi analoghi a quelli elaborati nella «great court» di Abode. L'intervento è costituito da una serie di corpi di fabbrica a due piani con differenti tipologie di alloggi disposti intorno a spazi cortilizi. Dal punto di vista del dettaglio anche in questo caso è stata riservata grande attenzione alle tessiture murarie che prevedono l'impiego prevalente di mattoni laterizi di colore rosso con alcune porzioni in mattoni di colore bruno e all'accostamento tra murature, parti metalliche ed elementi di cls lasciati a vista. L'aspetto caratterizzante è tuttavia costituito da elementi di tamponamento a traforo che si alternano a lastre di vetro nel delimitare il ballatoio di distribuzione agli alloggi del piano superiore.

Infine, nel progetto delle 337 unità abitative di Horsted Park, realizzate a partire dal 2010 nel Kent, due miglia a sud dei centri di Chatham e di Rochester, l'impiego del rivestimento in mattoni faccia a vista su una struttura lignea a telaio costituisce un evidente riferimento alle modalità costruttive dell'edilizia rurale del luogo. Se dal punto di vista della strategia insediativa l'obiettivo del progetto è quello di realizzare un tessuto con ampie aperture visive nei confronti del paesaggio circostante, dal punto di vista architettonico il progetto mira alla messa a punto di una serie di tipologie residenziali a partire da una radicale rivisitazione delle caratteristiche tipologiche e costruttive degli edifici rurali della campagna del Kent. Il progetto si fonda sulla ripetizione di forme semplici, quasi astratte, ma fortemente radicate nell'immaginario collettivo del luogo, per la cui costruzione viene utilizzata una tradizionale struttura rivestita in mattoni. Il rivestimento è costituito da una muratura in mattoni faccia a vista a una testa disposti con tessitura a cortina che presenta in corrispondenza degli ingressi mattoni posati di testa a sporgere dal filo facciata. Ed è proprio questo innovativo studio del dettaglio della tessitura muraria a caratterizzare il progetto di Horsted Park rispetto alla prassi costruttiva delle murature in mattoni faccia a vista, pervenendo a un risultato di grande interesse, tanto da essere riproposto in molti progetti successivi.¶

\* Andrea Campioli  
Professore Ordinario, Politecnico di Milano

*The sophisticated tridimensional articulation of the texture of the brick claddings in projects by Proctor and Matthews always offers new variations of the theme of exposed masonry*



**Dettaglio 1**

Sezione verticale orizzontale e prospetto del secondo piano e del piano terrazza degli edifici della «great court».

**Descrizione**

Il rivestimento è realizzato con mattoni di colore giallo con tessitura a cortina. In corrispondenza degli ingressi agli alloggi esso assume un carattere tridimensionale attraverso la posa di mattoni semipieni di colore bruno a tre fori tagliati a metà, disposti di testa a sporgere dal filo facciata. La particolare geometria di questo mattone determina un'ulteriore articolazione volumetrica della cortina muraria.

**Legenda:**

1. setto in c.a.
2. rivestimento in mattoni faccia a vista in laterizio
3. parapetto in vetro
4. pavimento sopraelevato
5. guaina impermeabile
6. solaio prefabbricato completato in opera
7. controsoffitto isolato
8. isolamento
9. mattone speciale in laterizio posato di testa a sporgere
10. architrave
11. serramento in alluminio
12. pensilina in cls prefabbricata
13. muratura di tamponamento
14. rivestimento interno



Vista della «great court» e dettaglio del fronte degli edifici verso la corte interna.

**Dettaglio 2**

Sezione verticale e prospetto del ballatoio di distribuzione; sezioni orizzontali dei diversi corsi in corrispondenza della muratura con i setti a traforo.

**Descrizione**

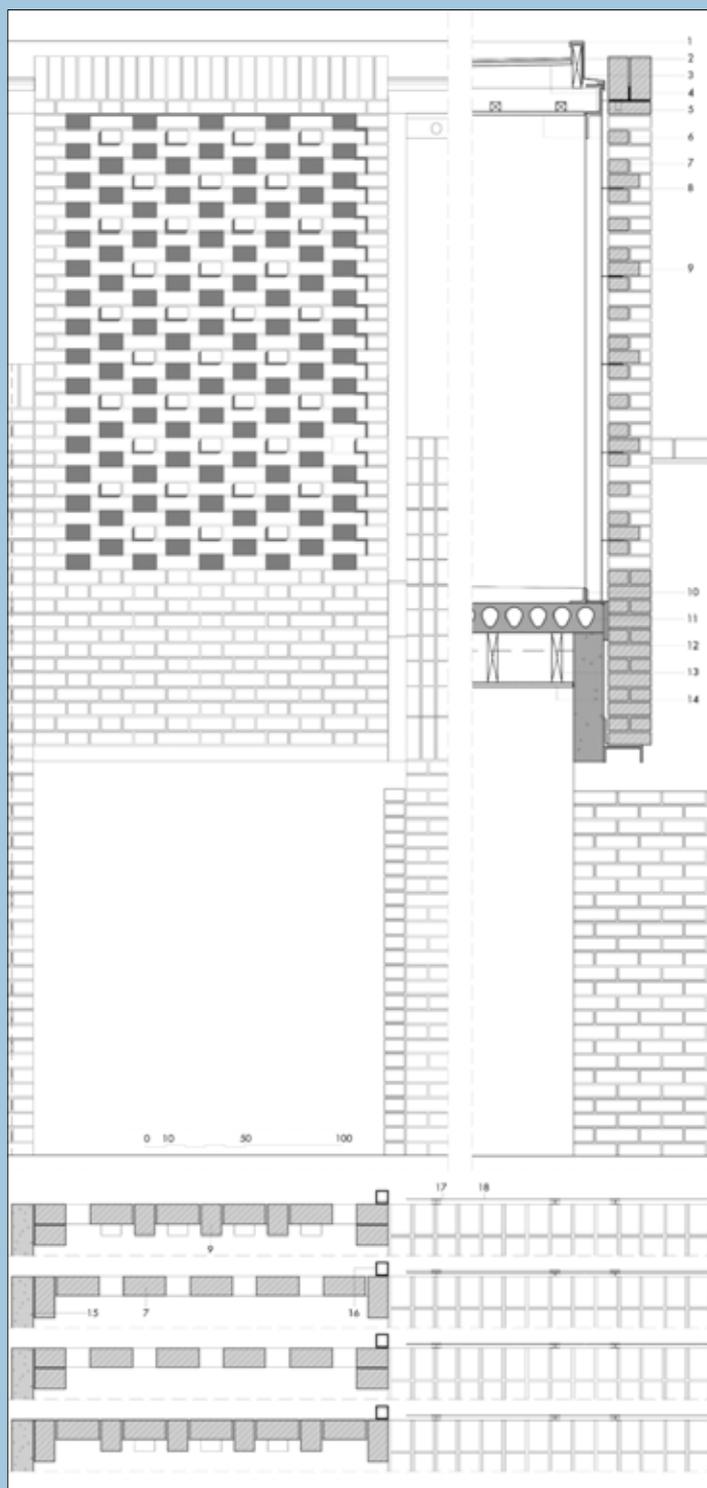
La chiusura del ballatoio di distribuzione agli alloggi del piano superiore si caratterizza per l'alternanza di lastre di vetro fissate puntualmente e di murature di mattoni laterizi a traforo. Queste ultime sono costituite dalla sovrapposizione di quattro differenti corsi di mattoni con tessitura gotica dove il mattone di testa o è assente, in modo da lasciare filtrare la luce, oppure è posato a sporgere in modo da realizzare un particolare effetto tridimensionale sulla superficie della muratura.

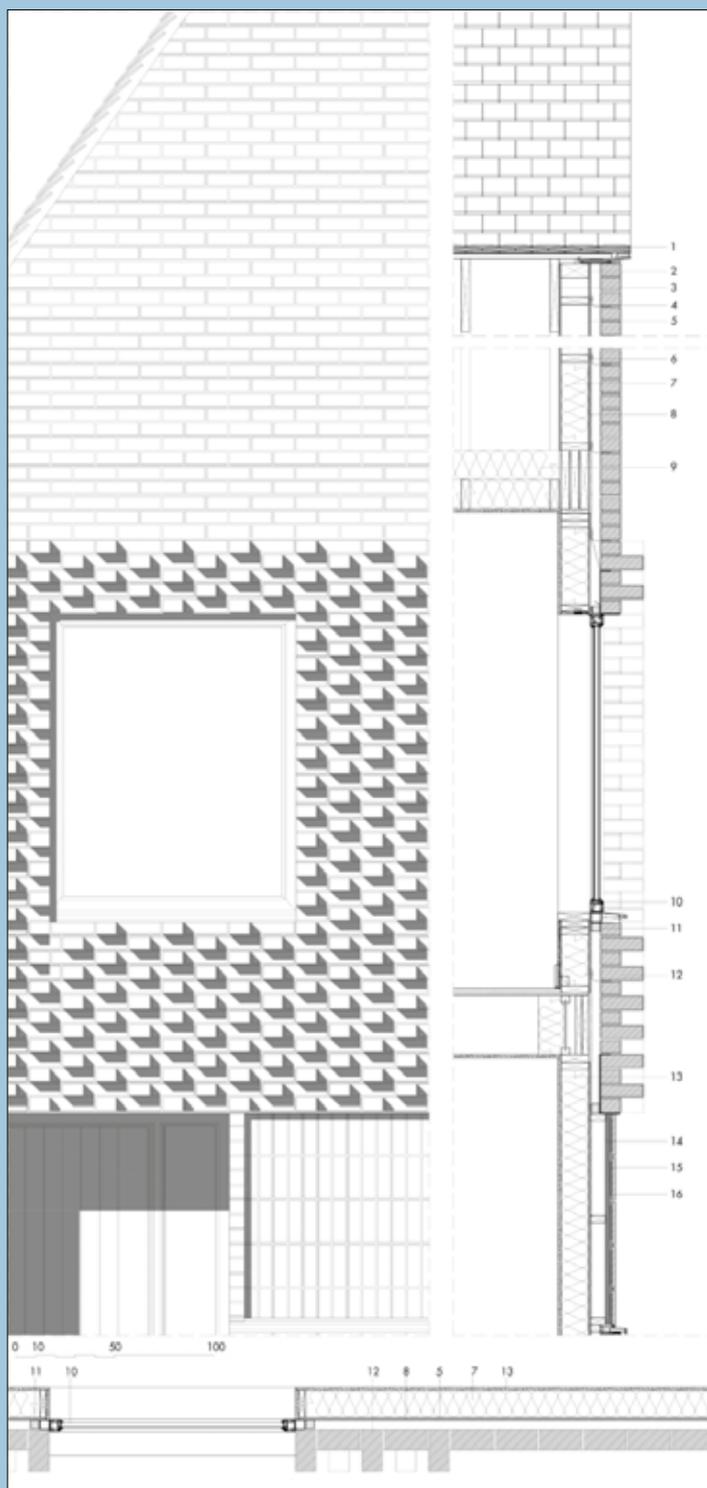
**Legenda:**

1. scossalina metallica
2. guaina impermeabile
3. trave di coronamento
4. assito
5. profilato di acciaio UPN
6. rivestimento all'intradosso
7. muratura in mattoni laterizi a traforo
8. zanca di acciaio
9. mattone in laterizio a vista posato di testa a sporgere
10. profilato di acciaio a L
11. solaio del ballatoio prefabbricato
12. trave in c.a.
13. struttura controsoffitto
14. rivestimento
15. setto in c.a.
16. tubolare quadro di acciaio
17. distanziatori di acciaio
18. lastra di vetro



Vista del fronte del complesso residenziale verso la corte interna e dettaglio del setto murario a traforo di protezione al ballatoio di distribuzione.





### Dettaglio 3

Sezione verticale, prospetto e sezione orizzontale in corrispondenza della finestra, al piano superiore, del fronte principale delle case indipendenti.

### Descrizione

Il fronte principale delle case indipendenti è rivestito con una muratura in mattoni faccia a vista in laterizio di colore rosso e bruno con tessitura a cortina. Esso è caratterizzato dalla forma triangolare della parte alta, dettata dalla doppia falda, e dall'arretramento dell'ingresso, la cui presenza viene enfatizzata anche dal particolare trattamento di una porzione di muratura di rivestimento che si estende fino al livello della finestra del piano superiore. Quest'ultima è realizzata con una tessitura gotica nella quale i mattoni di testa sono posati a sporgere e da una porzione di rivestimento con listelli di laterizio di colore bruno posati verticalmente a fascia.

### Legenda:

1. tegole di copertura
2. elemento di tamponamento
3. trave della copertura
4. rivestimento interno
5. rivestimento esterno
6. zanca di ancoraggio della muratura di rivestimento
7. isolamento
8. guaina impermeabile
9. isolamento
10. serramento
11. controtelaio
12. mattone in laterizio
13. rivestimento interno
14. incollaggio
15. lastra di supporto del rivestimento
16. rivestimento sottile in laterizio



Scorcio delle case indipendenti e dettaglio dell'ingresso.

I disegni sono stati elaborati da Sara Ganassali sulla base della documentazione cortesemente messa a disposizione dai progettisti.

Monica Lavagna\*

# Autenticità costruttiva, laterizio e spazi interni

**La scelta di evitare i rivestimenti e di lasciare a vista gli elementi costruttivi, sia verso l'esterno che verso l'interno, si accompagna in questo progetto alla selezione di pochi materiali e alla semplicità e chiarezza dei rapporti tra le parti, con il laterizio che si fa struttura, involucro e rivestimento**

**L**a ricerca di una innovazione tipologica per affrontare il tema della casa unifamiliare isolata ha portato i progettisti a impostare il progetto a partire dagli aspetti costruttivi. L'idea parte dalla concezione di una serie di setti murari portanti in laterizio che corrono longitudinalmente e paralleli fra loro. La giacitura delle pareti portanti è stata pensata per creare una relazione con la strada, con il patio e con il giardino, garantendo al contempo separazione e privacy rispetto alle abitazioni confinanti.

I setti murari non costituiscono elemento di rigidità nell'articolazione tipologica, anzi è esattamente l'opposto. Gli spazi interni possono essere organizzati con la massima flessibilità e si articolano attorno a un patio consentendo di apportare ventilazione incrociata e illuminazione agli spazi stessi, garantendo ottimali condizioni di comfort: questa parte interna della Catalogna ha un clima particolarmente caldo-arido. La strategia scelta è stata quella di sviluppare tutta la distribuzione su un unico piano, a parte il garage e i locali di servizio interrati, in modo che l'abitazione fosse maggiormente radicata al suolo, estesa sul terreno quasi adagiandosi, e integrata nel paesaggio.

Il progetto si fonda sul recupero di alcuni caratteri tipici delle abitazioni della zona: la scelta di murature portanti costruite a mano ponendo mattone su mattone richiama il modo in cui nella regione da più di cento anni si realizzano i muri tradizionali in pietra a secco per la separazione dei campi di coltivo della vite; l'utilizzo di pignatte in laterizio curvilinee lasciate a vista richiama i tipici soffitti a voltine in laterizio della tradizione; la selezione dei materiali è strettamente legata alla disponibilità produttiva del territorio limitrofo. Infatti, tutti i prodotti utilizzati in questa realizzazione sono di provenienza locale: i mattoni per le murature e le pignatte in laterizio delle voltine provengono da industrie del posto (l'industria ceramica, con l'agricoltura, è la principale attività economica di Alpicat), mentre le travi strutturali in c.a. e gli altri componenti della costruzione provengono dalla vicina città di Lleida.

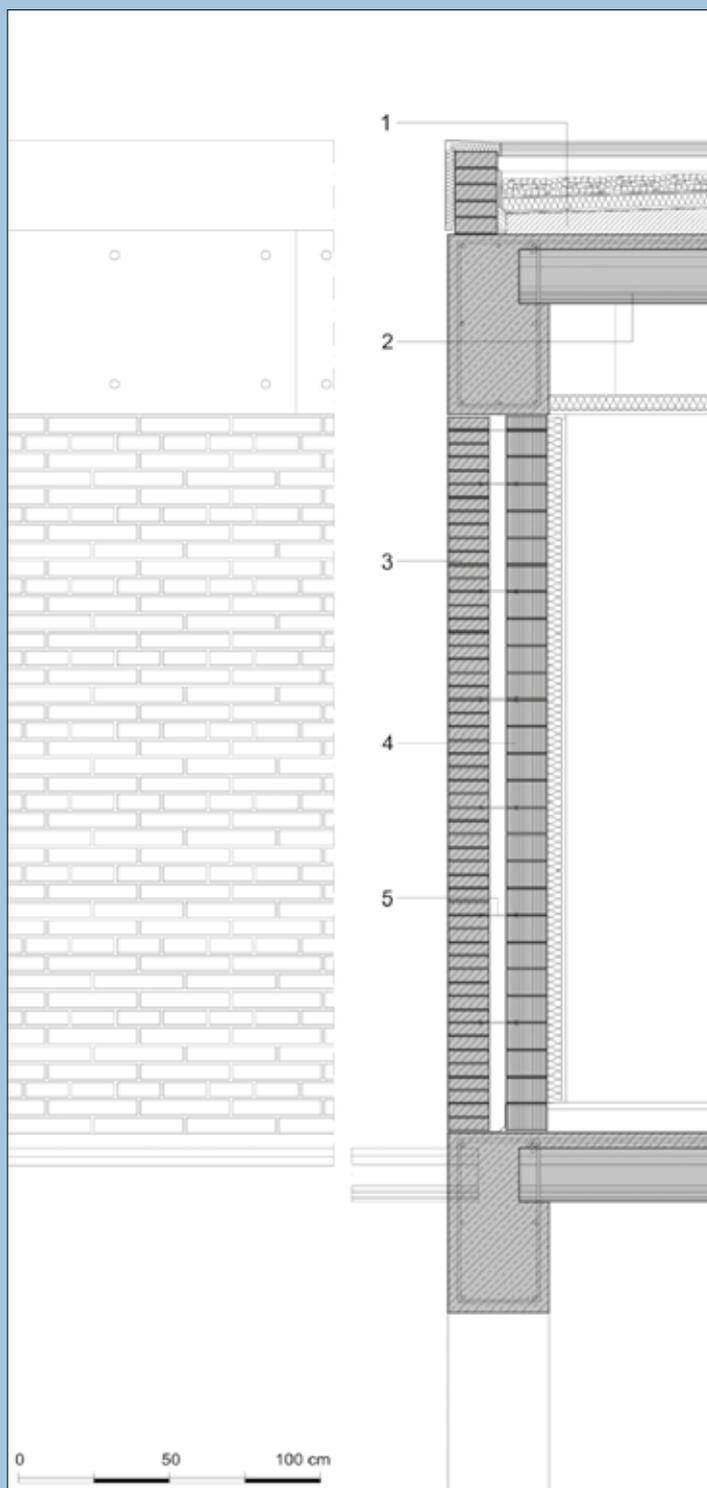
*The decision to avoid coatings and leave the structural elements exposed, both to the outside and inward, is combined in this project with the selection of few materials and the simplicity and clarity of the relationship between each part, with the brickwork which becomes the structure, the building envelope and the coating*

I setti murari in laterizio costituiscono l'elemento cardine del progetto: svolgono diverse funzioni (sono al contempo struttura, involucro, partizione interna ed esterna) e costituiscono elemento di definizione, delimitazione e protezione sia degli spazi interni che di quelli esterni. In generale, il progetto è caratterizzato dalla chiarezza espressiva degli elementi costruttivi: i muri portanti in laterizio, le travi in c.a., i soffitti con voltine sempre in laterizio sono tutti elementi monomaterici, che non celano stratificazioni, ma si manifestano nella loro essenzialità, diversificandosi tra loro per ruolo, funzione, materiale, tipo di componenti, con una chiara gerarchia tra di loro che rende immediatamente percepibile la sequenza costruttiva. I setti murari trovano come elemento di coronamento le travi in calcestruzzo, abbinando alla funzione strutturale il tema decorativo della trabeazione; alle travi sono appoggiati perpendicolarmente i travetti prefabbricati che a loro volta sostengono le pignatte forate a volta in laterizio; mentre l'intradosso rimane a vista nella sua semplicità costruttiva, l'estradosso viene completato strutturalmente da un getto in calcestruzzo e dagli strati di isolamento e impermeabilizzazione della copertura. Una costruzione semplice in cui pochi elementi rappresentano il tutto della costruzione, svolgendo diverse funzioni, e in cui i materiali restano a vista, a parte qualche porzione controsoffittata o dotata di controparete per ospitare gli impianti.

Poche le licenze decorative. Il particolare modo in cui sono stati apparecchiati i mattoni delle murature, per esempio, permette da un lato di creare dei tagli che consentono la visibilità tra interno ed esterno, rendendo il laterizio quasi un elemento di schermatura, e dall'altro di creare motivi decorativi generati dal posizionamento di mattoni in sporgenza che attenuano la severa monoliticità dei setti lungo i fronti esterni. Anche le schermature delle ampie vetrate, che chiudono trasversalmente i setti, formate da una fitta sequenza di elementi lignei verticali, la cui dimensione e passo varia lungo lo sviluppo in facciata. Decorativo è, infine l'uso, del laterizio a vista nello spazio interno, che nella sua autenticità disegna lo spazio, caratterizza le superfici, colora l'ambiente. ¶

\* Monica Lavagna

Professore associato, Politecnico di Milano



**Dettaglio 1**

Sezione verticale dell'involucro in corrispondenza del setto portante perimetrale.

**Descrizione**

I setti in muratura portante di laterizio sono costituiti da un doppio paramento in mattoni faccia a vista verso l'esterno e in mattoni semipieni sull'interno, collegati tra di loro da connettori metallici. Sopra le murature corrono le travi in calcestruzzo su cui si appoggiano i travetti prefabbricati e le voltine in laterizio.

**Legenda**

1. tetto piano rovescio costituito da massetto di pendenza, guaina di impermeabilizzazione, isolante e ghiaia di protezione
2. pignatte in laterizio forate conformate a voltina
3. mattoni in laterizio faccia a vista con spessore di 14 cm
4. mattoni semipieni in laterizio con spessore di 14 cm
5. connettore metallico



Fronti ovest e sud, verso il giardino.



Pianta dell'abitazione.



La tessitura muraria esterna.

**Dettaglio 2**

Sezione verticale dell'involucro in corrispondenza del setto murario portante e infisso.

**Descrizione**

In alcuni punti, il paramento murario interno si interrompe per ospitare i serramenti e quello esterno prosegue, con alcune variazioni nell'apparecchiatura: alcuni mattoni faccia a vista in laterizio «saltano» per consentire la permeabilità visiva e l'adeguata luminosità, lasciando che la muratura svolga il ruolo di schermatura, mentre altri mattoni ruotano, formando motivi decorativi in facciata.

**Legenda**

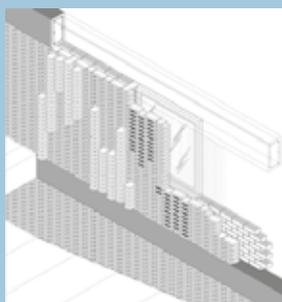
1. tetto piano rovescio costituito da massetto di pendenza, guaina di impermeabilizzazione, isolante e ghiaia di protezione
2. trave in c.a. con finitura fenolica per restare a vista
3. serramento
4. mattoni in laterizio faccia a vista con spessore di 14 cm
5. mattoni semipieni in laterizio con spessore di 14 cm



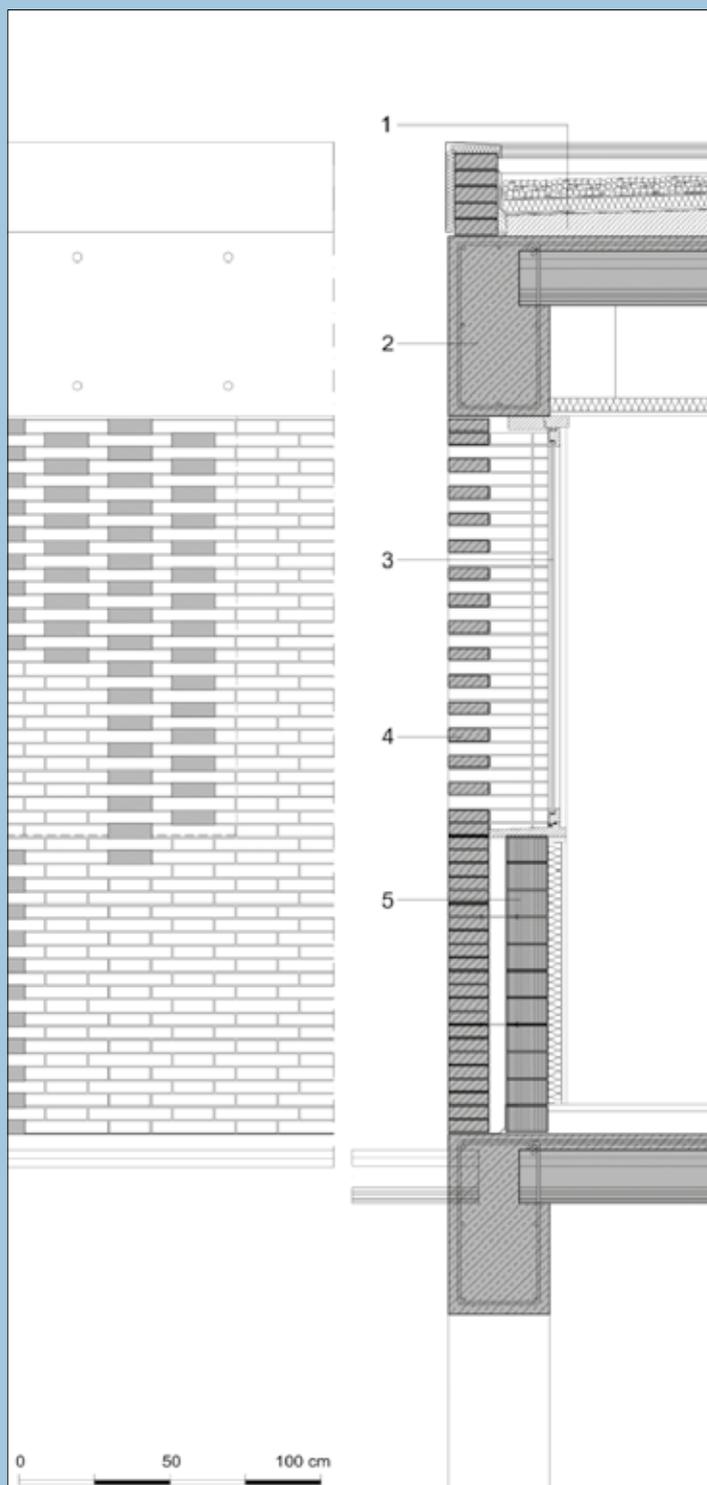
Fronti est e nord, verso la strada.

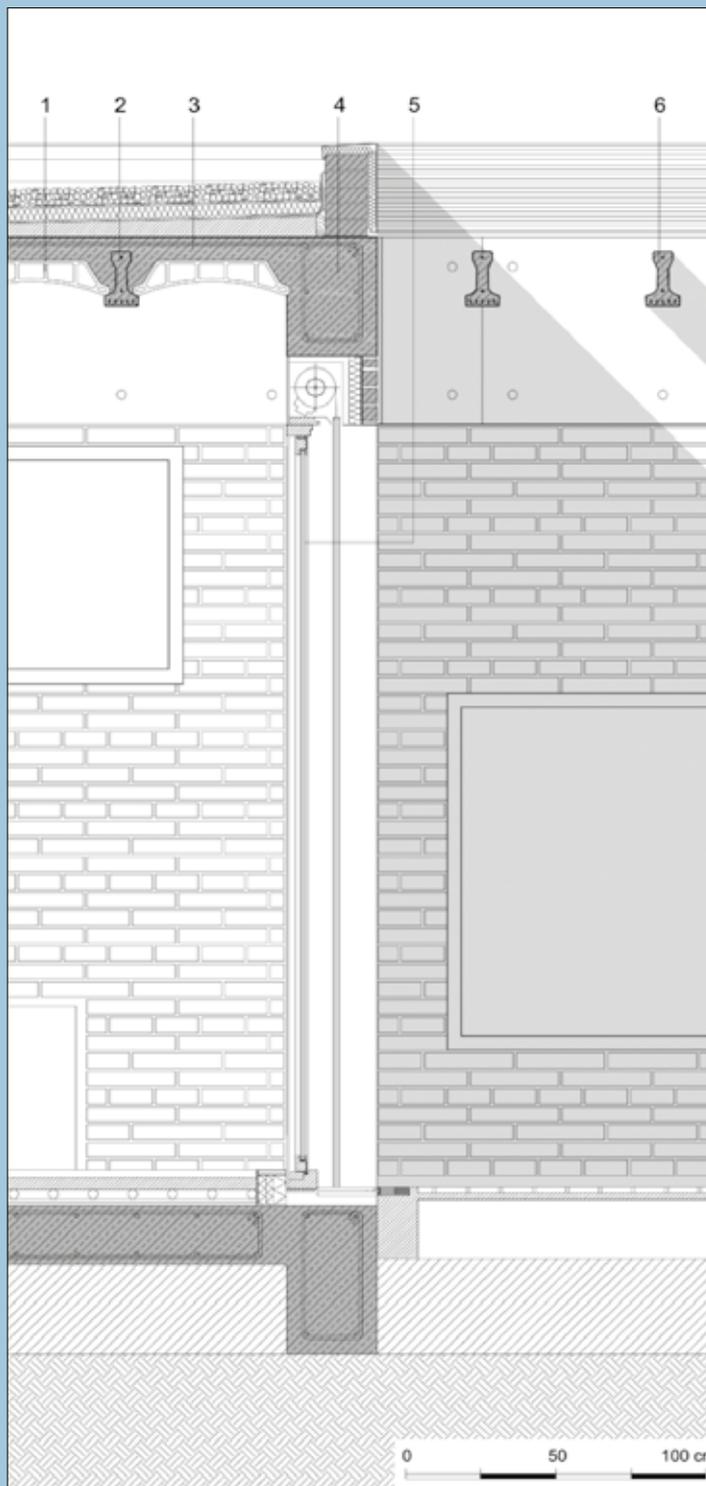


Dettaglio della tessitura muraria esterna.



Spaccato assometrico della muratura di chiusura in corrispondenza di un serramento.





**Dettaglio 3**

Sezione verticale in corrispondenza del serramento trasversale alle muratura di separazione tra interno ed esterno.

**Descrizione**

I travetti prefabbricati in calcestruzzo diventano elemento decorativo e permangono anche nelle parti esterne, dove rimangono a volte isolati, quasi a simulare una sorta di pergolato, oppure vengono completati con le pignatte a voltina, configurando una sorta di portico in cui il soffitto è in assonanza e prosecuzione con lo spazio interno.

**Legenda**

1. pignatte in laterizio forate conformate a voltina
2. travetto prefabbricato in cls
3. getto di completamento in cls
4. trave in c.a. con finitura fenolica per restare a vista
5. serramento
6. travetto prefabbricato in cls



Spazio interno.



Vista dallo spazio interno verso l'esterno attraverso la vetrata.



La copertura a portico.

I disegni sono stati rielaborati da Davide Mondini sulla base della documentazione gentilmente messa a disposizione dall'architetto Albert Brito Ferraz.

Andrea Campioli\*

# Una scuola di mattoni

**Il complesso progettato da Umberto Trame per la comunità di Oderzo nel 1999 e completato nel 2004 offre un'interessante interpretazione del tema della polifunzionalità dei servizi per l'educazione nella quale il laterizio, nella sua molteplicità d'uso, costituisce il denominatore comune**

Il progetto di Umberto Trame per il complesso scolastico realizzato nel quartiere San Vincenzo di Oderzo tra il 1999 e il 2004 si struttura a partire da un'originale interpretazione dell'impianto tipologico a corte. Situato lungo il margine sud della cittadina trevigiana, in complesso ospita la scuola dell'infanzia «Tre pietre» e una palestra di servizio alle attività della scuola durante le ore mattutine e aperta all'intera comunità nel resto della giornata. L'organizzazione distributiva del complesso scolastico si caratterizza per la presenza di una corte solo parzialmente aperta, intorno alla quale sono disposti gli spazi funzionali. La corte risulta delimitata a sud-ovest, sud-est e nord-ovest da tre blocchi didattici con due aule ciascuno, mentre lungo il lato nord-est dalla mensa scolastica e dalla palestra. Alla corte si accede tramite un ingresso situato in corrispondenza dello spazio che separa la mensa dalla palestra. Qui un grande giardino d'inverno, abbracciando uno spazio verde aperto, permette il collegamento protetto tra i diversi spazi funzionali.

Il sistema costituito dal giardino d'inverno e dallo spazio centrale aperto configura un vero e proprio spazio pubblico, dove bambini e insegnanti possono ritrovarsi insieme per svolgere attività comunitarie, sfruttando l'atrio vetrato nei mesi freddi e lo spazio aperto nei mesi più caldi.

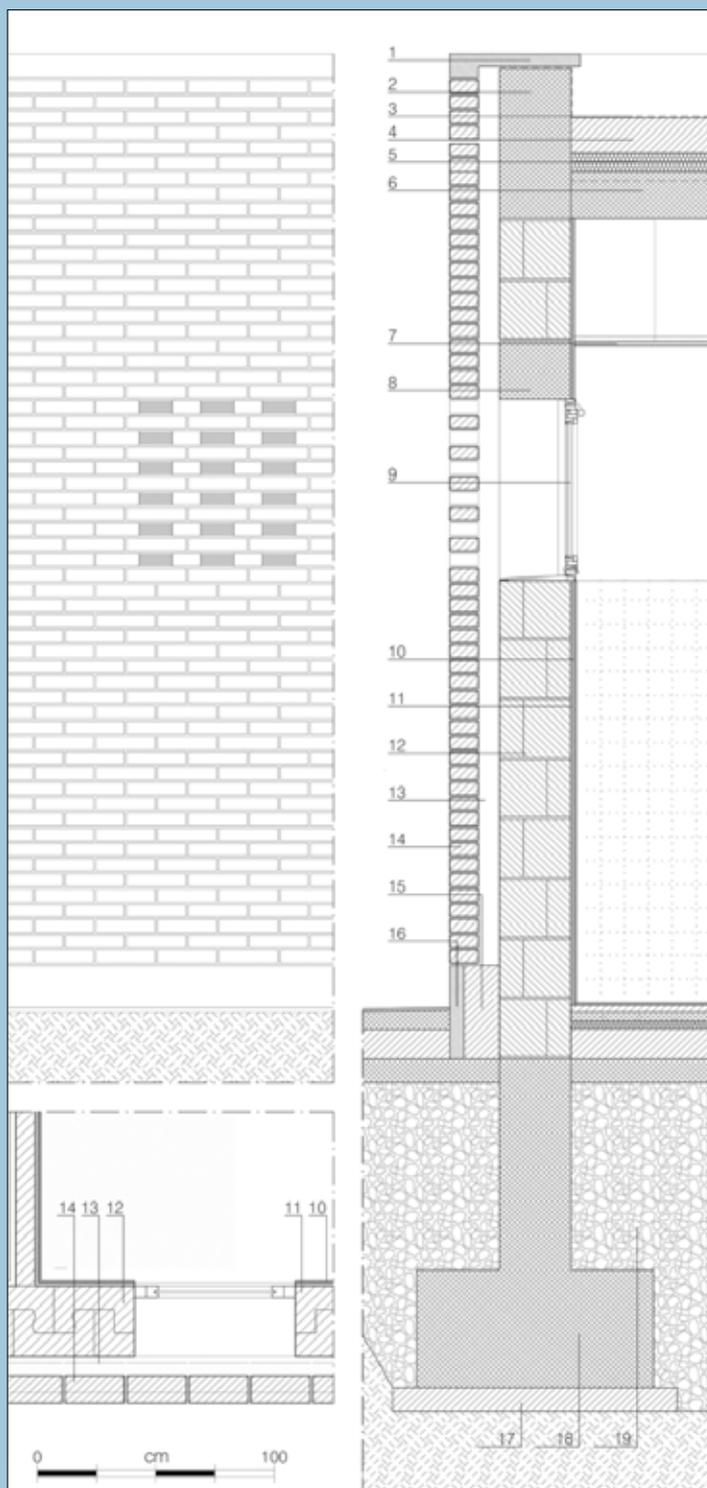
L'ingresso alle aule avviene attraverso uno spogliatoio comune attrezzato con gli armadietti personali per ogni bambino. Ogni aula è dotata di servizi igienici e di un ripostiglio ed è composta da uno spazio interno e da uno spazio esterno che costituiscono l'uno il prolungamento dell'altro grazie a una chiusura vetrata a tutta altezza. Alla mensa è possibile accedere dall'atrio, ma sono presenti anche tre ingressi che consentono l'accesso direttamente dall'esterno: due alla sala e uno alle cucine. Alla palestra si accede dall'atrio stesso direttamente, oppure dall'esterno, mentre gli spogliatoi possono essere raggiunti soltanto dall'interno del volume principale. La specificità dei diversi elementi funzionali costitutivi del progetto è evidenziata dalle coperture: una pensilina ondulata copre l'ingresso e parte del giardino di

inverno; analogamente le aule presentano una copertura curvilinea il cui aggetto verso l'esterno protegge lo spazio aperto antistante all'aula sia dalla pioggia sia dalla radiazione solare; una grande struttura a travi curvilinee copre invece lo spazio della mensa; infine la palestra si caratterizza per un'interessante sistema di copertura costituito da una serie di travi rettilinee, collegate trasversalmente da elementi in acciaio appositamente disegnati. L'emergenza di questi elementi è ulteriormente evidenziata dalle coperture piane degli spazi di servizio e di collegamento. Se le coperture possono essere considerate elemento di differenza, le chiusure verticali, attraverso un esteso impiego di mattoni faccia a vista, rappresentano un elemento di continuità. Esse, infatti, sono costituite da una muratura intonacata in blocchi di laterizio alleggerito con giunto verticale a incastro e mattoni faccia a vista con tessitura a cortina, separate da un'intercapedine. Particolare attenzione è stata prestata alla composizione del rivestimento: in corrispondenza dell'architrave delle aperture e del coronamento, l'inserimento di cordoli in cemento bianco e graniglia disegna due linee orizzontali che si sviluppano con continuità; ancora, in corrispondenza delle finestre dei servizi, il rivestimento in laterizio non si interrompe e, grazie alla giustapposizione di mattoni e spazi vuoti nella tessitura, diviene un elemento di protezione filtrante. Diversa è la soluzione progettata per la palestra, dove al rivestimento in mattoni a faccia a vista è associato uno strato resistente in calcestruzzo armato. Nella parte alta della muratura, in corrispondenza dei fronti corti, il rivestimento prevede l'utilizzo alternato di mattoni interi e bastonetti, così da ottenere porzioni ribassate, secondo una scansione corrispondente a quella delle finestre presenti sui fronti lunghi. Anche in questo caso la muratura è caratterizzata da un'articolazione orizzontale ottenuta mediante l'inserimento di cordoli in cemento bianco e graniglia che, in corrispondenza del coronamento, costituiscono anche il supporto del canale di gronda. Il laterizio caratterizza anche la recinzione. Lungo la via di accesso, il complesso è delimitato da una muratura caratterizzata da un'intrigante permeabilità visiva ottenuta mediante mattoni disposti in verticale e diagonalmente rispetto al piano di giacitura dei corsi normali. ¶

\* Andrea Campioli

Professore ordinario, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costituito, Politecnico di Milano

*The complex, designed by Umberto Trame for the community of Oderzo in 1999 and completed in 2004, offers an interesting interpretation of the theme of multifunctionality in the services for education, in which brick, with its multiplicity of use, is the common denominator.*



**Dettaglio 1**

Sezioni verticale orizzontale e prospetto della muratura tipica degli spazi delle aule e dei servizi della palestra e della mensa.

**Descrizione**

La gran parte delle chiusure verticali del complesso scolastico è realizzata con una muratura portante con blocchi alleggeriti con giunti verticali a incastro. Le murature sono completate da un rivestimento continuo in mattoni faccia a vista con tessitura a cortina che, in corrispondenza delle finestre dei servizi, consente il passaggio della luce.

**Legenda**

1. copertina in elementi prefabbricati di cemento bianco e graniglia
2. cordolo in c.a.
3. guaina bituminosa granigliata
4. caldana in calcestruzzo con pendenza
5. pannelli di polistirene estruso e barriera a vapore
6. solaio in latero-cemento
7. controsoffitto in cartongesso
8. architrave in c.a.
9. serramento in alluminio
10. rivestimento in piastrelle di ceramica
11. intonaco
12. muratura in blocchi di laterizio alleggerito con giunto verticale a incastro
13. intercapedine
14. muratura in mattoni a faccia vista
15. riempimento in calcestruzzo
16. elementi prefabbricati di cemento bianco e graniglia
17. magrone
18. trave di fondazione in c.a.
19. vespaio di ghiaia



Planimetria del complesso scolastico e vista dalla strada di accesso.

## Umberto Trame, Scuola d'infanzia «Tre Piere» e palestra, quartiere San Vincenzo, Oderzo, 1999-2004

### Dettaglio 2

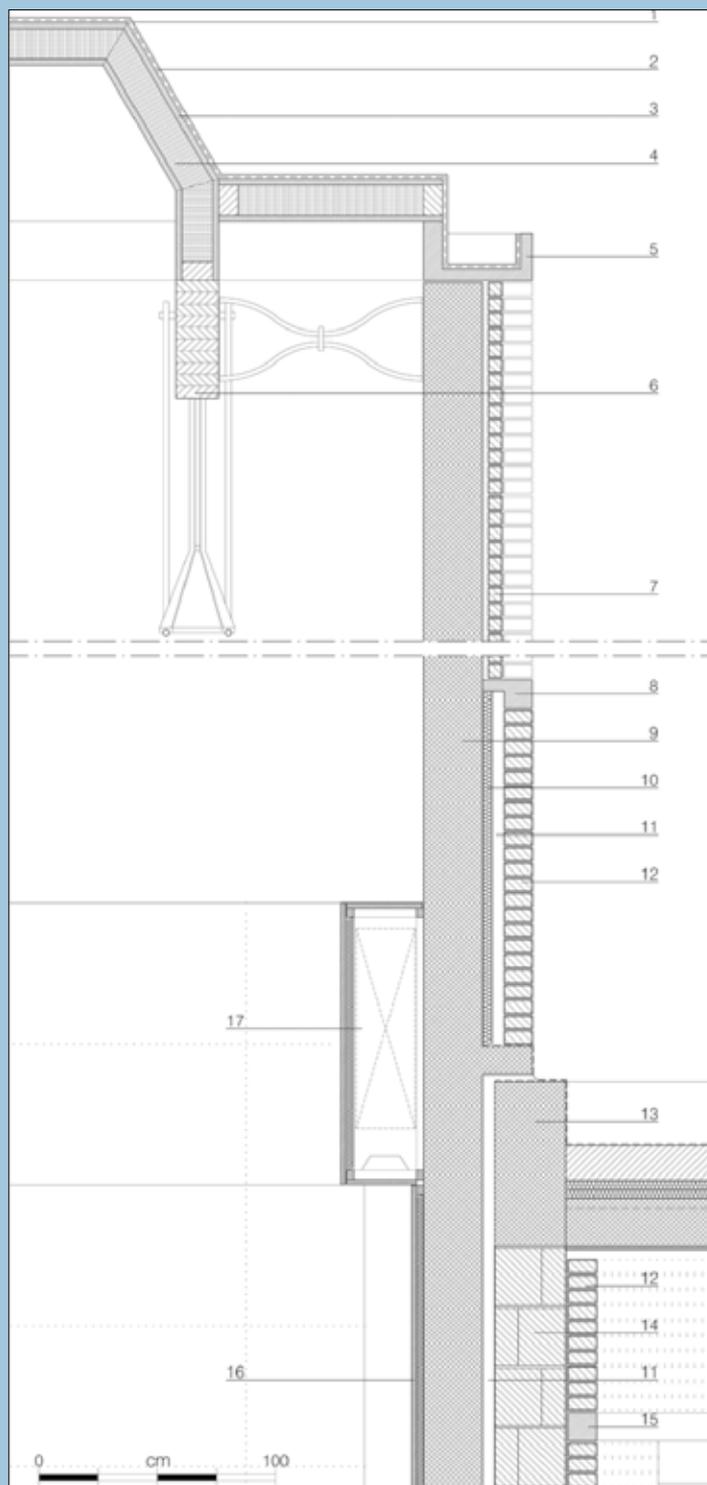
Sezione verticale della palestra lungo la direzione sud-est/nord-ovest.

### Descrizione

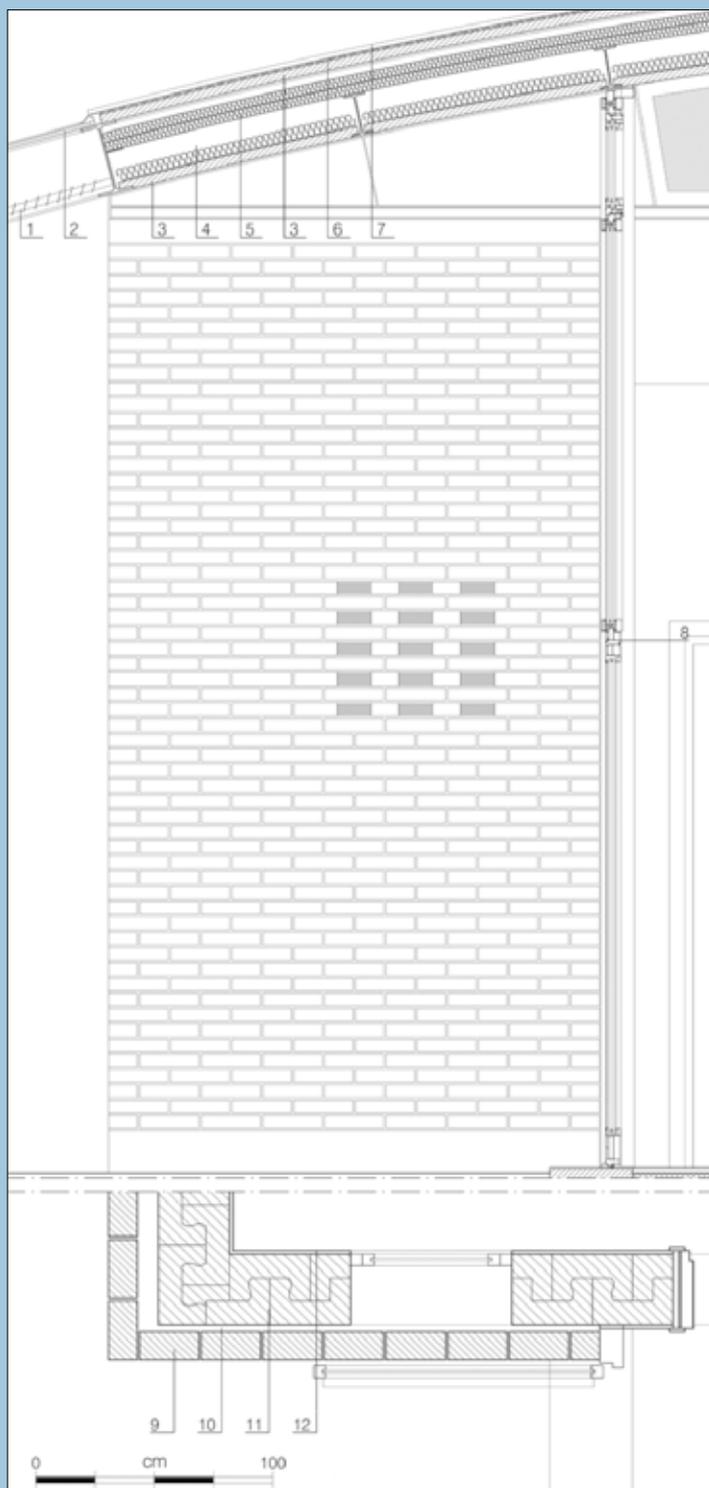
Le murature della palestra presentano uno strato resistente in calcestruzzo armato e un rivestimento in mattoni faccia a vista. Nella parte alta, i fronti nord-est e sud-ovest sono caratterizzati da una serie di fenditure verticali che illuminano l'interno della palestra, mentre i fronti sud-est e nord-ovest ripropongono la scansione delle fenditure degli altri fronti mediante un arretramento di parte del rivestimento in laterizio.

### Legenda

1. manto di copertura
2. guaina bituminosa granigliata
3. pannello multistrato
4. morale 100x100 mm
5. canale di gronda in elementi prefabbricati di cemento bianco e graniglia
6. trave 180x500 mm
7. rivestimento in bastonetti in laterizio a faccia vista
8. copertina in elementi prefabbricati di cemento bianco e graniglia
9. setto in calcestruzzo
10. pannelli di polistirene estruso
11. intercapedine
12. muratura in mattoni a faccia vista
13. cordolo in c.a.
14. muratura in blocchi di laterizio alleggerito con giunto verticale a incastro
15. fascia in elementi prefabbricati di cemento bianco e graniglia
16. rivestimento in pannelli fonoassorbenti
17. condotta trattamento aria



Scorcio del fronte sud est con la mensa, l'ingresso e la palestra e vista dell'interno della palestra.



### Dettaglio 3

Sezione verticale del blocco didattico in corrispondenza della vetrata delle aule e sezione orizzontale della muratura dello stesso, in corrispondenza della finestra degli spazi di servizio.

### Descrizione

Le aule sono caratterizzate da tre pareti cieche e da una terza completamente vetrata che mette in relazione lo spazio interno con quello esterno. La copertura è realizzata con una struttura curvilinea in acciaio con rivestimento dell'intradosso in tavole di legno policromo. L'aggetto della copertura verso l'esterno protegge lo spazio aperto antistante alla vetrata dell'aula dalla pioggia e dalla radiazione solare.

### Legenda

1. grigliato metallico (frangisole)
2. lastra in vetro
3. pannello multistrato
4. orditura della copertura
5. pannelli di polistirene estruso
6. guaina bituminosa granigliata
7. manto di copertura
8. serramento in alluminio
9. muratura in mattoni a faccia vista
10. intercapedine
11. muratura in blocchi di laterizio alleggerito con giunto verticale a incastro
12. intonaco



Vista dell'esterno e dell'interno di un'aula.

La documentazione grafica e le illustrazioni sono state cortesemente messe a disposizione dallo studio Trame e Associati.

Alessandra Zanelli\*

# Evanescenze in laterizio

**Due differenti toni di colore e due diversi piani di posa caratterizzano gli elementi in laterizio delle facciate del nuovo complesso edilizio Centrumgebied Amsterdam Noord (CAN), progettato dagli architetti Heren5 alla periferia della capitale olandese**

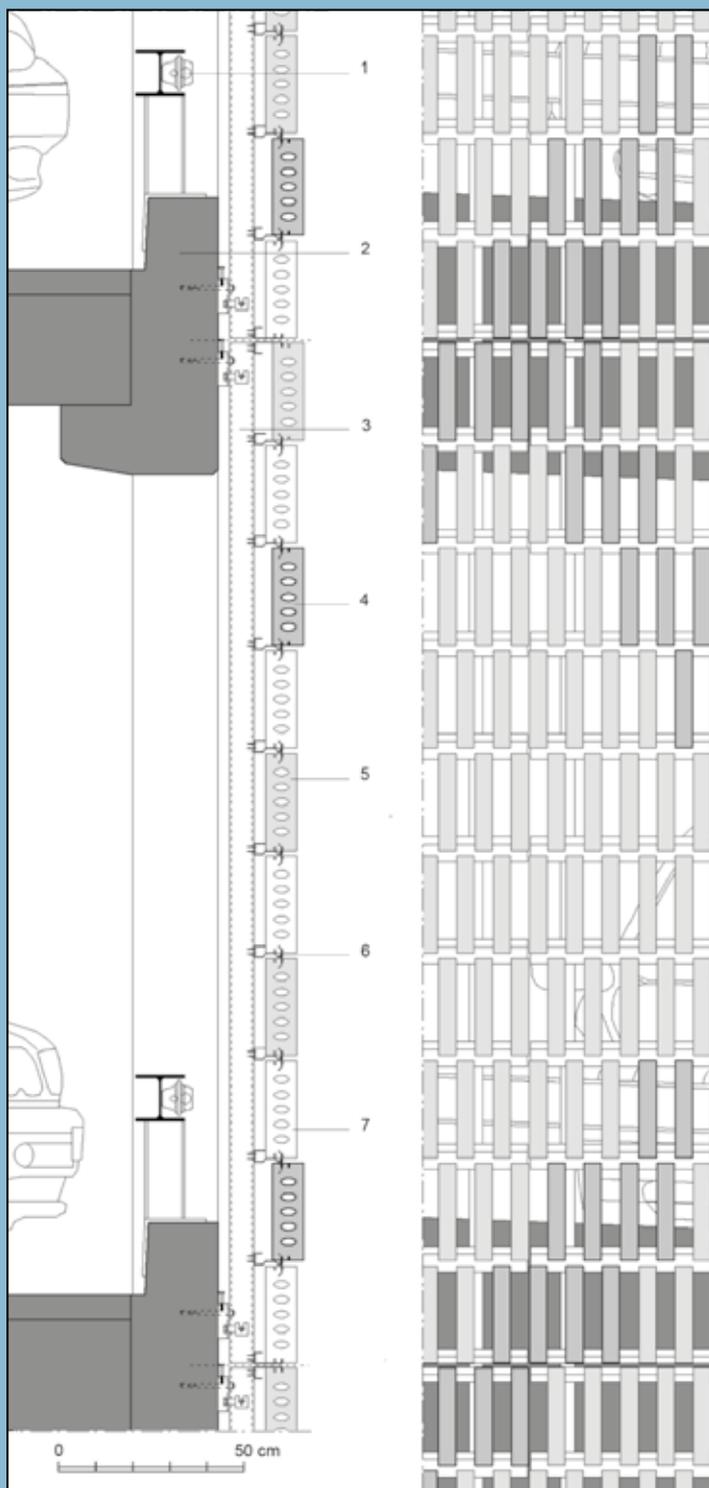
Un piano terra commerciale vasto come un campo da calcio costituisce il basamento per quattro corpi edilizi, alti fino a 25 metri, e ravvicinati quanto basta per far penetrare tra essi la luce del sole senza perdere volumetria utile per il grande parcheggio multipiano. Al di sopra del livello a destinazione commerciale, attraverso un articolato sfasamento dei piani, gli architetti frammentano e sagomano il volume in quattro edifici che, come delle «fette», si sviluppano per tutta la lunghezza dell'isolato, moltiplicando così le facciate, che sono tutte in laterizio. I nuovi affacci sugli spazi aperti intestiziali, risultano preziosi per evacuare le esalazioni dei gas provenienti dal parcheggio multipiano e per illuminare naturalmente i piani dello stesso, si crea al contempo una continuità visiva tra le zone di sosta e di commercio e le rampe di accesso alla struttura. Delle quattro «porzioni» che compongono l'edificato urbano, le tre sviluppate sul fronte nord sono interamente dedicate al parcheggio, l'ultima completamente rivolta a sud e con affaccio sulla strada è dedicata alle residenze. Proprio con l'intento di rievocare la tipica articolazione verticale del modello abitativo olandese, con affaccio diretto su strada, quest'ultimo corpo di fabbrica viene suddiviso in undici settori che scandiscono il lato sud. Alla monoliticità dell'impianto urbano dei lunghi prospetti che affacciano verso nord e sud, si contrappone una diversificazione di proporzioni tra i quattro corpi di fabbrica e anche tra gli spessi spazi aperti intermedi, percepibile nei lati est e ovest. I tagli tra gli edifici, così orientati sull'asse est-ovest, e peraltro non sempre paralleli tra i diversi fronti che si affacciano vicendevolmente, garantiscono un efficace ingresso della radiazione solare alle residenze e ai diversi piani del parcheggio, così come una sufficiente luce zenitale sulla piastra a destinazione commerciale. Il grande prisma, dunque, non presenta quattro fronti, bensì sedici sistemi di facciata, nei quali il «cotto» rappresenta la tessera di base, l'elemento unificante e caratterizzante di ogni scelta compositiva, ma anche il mezzo attraverso il quale identificare le diverse funzioni inserite negli edifici. Attribuire colore, semi-trasparenza, carattere urbano e aspetto durevole alle facciate di un parcheggio multipiano è davvero una sfida difficile che gli Heren5 hanno affrontato, con maestria, affiancando alle loro efficaci proposte progettuali la competenza tecnico-costruttiva dell'impresa di costruzione Leebo V.B.

*Two different tones of colour and two different levels of installation mark out the masonry facades of the new complex Centrumgebied Amsterdam Noord (CAN), designed by the architects Heren5 on the outskirts of the Dutch capital*

e la creatività degli artisti Willem Hoebink and Jan Hein Daniëls. L'impresa di costruzioni Leebo ha fornito chiavi in mano le facciate, predisponendo una serie di pannelli prefabbricati di dimensioni 2,5 x 3 metri, costituiti da un telaio in acciaio e da diversi tipi di tessitura muraria, nei quali due differenti toni di colore e due diverse profondità di aggancio del singolo blocco rispetto alla sotto-struttura del pannello conferiscono profondità alle superfici verticali e disegnano un decoro a losanga che distingue i livelli del parcheggio dai paramenti murari più tradizionali del basamento commerciale e dei volumi residenziali. I pannelli prefabbricati in laterizio riservati al tamponamento delle aree di parcheggio, hanno la peculiarità di essere trasparenti per il 40% della loro superficie, ovvero la tessitura degli elementi in «cotto» è quasi un completo intercalarsi tra un vuoto e un pieno, dove la leggera sovrapposizione tra elementi non è determinante per la stabilità del costruito quanto il portato di decisioni compositive e di prestazioni attese per ciò che riguarda l'illuminazione necessaria nei piani adibiti alla sosta delle automobili. Aldilà della peculiarità estetica del sistema di facciata, che si aggancia a secco alla struttura in cemento armato dei piani dei parcheggi, tale soluzione costruttiva comporta molteplici vantaggi: in primis è notevole l'alleggerimento dei pannelli con conseguenti facilitazioni nel trasporto in quota e nell'assemblaggio; inoltre la cortina edilizia così composta costituisce un efficace diaframma tra esterno e interno, capace di garantire sia la ventilazione che l'illuminazione naturale direttamente tramite le forature delle superfici in laterizio, comportando così un notevole risparmio economico nella gestione. Di giorno sulle facciate predominano i toni del rosso, con cui è realizzato il disegno a losanga, le campiture di colore più tenui, create con un diverso tipo di laterizio, e il gioco delle, «sottolineature» d'ombra creato dal lieve disassamento dei piani di posa tra gli elementi. Di notte invece è proprio quel 40% di vuoto, lasciato nell'apparecchiatura muraria, che prende il sopravvento, grazie a un sistema di luci integrato alle barriere, in acciaio anti-collisione, che corrono lungo tutto il perimetro dell'area di parcheggio. Gli artisti Willem Hoebink and Jan Hein Daniëls hanno voluto retroilluminare le facciate degli edifici creando un effetto «pixel» proprio grazie ai moduli vuoti lasciati nella tessitura in laterizio. L'immenso parcheggio si erge nella città come una scultura di colore, durante il giorno, e di luce, all'imbrunire. ¶

\* Alessandra Zanelli  
Professore associato, Politecnico di Milano

## Heren 5, Intervento di riqualificazione nel quartiere Plan van Gool, Amsterdam (NL)



### Dettaglio 1

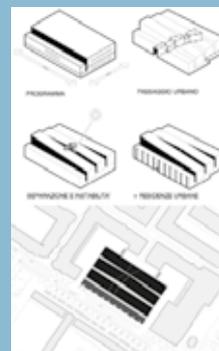
Sezione verticale e prospetto della facciata del parcheggio multipiano.

### Descrizione

Con gli elementi di laterizio di colore più acceso viene creato un disegno a losanga, leggermente in rilievo sulla texture creata tramite vuoti e pieni della cortina verticale, con funzione sia di ombreggiamento che di ventilazione dei piani adibiti a parcheggio.

### Legenda

1. sistema di retro-illuminazione della facciata in laterizio predisposto sulla barriera anti-collisione per le automobili, quest'ultima costituita da un profilo in acciaio HEA 140.
2. struttura principale dell'edificio, realizzata in elementi prefabbricati di c.a.
3. intelaiatura per la prefabbricazione dei pannelli di facciata, direttamente ancorata alle travi perimetrali in c.a.
4. elemento in laterizio di colore rosso scuro posato a secco su correnti fissati al telaio principale e in rilievo rispetto al normale piano di posa
5. elemento in laterizio di colore rosso chiaro, posato a secco su correnti fissati al telaio principale, secondo il piano di posa prevalente
6. corrente con dispositivo distanzatore per la posa a secco di due elementi di laterizio contigui
7. elemento in laterizio a vista in corrispondenza di un vuoto sul piano di sezione



Il concept progettuale e l'inserimento nel contesto.



Vista dell'angolo nord-est.

## Heren 5, Intervento di riqualificazione nel quartiere Plan van Gool, Amsterdam (NL)

### Dettaglio 2

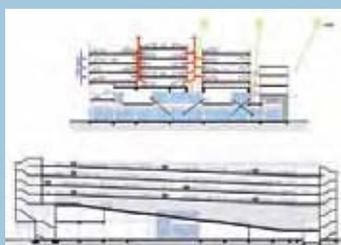
Sezione orizzontale e prospetto.

### Descrizione

Il particolare profilo in lamiera di acciaio piegata consente sia l'apparecchiatura per file, di elementi posti di coltello, sia l'estroflessione di alcuni elementi caratterizzati da un colore più scuro e destinati a formare un disegno visibile alla scala dell'intera facciata.

### Legenda

1. profili in acciaio per aggancio della facciata alla trave perimetrale
2. trave perimetrale in c.a. prefabbricato
3. elemento in laterizio di colore rosso scuro, posato a secco su correnti fissati al telaio principale, in rilievo rispetto al normale piano di posa
4. corrente in lamierino piegato per la posa a secco delle file di laterizio vuoto sul piano di sezione, corrispondente a un elemento posato sulla guida inferiore
5. vuoto sul piano di sezione, corrispondente a un elemento posato sulla guida inferiore



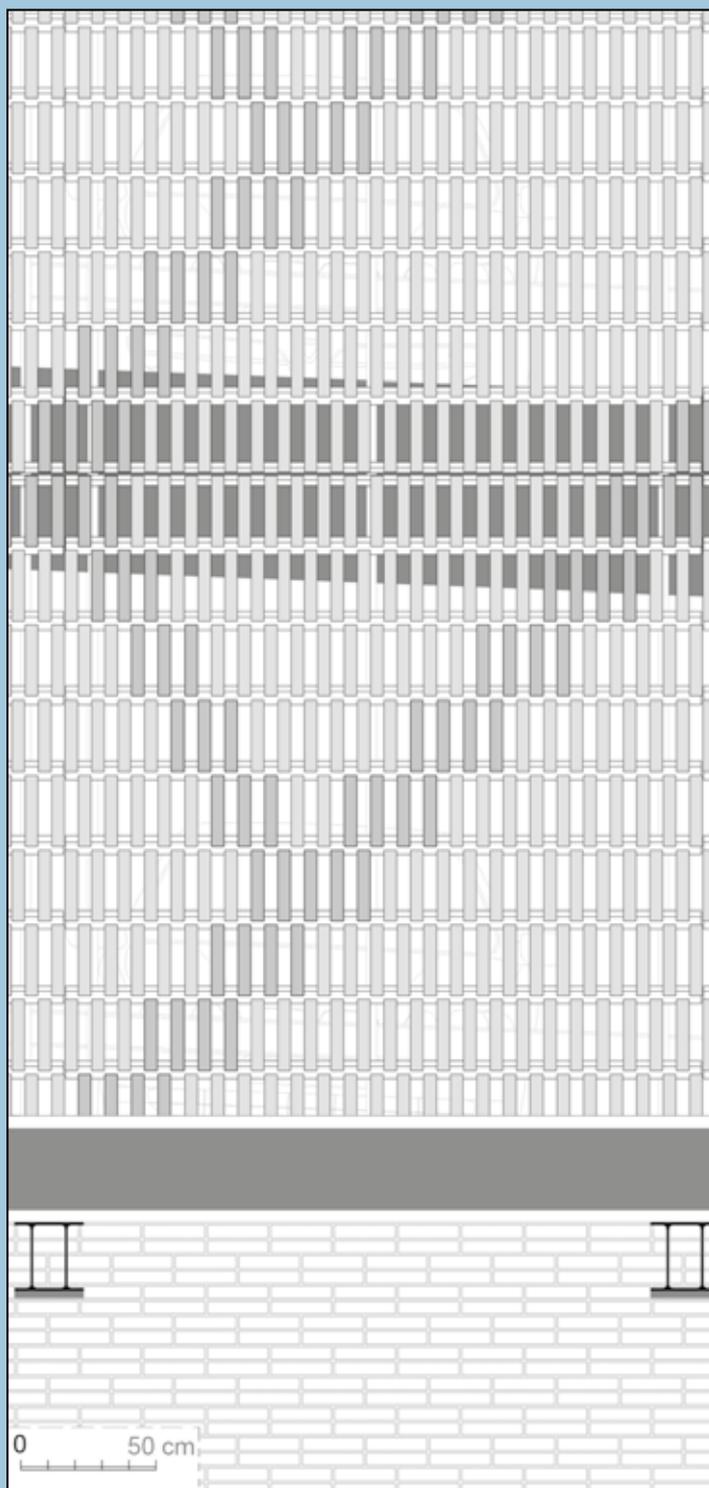
Sezioni principali.



Prefabbricazione e installazione dei paramenti in laterizio di due colori.



## Heren 5, Intervento di riqualificazione nel quartiere Plan van Gooi, Amsterdam (NL)



### Dettaglio 3

Prospetto dell'edificio per i parcheggi adiacente a quello adibito a residenze.

### Descrizione

Lo spazio intestiziale aperto, tra due blocchi di edifici contigui, è qualificato dalla presenza di strutture di orizzontamento in acciaio e da un paramento murario continuo in laterizio di colore chiaro, la cui tessitura evidenzia la scelta, anche in questo caso, di modalità di prefabbricazione e posa a secco.

L'alternanza dei colori e delle tessiture, già presente tra il piano terra e i piani superiori del medesimo fronte, continua anche tra gli edifici prospicienti.



Vista in dettaglio del paramento murario.



Vista tra il terzo e il quarto corpo di fabbrica.

Si ringrazia per le immagini lo studio Heren 5.

Alessandra Zanelli\*

# Laterizio e prefabbricazione

**Un cubo di laterizio si staglia nella parte più alta dell'isolato urbano rendendosi visibile da ogni parte del quartiere di cui è chiamato a rappresentare il fulcro delle attività sociali. LRO Architekten si è orientato verso una tipologia costruttiva semplice e ben integrabile con i tipi residenziali circostanti, ma al tempo stesso caratterizzata da assonanze stilistiche con la vicina chiesa parrocchiale. Le volte prefabbricate in laterizio rappresentano l'elemento chiave di tale dialogo con il contesto**

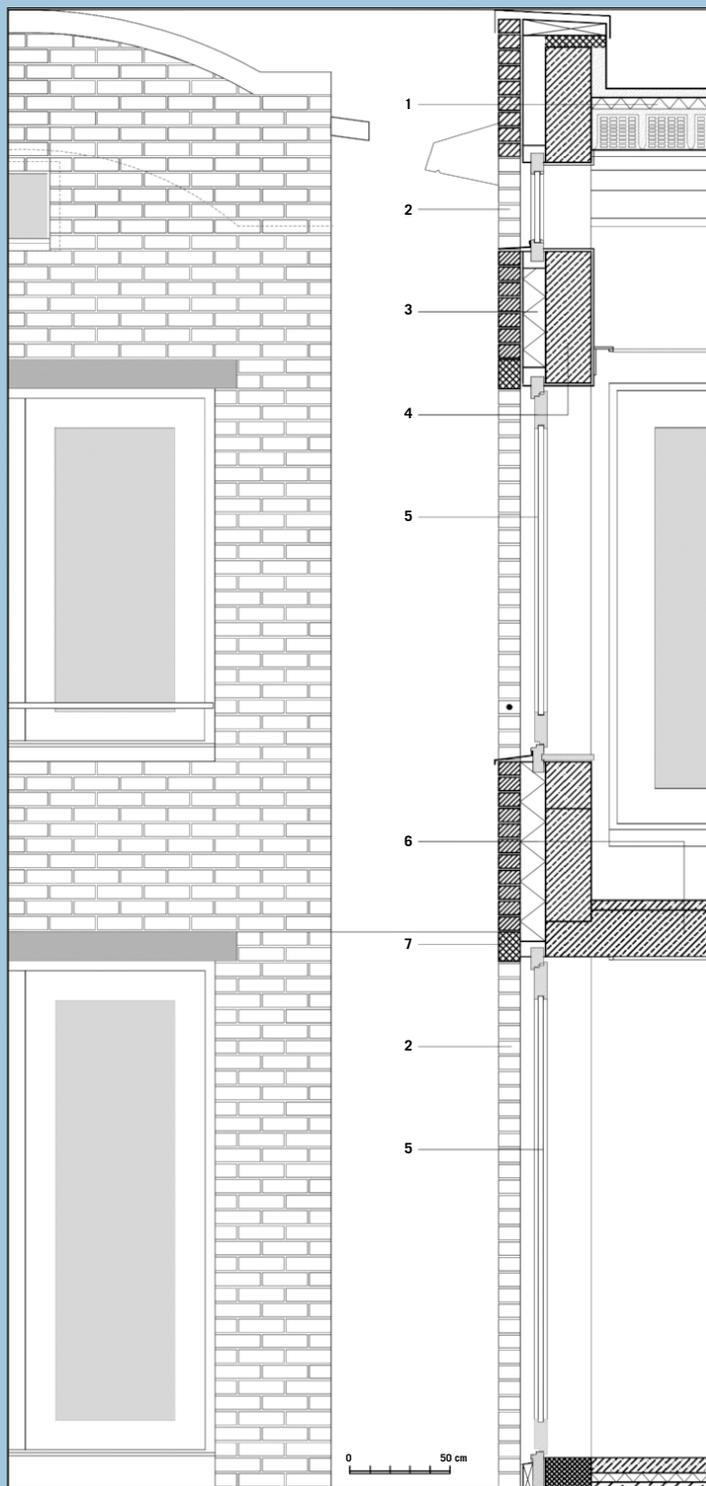
Il distretto di Uhlbach è parte integrante del tessuto urbano della città di Stoccarda, anche se la vocazione a vitigni del territorio pedecollinare che ospita il quartiere ha fatto sì che negli anni i suoi abitanti abbiano sempre più rafforzato la loro identità autonoma, dotandosi di una sede comunale distaccata, di una chiesa, un'osteria e una serie di case isolate, che via via sono andate aumentando, distribuite lungo i pendii e i filari di viti. La recettività crescente del quartiere ha reso necessaria la realizzazione di un centro sociale che accorpasse una serie di servizi al cittadino e il comune ha stanziato un budget esiguo, che i progettisti hanno saputo valorizzare al meglio, non risparmiando lo sforzo inventivo e progettuale. Infatti è noto che tanto più si vogliono contenere i costi di costruzione e tanto meno si devono risparmiare le idee e le soluzioni non convenzionali per far sì che l'esito architettonico sia soddisfacente. In quest'ottica hanno lavorato Arno Lederer, Jórunn Ragnarsdóttir e Marc Oei – i progettisti dello studio LRO Architekten – seguendo sia la progettazione di massima che quella esecutiva del complesso multifunzionale destinato alla comunità del quartiere di Uhlbach a Stoccarda. Il luogo deputato alla realizzazione del centro presenta importanti pendenze che i progettisti hanno saputo sfruttare al meglio, organizzando un volume di forma quadrata e compatta che si protende verso valle, a nord, mostrando una facciata di due piani e si incardina al terreno verso est e sud, dove l'edificio è fuori terra solo per un piano. Nella parte più ripida del terreno, verso ovest, si è scelto di posizionare il corpo scala e di organizzare alcuni percorsi esterni sui tipici terrazzamenti che contraddistinguono tutto l'intorno. Limitare i costi di costruzione è stato uno specifico obiettivo degli architetti, che è stato perseguito

*A brick cube stands on the highest part of the urban block, making itself visible from every part of the neighbourhood, for which it must represent the hub of social activities. The architects of the firm LRO have chosen a simple constructive typology, which can easily integrate itself with the surrounding residential types, but at the same time is characterized by stylistic assonances with the nearby parish church. The prefabricated brick vaults are the key element of the dialogue with the context*

sin dalle prime fasi progettuali, con la scelta di un impianto volumetrico semplice e compatto, specie nella fase esecutiva, quando le scelte sono ricadute verso la produzione di elementi costruttivi prefabbricati, come le volte di copertura, in grado di contenere i costi della cantierizzazione dell'opera, massimizzando al tempo stesso la cura delle finiture interne e degli arredi destinati ai servizi alla comunità. Le volte prefabbricate in laterizio sono realizzate su casseforme di lunghezza pari a 8,4 m che consentono di coprire con un solo elemento costruttivo tutta la luce libera della sala principale posta al primo piano. Ciascuna volta ha una profondità limitata (dai 35 ai 45 cm) così da non creare un soffitto con grandi contrasti di luce e ombra, e le sue dimensioni ridotte anche nel verso orizzontale fanno sì che si crei un ritmo ondulatorio «vivace», sono infatti necessari ben otto elementi voltati continui per coprire l'intera sala. Anche l'aspetto della finitura interna è allo stesso tempo curato ed economico: i conci in laterizio 25,74 x 25,74 cm con spessore di 19 cm con cui viene creata la tessitura di ciascun elemento voltato, sono visibili all'intradosso, conferendo al soffitto un bel colore caldo, che contrasta sia con le travi prefabbricate in calcestruzzo – lasciate a vista – che con i serramenti bianchi, e dona un carattere peculiare a tutto lo spazio interno. All'esterno il centro è immediatamente riconoscibile non solo per la posizione sopravvalata rispetto al diradato tessuto residenziale che lo circonda, ma soprattutto per qualità costruttiva, in particolare, sui fronti nord e ovest. Il fronte a nord, quello che più si percepisce a valle dove le residenze si infittiscono, disvela all'esterno il suo sistema di copertura voltato, riprendendone il ritmo sul coronamento ad archi che sono a loro volta intercalati da grossi elementi aggettanti in calcestruzzo che fungono da doccioni. A ovest predomina la ricerca di luce e calore, sia nel corpo scale completamente vetrato, sia nella doppia orditura di grandi finestre. Verso est e sud, dove gli spazi aperti si ampliano e diventano più usufruibili, allora il complesso assume un carattere più domestico e accogliente, che induce alla sosta e alla socializzazione. ¶

\*Alessandra Zanelli

Professore Associato, Scuola di Architettura e Società, Politecnico di Milano



**Dettaglio 1**

Sezione verticale e prospetto del fronte nord.

**Descrizione**

Le pareti perimetrali dell'edificio sono realizzate in c. a. gettate in opera con spessore di 24 cm, completate verso l'esterno da 12 cm di isolante termico, 4,5 cm di lama d'aria e un rivestimento continuo in laterizio a vista da 11,5 cm.

**Legenda**

1. cappa in calcestruzzo ed elementi in laterizio costituenti le volte prefabbricate
2. laterizio faccia a vista di rivestimento esterno
3. strato isolante
4. setto portante in calcestruzzo gettato in opera
5. serramenti in legno verniciati di bianco con vetrocamera
6. solaio intermedio in calcestruzzo e strati di finitura
7. architrave prefabbricata in calcestruzzo a vista



Planimetrie del piano terra e del piano semi-interrato.



Vista del prospetto nord.

## LRO Lederer Ragnarsdóttir Oei, Centro comunitario di Stuttgart-Uhlbach, Stoccarda (D), 2009

### Dettaglio 2

Vista del paramento murario caratterizzante il fronte nord e sezione orizzontale della copertura voltata, in corrispondenza del doccione posto tra due volte in laterizio.

### Descrizione

Verso nord-est una scala esterna in c.a. si staglia sulla parte più compatta del fronte nord, dove la tessitura in laterizio faccia a vista è continua fino al coronamento dell'edificio. Gli archi in facciata sono l'evidenza esterna delle volte di copertura. Piccole finestre poste nel fulcro dell'arco di ciascuna volta creano, insieme ai doccioni prefabbricati in calcestruzzo, il ritmo della facciata nord.

### Legenda

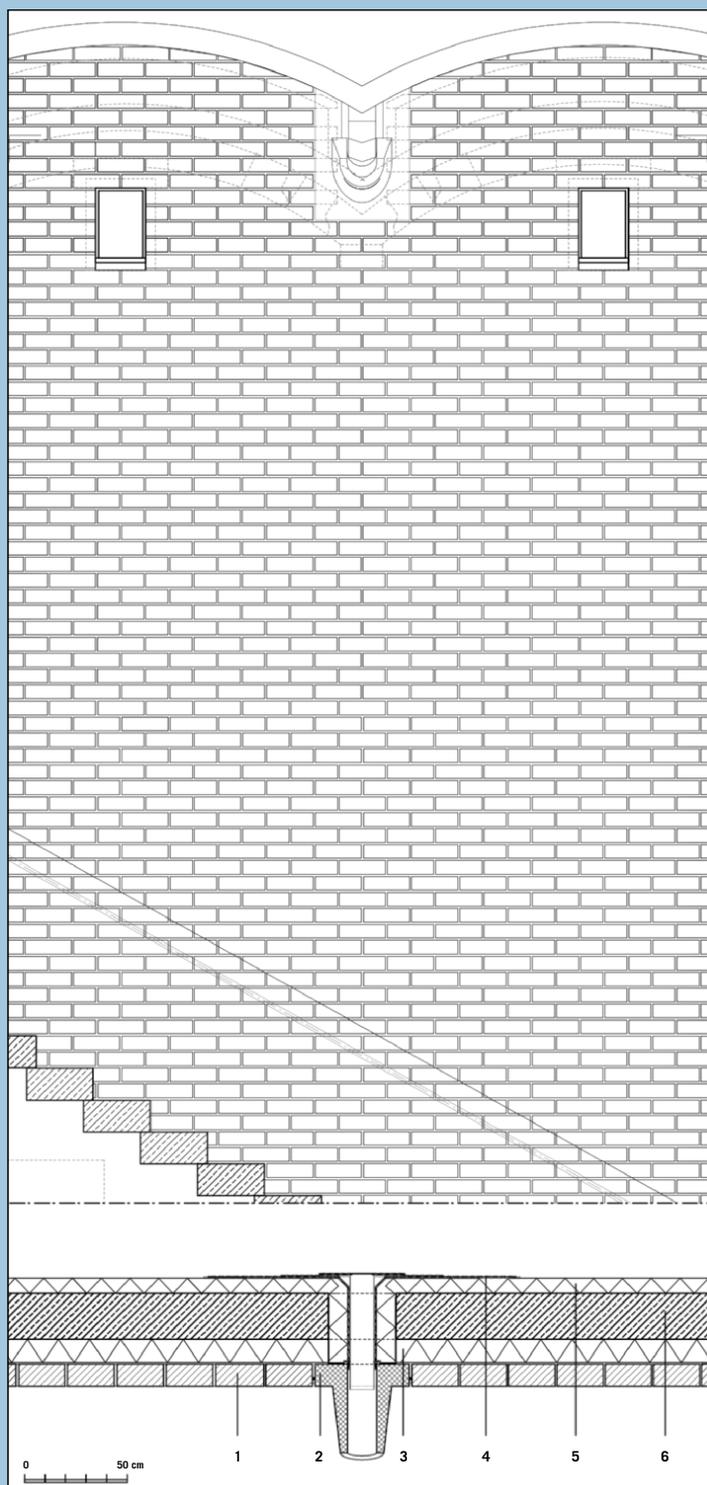
1. laterizio faccia a vista nell'intradosso delle volte
2. doccione prefabbricato in calcestruzzo
3. strato di isolamento termico intermedio
4. doppio manto bituminoso
5. strato in lana di roccia con barriera al vapore
6. cappa in calcestruzzo

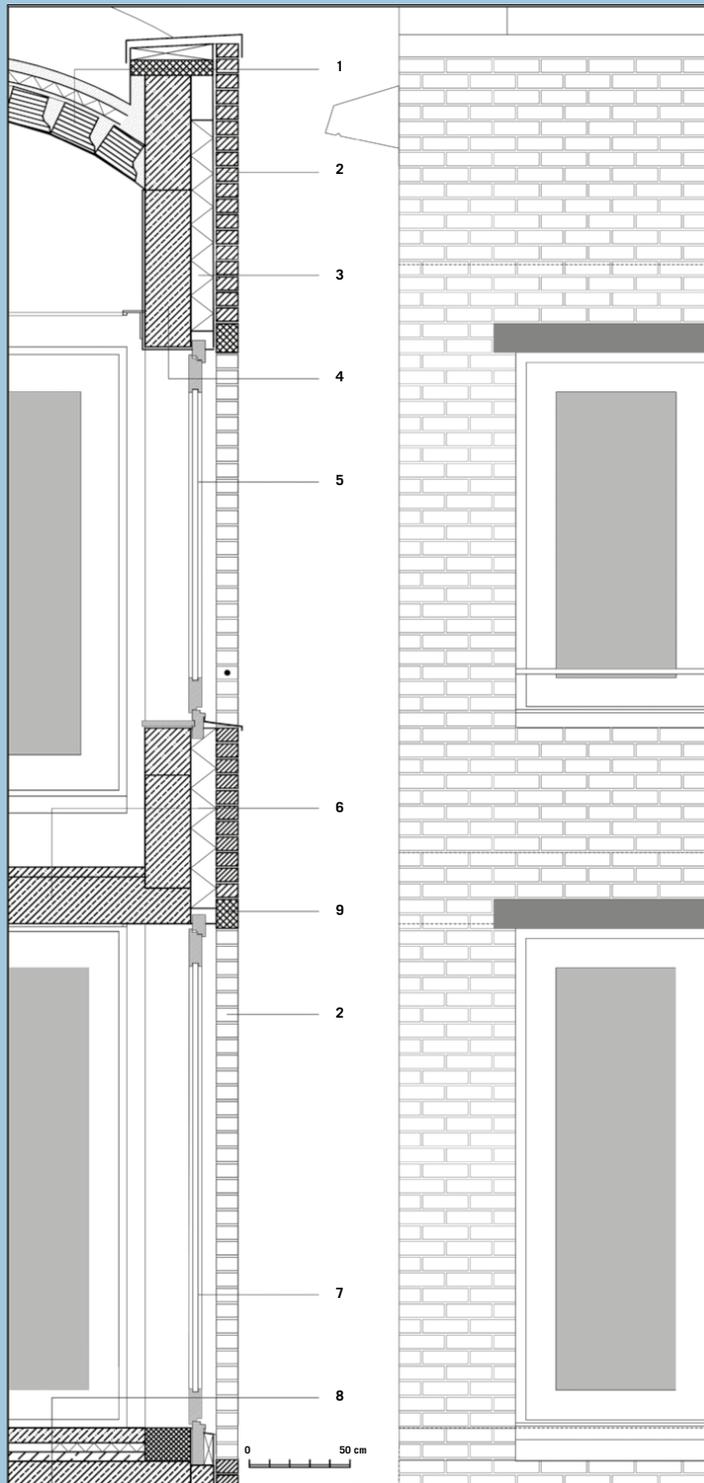


Prospetto nord e sezione delle volte.



Gli spazi voltati interni.





### Dettaglio 3

Prospetto ovest con sezione verticale sul prospetto nord e trasversale alle volte prefabbricate di copertura.

### Descrizione

Le volte sono state prefabbricate su casseri metallici di lunghezza pari a 8,4 metri e con laterizio a vista all'intradosso. I progettisti hanno anche inserito un profilo metallico nella linea di connessione tra il muro verticale in calcestruzzo e l'imbotte della volta, in modo da creare una linea d'ombra tra la sommità alle pareti interne e il primo concio di laterizio.

### Legenda

1. volta prefabbricate in laterizio a vista, cappa di calcestruzzo armato, strato isolante e manto
2. rivestimento in laterizio faccia a vista, spessore 11,5 cm
3. strato isolante
4. setto in c.a. gettato in opera, spessore 24 cm
5. finestra in legno verniciato di bianco con banchina interna ribassata e tubo metallico esterno di protezione
6. solaio intermedio in gettato in opera
7. porta finestra in legno verniciato bianco
8. solaio isolato contro terra
9. architrave prefabbricato in calcestruzzo a vista



Disegni del prospetto ovest e della sezione longitudinale sul volume più basso rivolto a sud.



Vista del fronte ovest caratterizzato dal volume vetrato del corpo scale interno.

I disegni sono stati rielaborati da Alessandra Zanelli sulla base della documentazione gentilmente messa a disposizione dai progettisti.

Andrea Campioli \*

# Dettaglio introverso

**Il progetto di Marco Padovani e Denis Venco è connotato dal rapporto dialettico tra la consistenza massiva delle superfici e dei volumi murari e la permeabilità delle ampie aperture che mettono in relazione gli spazi interni della casa con il circostante paesaggio collinare**

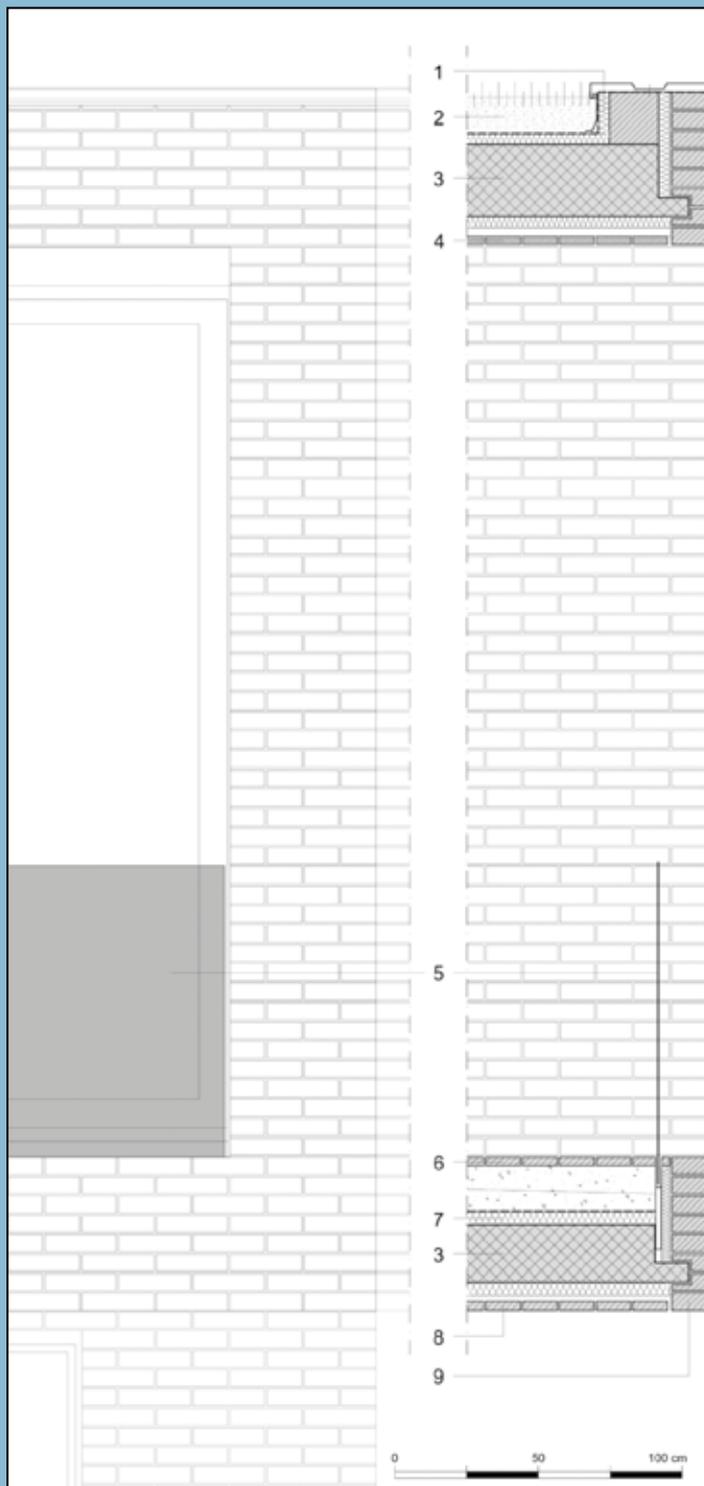
La villa unifamiliare progettata da Marco Padovani e Denis Venco, e realizzata a Recanati nel 2010, occupa un'area defilata e densamente alberata del declivio collinare sul quale sorge la cittadina marchigiana. L'edificio è costituito da una serie di volumi parallelepipedi adagiati sul pendio, dentro ai quali si articola la distribuzione degli spazi interni organizzata su tre differenti livelli. Il livello più basso è destinato all'autorimessa e agli spazi di servizio ed è collegato ai due livelli superiori mediante un ascensore. È parzialmente interrato verso nord e vi si accede dalla strada, a sud. La copertura è «verde» e costituisce l'ampia terrazza sulla quale si affacciano gli spazi collocati al livello intermedio, anch'esso parzialmente interrato verso nord. Qui trovano posto una foresteria con accesso indipendente, un ampio soggiorno con cucina e un'area benessere con una piccola piscina e i relativi servizi. Anche la piscina, collocata sul lato ovest della casa, si affaccia a sud sulla terrazza "verde" attraverso una chiusura completamente vetrata con apertura ad ante scorrevoli. Il livello superiore è caratterizzato da un piccolo atrio centrale a cielo aperto, che funziona come fulcro distributivo. È collegato al livello intermedio mediante l'ascensore e una scala posizionata in adiacenza al lato sud dell'atrio centrale, ma è accessibile anche mediante una scala esterna posta lungo il fianco est della villa. A questo livello trovano posto, verso sud, un grande soggiorno-pranzo con cucina e un piccolo studio e tre camere da letto con due bagni, verso nord. Il soggiorno è caratterizzato da un'ampia e profonda loggia dalla quale è separato mediante una chiusura completamente vetrata con due grandi ante scorrevoli che consentono l'apertura di una metà della superficie trasparente senza ingombro dello spazio interno. L'apertura della loggia è completamente riquadrata dal rivestimento in mattoni faccia a vista che presenta un'altezza di otto corsi nella fascia inferiore e superiore e una larghezza di cinque teste nelle fasce laterali. L'intradosso della loggia è rivestito con doghe di legno; la pavimentazione è in piastrelle di "cotto", mentre il parapetto è costituito da lastre di vetro stratificato sprovviste di corrimano e ancorate al solaio inferiore in modo tale che il sistema di fissaggio risulti completamente

*Marco Padovani and Denis Venco project is characterized by the dialectical relationship between the massive consistency of the walls surfaces and volumes and the permeability of the large openings that connect the house interiors with the surrounding hills*

occultato dal rivestimento in laterizio. La copertura della foresteria funge da terrazza dello studio del livello superiore ed è anch'essa pavimentata con piastrelle in «cotto». Il parapetto, in calcestruzzo armato, è completamente rivestito da una muratura in mattoni faccia a vista che esternamente, riprende senza soluzione di continuità la tessitura del piano sottostante. I volumi del livello superiore hanno una copertura «verde» che mitiga l'inserimento dell'edificio all'interno della rigogliosa vegetazione circostante. La loggia a sud e l'atrio centrale costituiscono due soluzioni architettoniche finalizzate a stabilire una particolare sintonia tra l'edificio e le caratteristiche climatiche locali. Durante il periodo estivo, infatti, la loggia a sud protegge dalla radiazione estiva il fronte di entrambi i livelli, mentre l'atrio centrale migliora la ventilazione naturale degli ambienti interni. La trasparenza dell'involucro vetrato, che delimita quest'ultimo lungo tre lati, moltiplica le possibilità di rapporto visivo tra gli spazi interni della casa e l'ambiente circostante, quasi in contrapposizione alla severità con cui il carattere massivo delle superfici murarie e l'arretramento dei serramenti rispetto al filo del rivestimento sembrano opporsi alla vista dall'esterno. Dal punto di vista costruttivo, l'edificio è realizzato con struttura portante in calcestruzzo armato e solai in laterocemento. I tamponamenti sono realizzati con blocchi di laterizio alleggerito in pasta, una controparete interna in laterizi forati intonacati e un rivestimento esterno costituito da una muratura a una testa in mattoni faccia a vista (dimensioni 12 x 25 x 5,5 cm), di colore paglierino. Il dettaglio costruttivo è stato trattato con cura esemplare, sia nella realizzazione delle murature di rivestimento, sia nell'accostamento delle molteplici soluzioni tecniche e dei differenti materiali che caratterizzano la delimitazione dell'atrio interno. Esternamente, il dettaglio si risolve in una rigorosa ed essenziale composizione della tessitura delle murature faccia a vista che, in corrispondenza dei risvolti e delle aperture delle finestrate, si interrompe rispettando con precisione la modularità del mattone. Al contrario, verso l'interno, il dettaglio si arricchisce, centrando l'obiettivo di mettere a sistema le complesse relazioni tra rivestimenti in legno, intonaci, superfici vetrate, murature in mattoni, pavimentazioni in legno e in laterizio.¶

\* Professore ordinario, Politecnico di Milano

*I disegni sono stati rielaborati da Andrea Bianchi sulla base della documentazione cortesemente messa a disposizione dai progettisti.*



**Dettaglio 1**

Prospetto e sezione verticale della loggia a sud.

**Descrizione**

La loggia esposta a sud è costituita da un doppio sbalzo in calcestruzzo armato chiuso sui lati est e ovest. L'apertura della loggia è completamente riquadrata dal rivestimento in mattoni faccia a vista che presenta un'altezza di otto corsi nella fascia inferiore e superiore e una larghezza di cinque teste nelle fasce laterali. L'intradosso della loggia è rivestito con doghe di legno, la pavimentazione è in piastrelle di «cotto», mentre il parapetto è costituito da lastre di vetro stratificato fissate al solaio inferiore.

**Legenda:**

1. scossalina metallica
2. copertura a verde
3. solaio in laterocemento
4. rivestimento in doghe di legno
5. parapetto in vetro stratificato
6. pavimentazione in piastrelle di laterizio
7. isolante
8. rivestimento in piastrelle di laterizio
9. rivestimento in mattoni faccia a vista



Pianta del livello superiore; prospetto e vista del fronte sud.

Marco Padovani, Denis Venco, *Villa unifamiliare*, Recanati, 2010

**Dettaglio 2**

Sezione verticale e prospetto della finestra a sud del volume con terrazza.

**Descrizione**

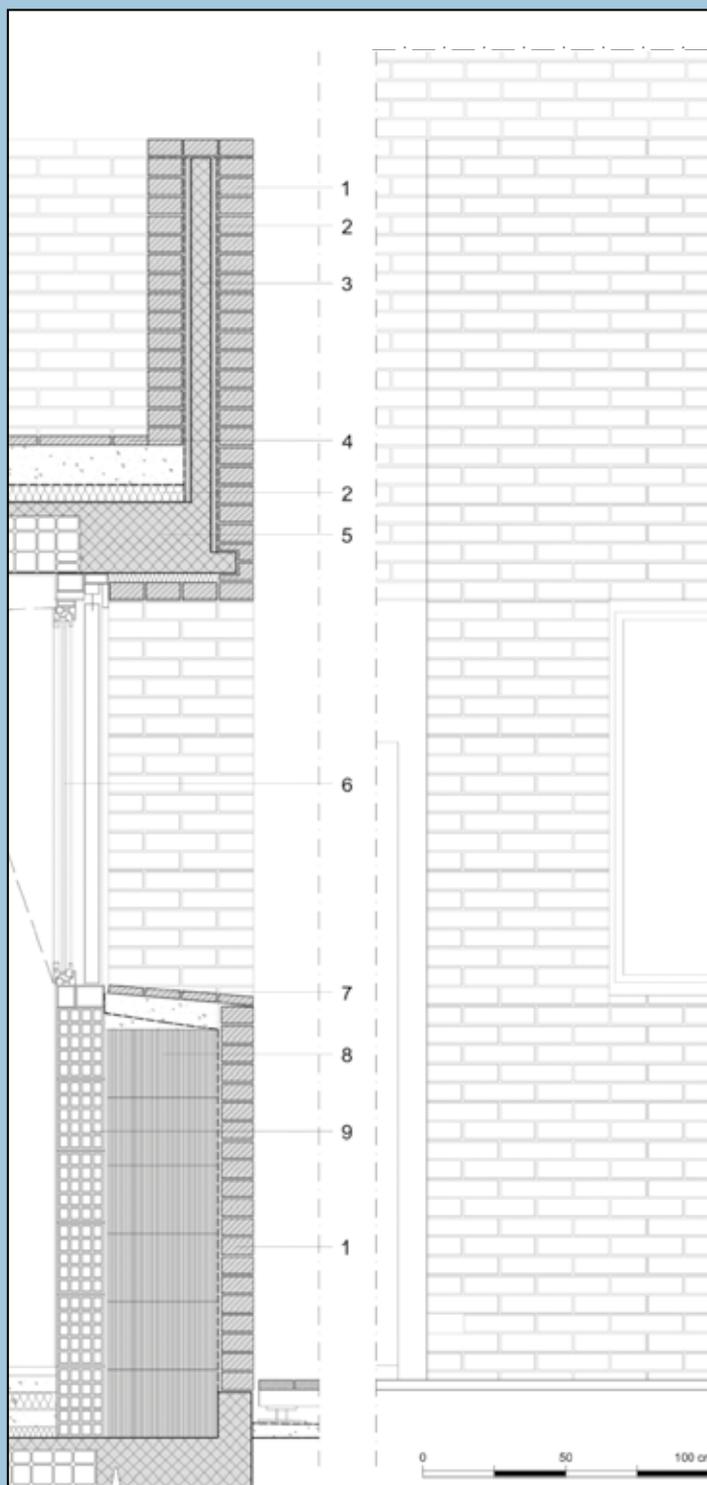
La terrazza dello studio, posto al livello superiore, è delimitata da un parapetto in calcestruzzo armato interamente rivestito da una muratura in mattoni faccia a vista. Il rivestimento esterno riprende senza soluzione di continuità la tessitura del piano sottostante, interrotta da un vano finestra profondo quattro teste.

**Legenda:**

1. rivestimento in mattoni faccia a vista
2. isolante
3. parapetto in calcestruzzo armato
4. pavimentazione in piastrelle di laterizio
5. solaio in laterocemento
6. serramento apribile con vetrocamera
7. rivestimento in piastrelle di laterizio
8. muratura in blocchi di laterizio
9. controparete in laterizi forati



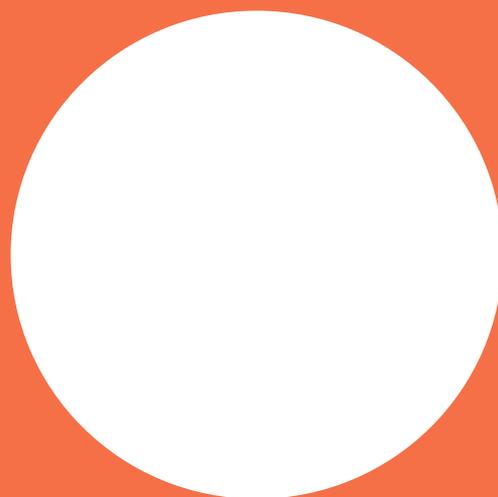
Vista della villa dal basso e scorcio del fronte sud con la grande loggia e il volume a terrazza della camera da letto del piano seminterrato.







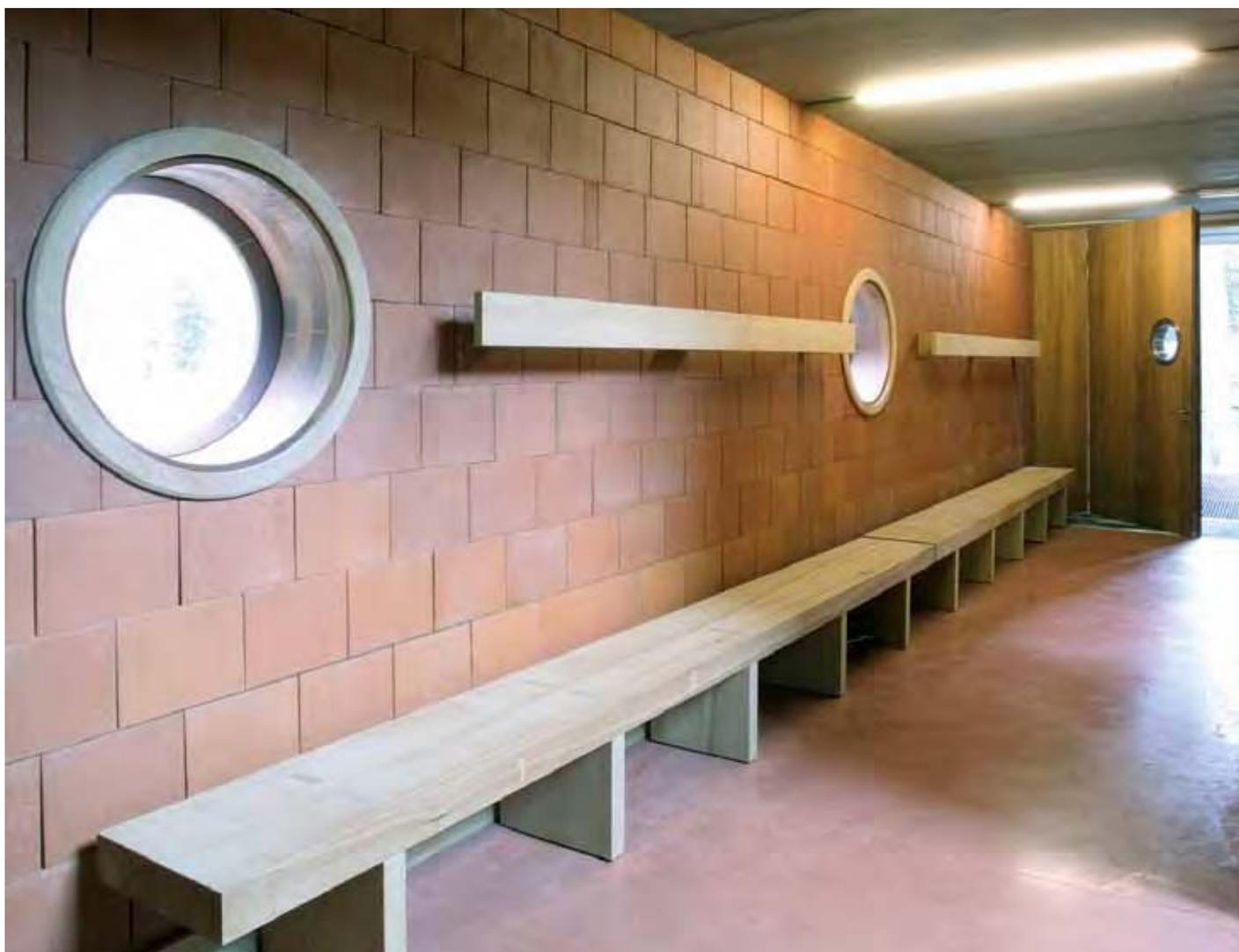
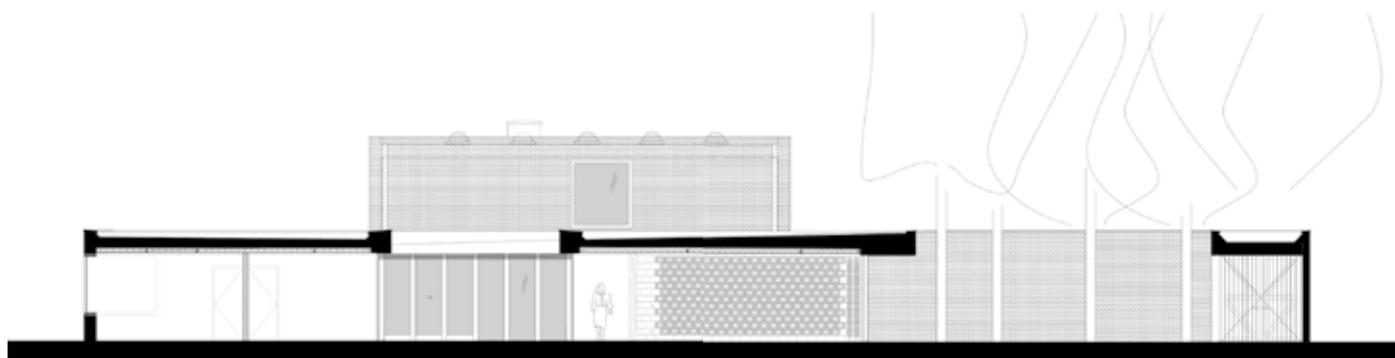




**Architettura**

# Centro d'assistenza De Ark ad Hasselt, Belgio

Lens°Ass architecten





**Scheda tecnica**

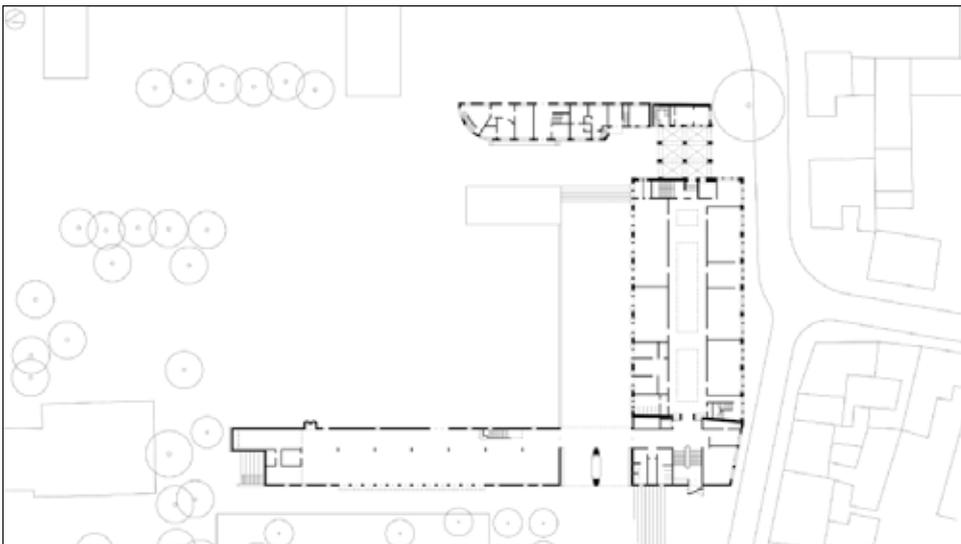
Località: Hasselt  
Progetto architettonico: Lens°ass Architecten  
Progetto strutturale: Walter Van Erum  
Cronologia: (completamento) 2012  
Superficie: 363 m<sup>2</sup>  
Costo complessivo: 450.800,00 €  
Fotografie: Philippe Van Gelooven



# Centro di formazione a Ascherslebe, Germania

LRO Lederer Ragnarsdóttir Oei





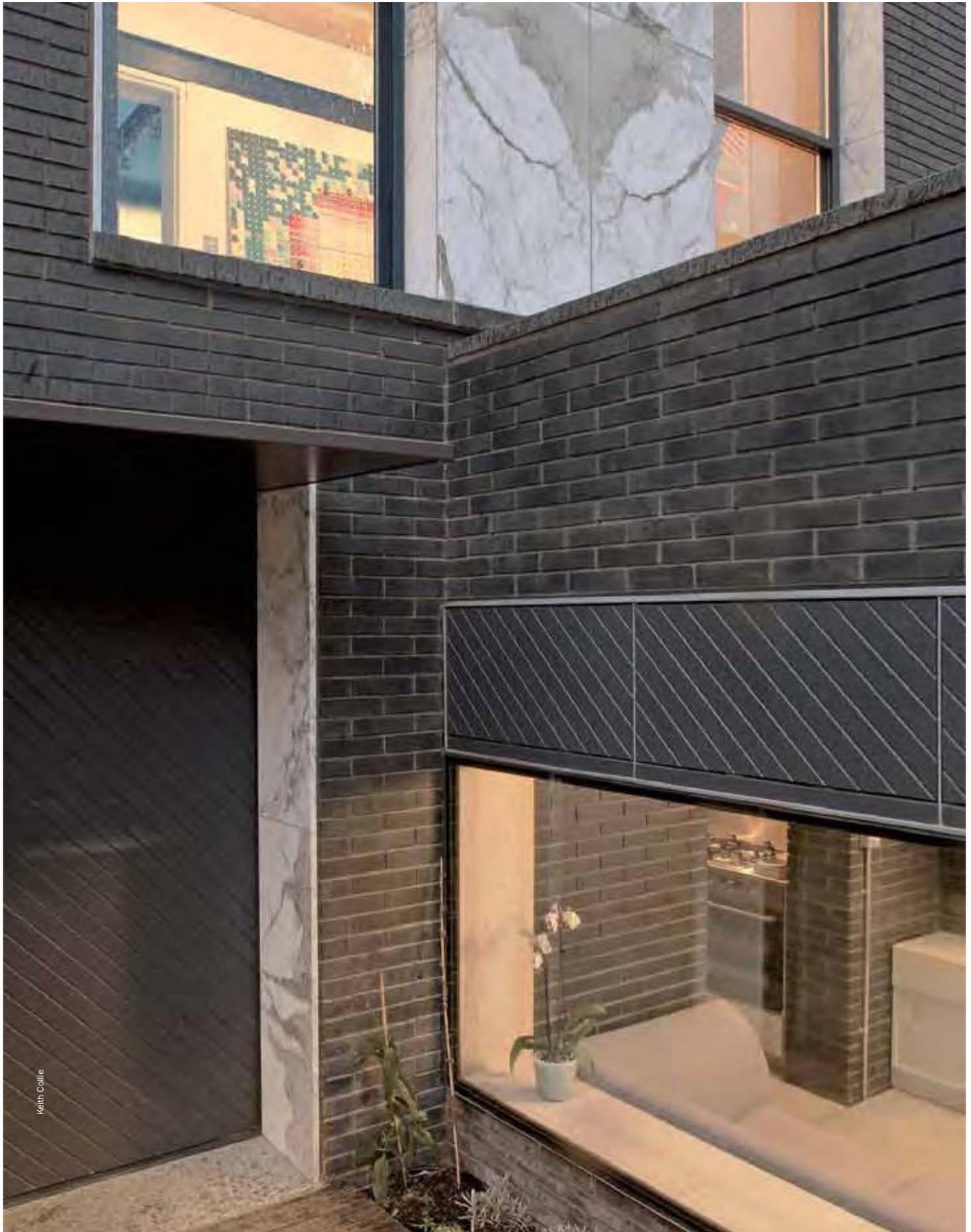
**Scheda tecnica**

Oggetto: Centro di formazione  
 Località: Aschersleben (D)  
 Committente: Città di Aschersleben attraverso OB Andreas Michelmann  
 Progetto architettonico: LRO Architekten – Arno Lederer Jörunn Ragnarsdóttir Marc Oei Katja Pütter, Anne Egenhofer, Arno Schöne, Christian Wendlandt, Marco Garcia-Barth  
 Collaboratori:  
 Progetto strutturale: Studio di ingegneria Fankhänel und Müller  
 Cronologia: 2005 (bando di concorso) 2008-2010 (costruzione)  
 Fotografie: Roland Halbe

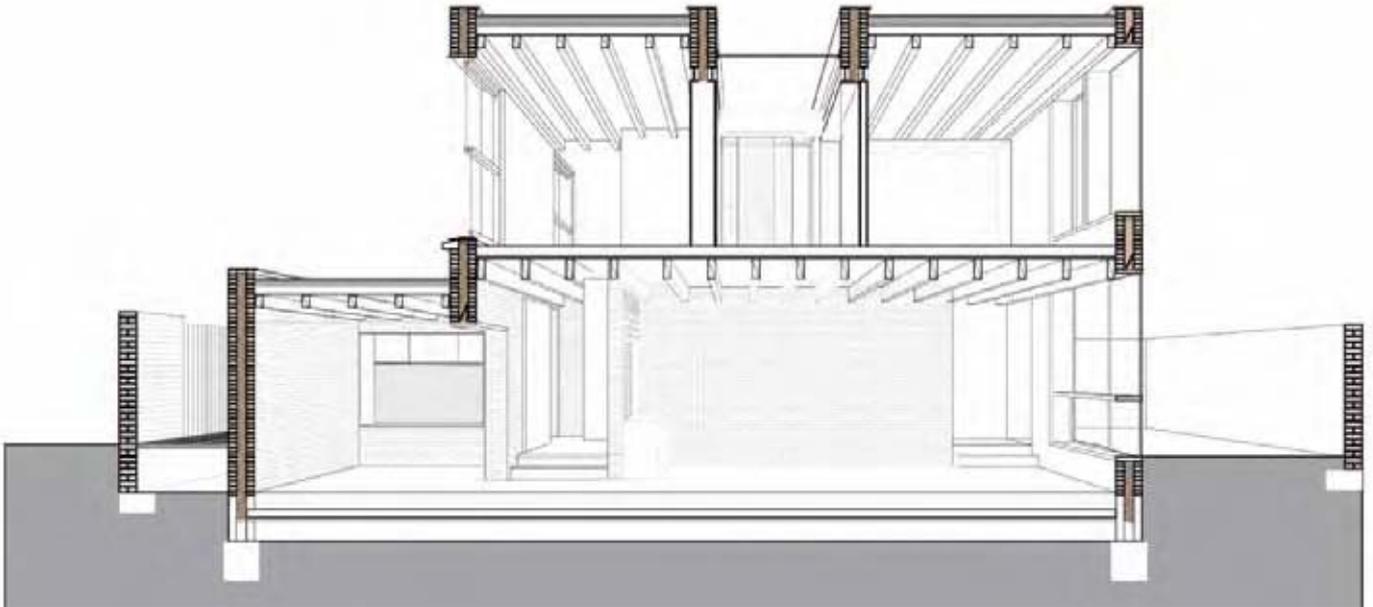


# Shadow House, Londra Gran Bretagna

DAVID LIDDICOAT & SOPHIE GOLDHILL



Keith Collie



**Scheda tecnica**

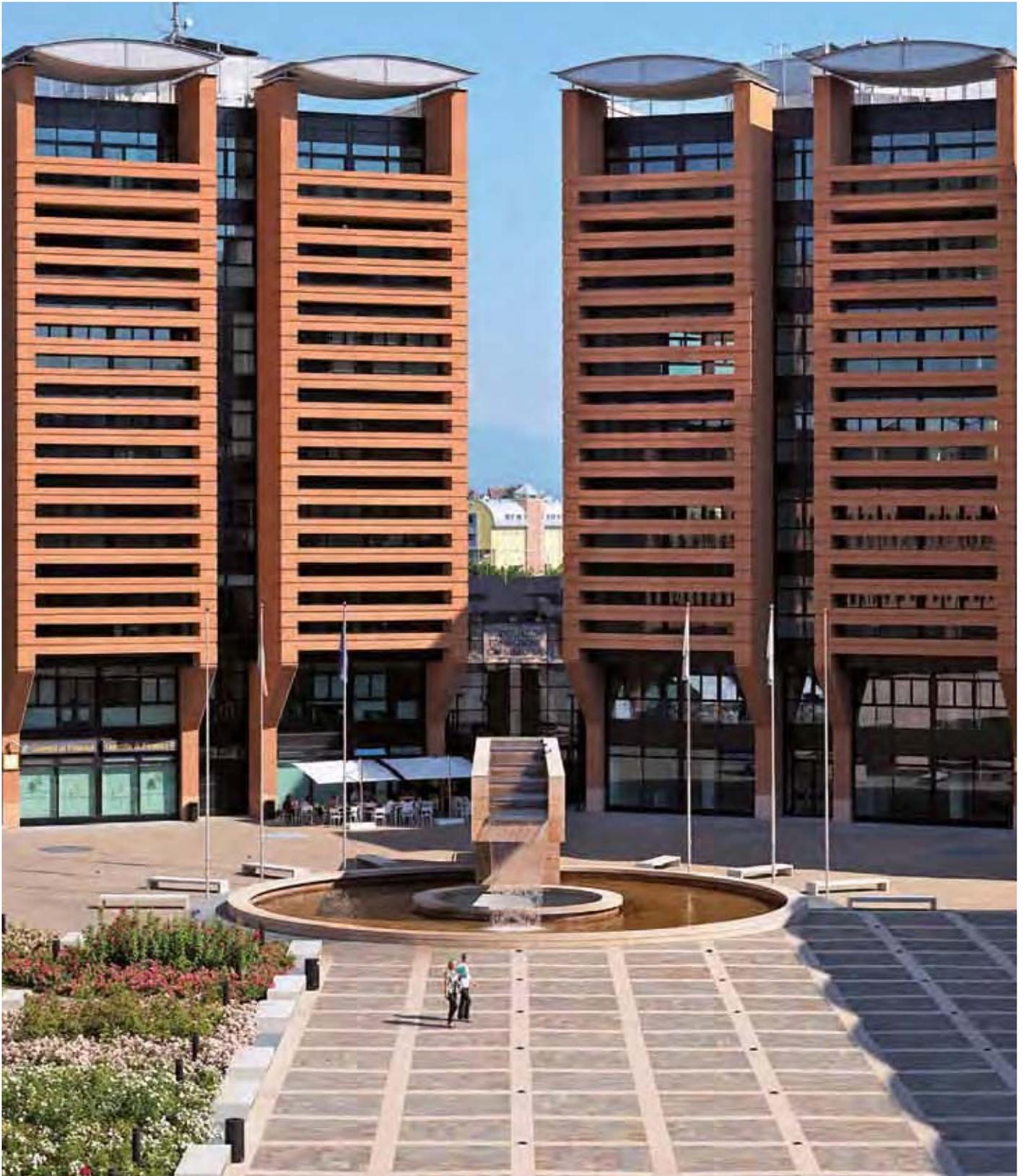
Località: 38a St.Paul's Crescent,  
London, NW1 9TN  
 Progetto architettonico: Liddicoat & Goldhill LLP  
 Progetto strutturale: Peter Kelsey Associates  
 Committente: David Liddicoat  
 & Sophie Goldhill  
 Superficie: 77 m<sup>2</sup>  
 Costo complessivo: 210,000 £  
 Realizzazione: 2011  
 Fotografie: KeithCollie e TomGildon

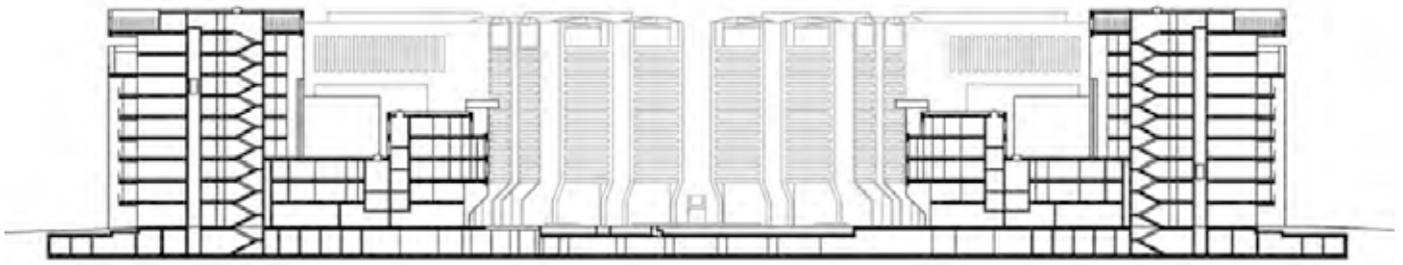


Keith Collie

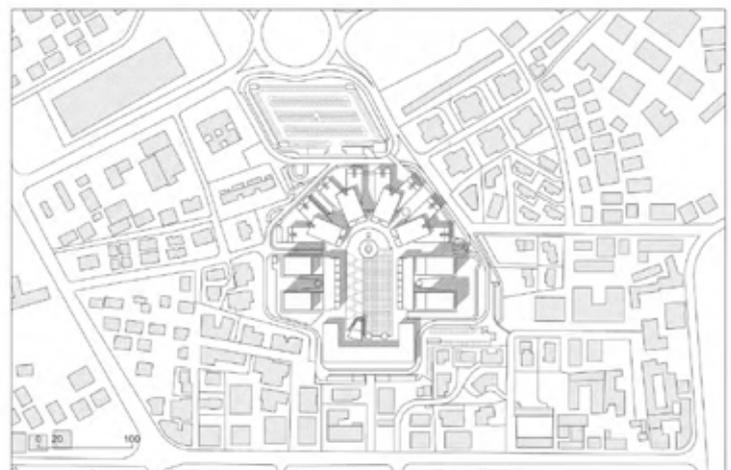
# Complesso polifunzionale area ex-Appiani, Treviso

**MARIO BOTTA**





Cortina Cassarà

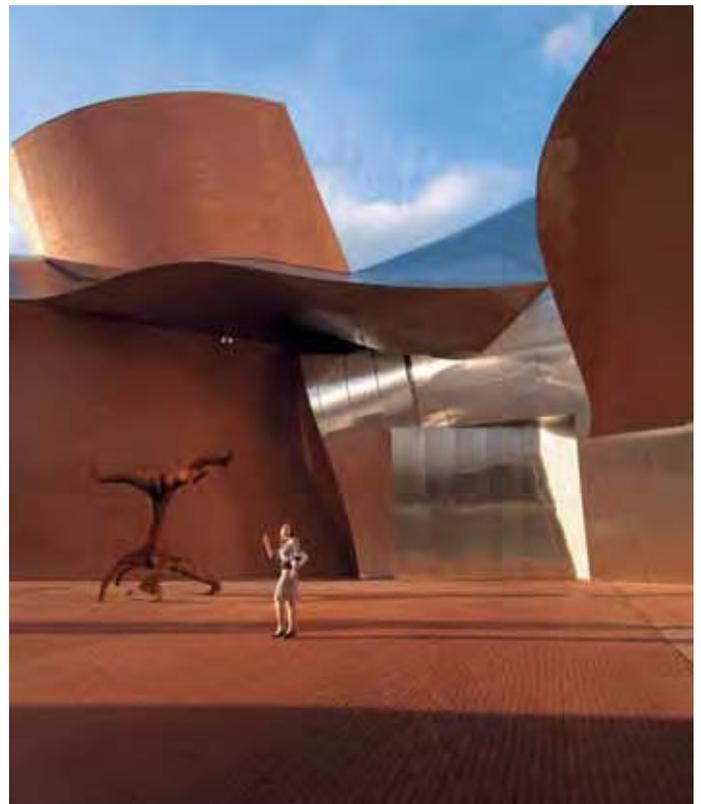
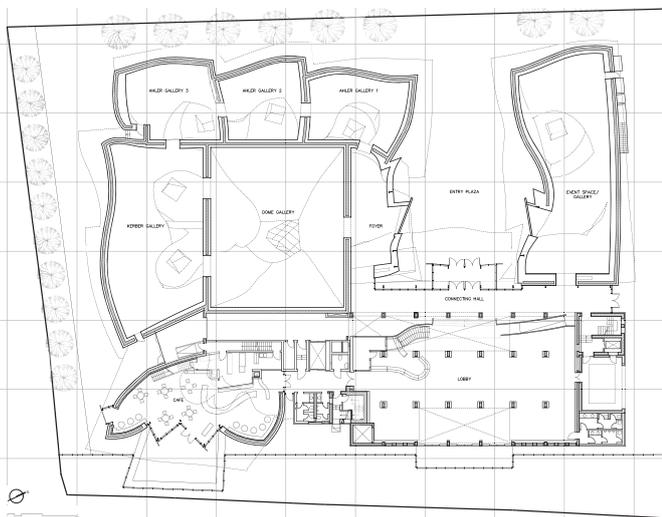
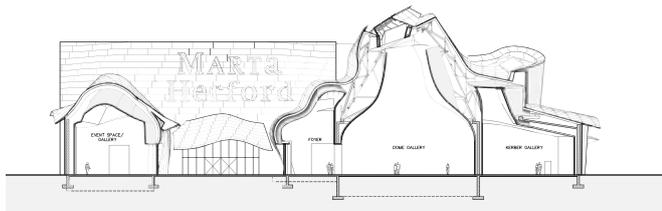
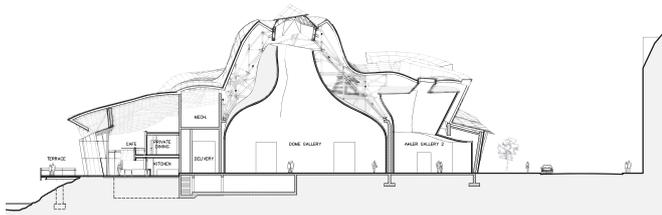


**Scheda tecnica**

|                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| Località:                | area ex-Appiani, Treviso      |
| Progetto architettonico: | Mario Botta                   |
| Direzione lavori:        | Piero Semenzato               |
| Committente:             | Fondazione Cassamarca Treviso |
| Realizzazione:           | 2004-2012                     |
| Fotografie:              | Enrico Cano                   |

LLP MARTa Herford, Herford  
Germania  
Gehry Partners





**Scheda tecnica**

Progetto: Gehry Partners, LLP  
 Sup. area: 7.780 m<sup>2</sup>  
 Cronologia: 1998, progetto;  
 2004-08, fine lavori  
[www.marta-herford.de](http://www.marta-herford.de)

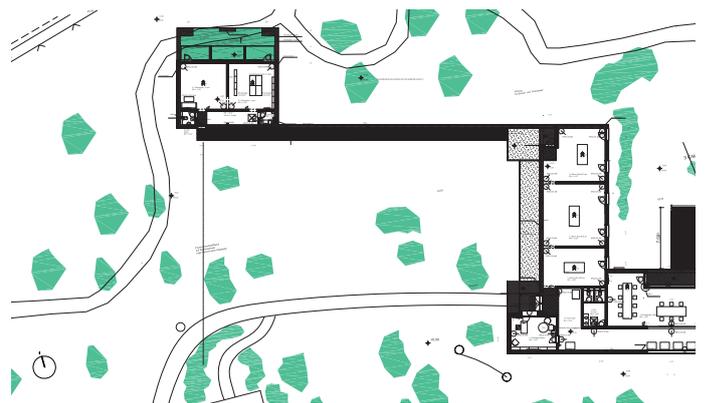
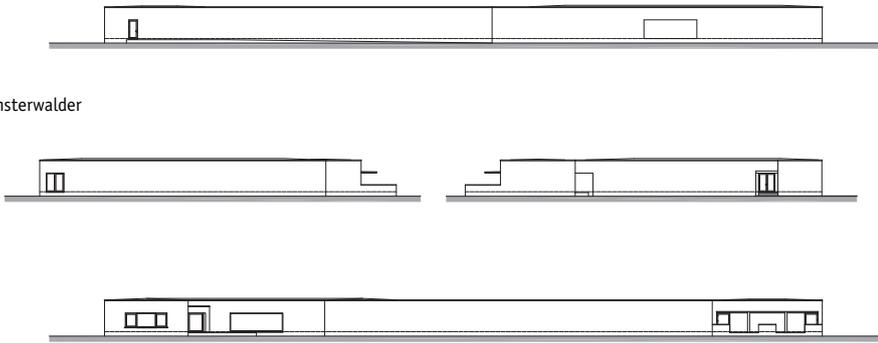
Museo dell'architettura per la Fondazione  
dell'Isola di Hombroich, Neuss, Germania  
**Álvaro Siza, Rudolf Finsterwalder**





**Scheda tecnica**

Località: Neuss, Gemania  
 Progetto architettonico: Álvaro Siza Vieira, Rudolf Finsterwalder  
 Progetto strutturale: Horst Kappauf  
 Committente: Stiftung Insel Hombroich  
 Fotografie: Fernando Guerra I FG+SG





# Elementi faccia a vista



I laterizi e gli elementi speciali faccia a vista costituiscono la “nobilitazione” del mattone comune per muratura. La loro produzione richiede l’uso di argille selezionate, scelte in modo che il prodotto finale presenti adeguate caratteristiche estetiche, la massima resistenza agli agenti atmosferici e le prestazioni proprie di un materiale destinato ad essere lasciato a vista.

Hanno vari aspetti (in forma e colori) e trattamenti superficiali (rullati, sabbati, graffiati, ecc.). In relazione alle diverse tipologie di produzione si possono classificare in “**estrusi**” (pieni, semipieni o forati), “**pasta molle**” (fatti a mano o meccanicamente), “**pressati**” (pieni, con percentuale di umidità dell’impasto che varia dal citato “pasta molle” al secco). Oltre ai diversi tipi di faccia a vista vengono prodotti pezzi speciali (in piccole quantità o su specifico disegno) per archi e colonne, per cimase, cornici e scalini, per pavimentazioni, arredo urbano, ecc.

Della stessa famiglia fanno parte anche i “**listelli**” ed i “**frangisole**”, elementi ad elevata percentuale di foratura, con disposizioni particolari dei setti, per tamponamenti verticali trasparenti caratterizzati da rese estetiche estremamente suggestive e l’ombreggiamento degli edifici secondo i criteri della “bioedilizia”.

A questa famiglia di prodotti afferiscono anche le “**pareti/facciate ventilate**” in laterizio, ottime soluzioni per l’isolamento termico ed acustico, utilizzabili anche per il retrofitting energetico degli edifici esistenti.



# Credits

Il materiale presente in questa pubblicazione è di proprietà di Andil/Laterservice srl:

ANDIL

Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi

Via A. Torlonia 15, 00161 Roma

andil@laterizio.it - www.laterizio.it

ed è tratto dalle seguenti pubblicazioni:

In copertina dettaglio del Complesso residenziale Horsted Park, Chatam (Proctor and Matthews Architects).

Isolanti naturali e laterizi a vista. - I laterizi come sistema di «moisture buffering», Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, Costruire in Laterizio n. 152, aprile 2013

I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico», Marco D'Orazio, Gianluca Cursio, Costruire in Laterizio n. 154, ottobre 2013

“Facciate in laterizio faccia a vista contro il bio-degrado: risultati analitici”, Marco D'Orazio, Gianluca Cursio, Costruire in Laterizio n. 157, aprile 2014

“NZEB e degrado biologico delle superfici”, Costruire in Laterizio n. 161, febbraio 2015

Ancoraggi e graffi nei paramenti in laterizio faccia a vista, Claudio Piferi, Costruire in Laterizio n. 136, luglio-agosto 2010

La progettazione sismica nelle murature “faccia a vista”: dettagli costruttivi, P. Morandi, G. Magenes, S. Hak, Newsletter del Faccia a Vista, luglio 2012 - numero 42.

Divisori, tamponamenti e facciate in laterizio negli edifici in c.a.: Le verifiche sismiche per le pareti non strutturali, A. Di Fusco, Ingegno INGENIO n.19, del 25/02/2014, [http://www.ingegno-web.it/Rivista/87/INGENIO\\_n.19.html](http://www.ingegno-web.it/Rivista/87/INGENIO_n.19.html)

Prestazioni termiche e acustiche di soluzioni di involucro in laterizio, A cura di: Carol Monticelli, con il coordinamento di Andrea Campioli (Dipartimento BEST, Politecnico di Milano), Simone Secchi (Dipartimento TAED, Università degli Studi di Firenze), per la ricerca relativa alle prestazioni acustiche delle soluzioni di involucro, Roma, ANDIL 2014.

Qualità ambientale delle pareti in laterizio tratto da “Pareti leggere e stratificate in laterizio. Il progetto e la qualità delle pareti di divisione, separazione e tamponamento”, di Adolfo. F.L. Baratta, Edizioni Laterservice, Roma 2008.

Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali, M. Chiara Torricelli, Caterina Gargari, Elisabetta Palumbo, Costruire in Laterizio n. 136, lug./ago. 2010.

Proctor e Matthews in dettaglio, Andrea Campioli, Costruire in Laterizio n. 164, ottobre 2015

Autenticità costruttiva, laterizio e spazi interni, M. Lavagna, Costruire in Laterizio n. 162, aprile 2015

Una scuola di mattoni, Andrea Campioli, Costruire in Laterizio n. 160, dicembre 2014

Evanescenze in laterizio, Alessandra Zanelli, Costruire in Laterizio n. 153, giugno 2013

Laterizio e prefabbricazione, Alessandra Zanelli, Costruire in Laterizio n. 157, aprile 2014

Dettaglio introverso, Andrea Campioli, Costruire in Laterizio n. 147, maggio/giugno 2012

Lens°Ass architecten, Centro d'assistenza De Ark ad Hasselt, Belgio, Alberto Ferraresi, Costruire in Laterizio n. 158, giugno 2014

LRO Lederer Ragnarsdóttir Oei - Centro di formazione a Aschersleben, Germania, Nicoletta Setola, Costruire in Laterizio n. 157, aprile 2014

David Liddicoat & Sophie Goldhill, Shadow House, Londra, Carmen Murua, Costruire in Laterizio n. 149, ottobre 2012

Mario Botta, Complesso polifunzionale area ex-Appiani a Treviso, Chiara Testoni, Costruire in Laterizio n. 150, Dicembre 2012

Gehry Partners, LLP MARTa Herford, Herford, Germania, Alberto Ferraresi, Costruire in Laterizio n. 134, marzo/aprile 2010

Álvaro Siza, Rudolf Finsterwalder Museo dell'architettura per la Fondazione dell'Isola di Hombroich, Neuss, Germania, Igor Maglica, Costruire in Laterizio n. 137, Settembre/Ottobre 2010



Iscriviti subito a [laterizio.it](http://laterizio.it)!

Potrai creare un tuo profilo personale con i progetti che ami di più, scaricare i materiali completi delle normative e accedere a molti altri contenuti



La tua casa in **cotto**,  
una scelta consapevole



Wimbledon Library

Your fired **clay** home,  
a sensible choice



[www.andil.it](http://www.andil.it) | [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)

LATERIZIO.it

**COSTRUIRE  
IN LATERIZIO**

