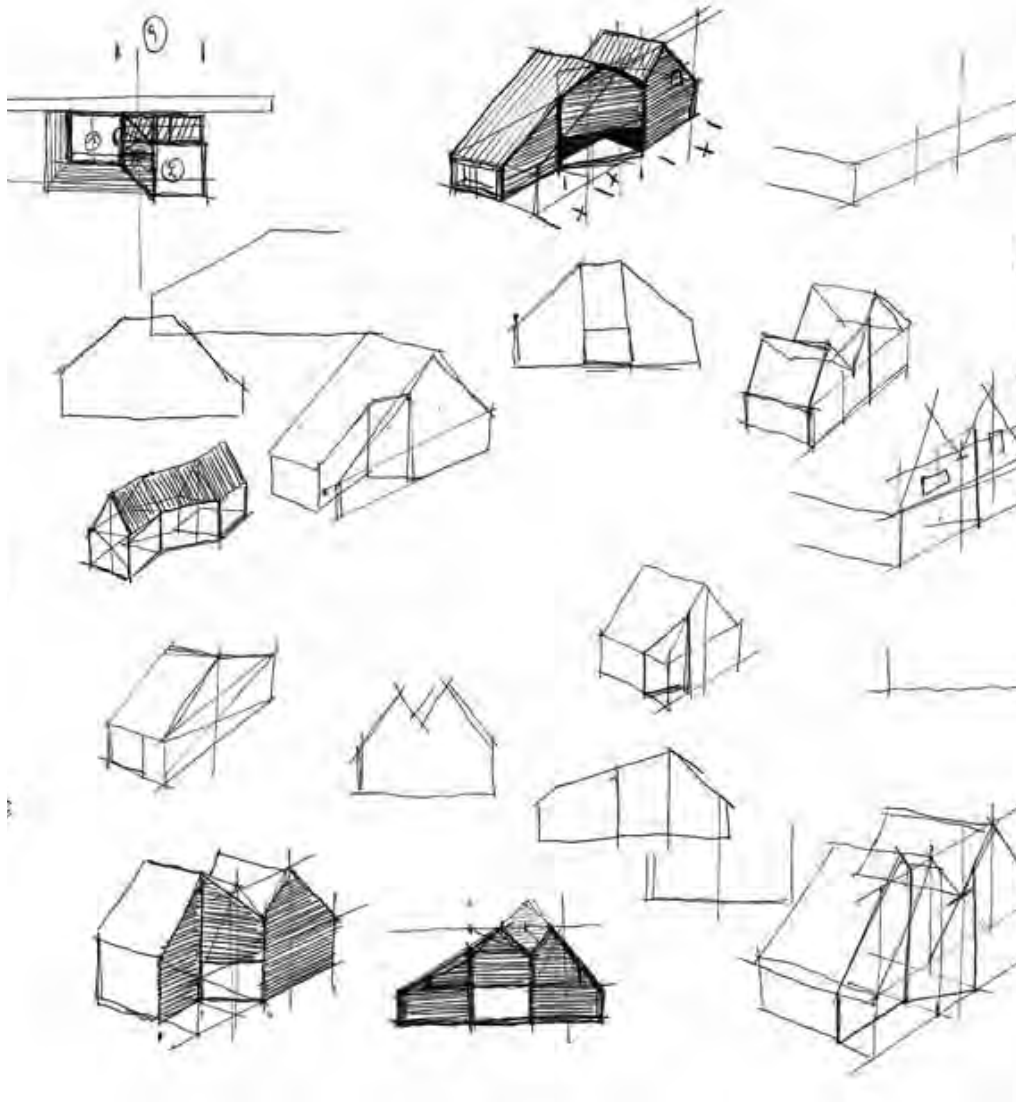


Tetti a falde e manti in laterizio




Made in Italy

100%
NATURAL
COTTO



Indice

Prefazione	7
 Ricerca	9
<i>Prestazioni termo-igrometriche</i>	
Indagine sui difetti costruttivi negli edifici della Toscana occidentale mediante lo studio dei contenziosi giudiziari	11
Prestazioni termiche estive: confronto tra tetti a falda e coperture piane	15
Manti di copertura in laterizio: soluzioni per il comfort termoigrometrico	21
Manti permeabili per tetti “traspiranti”	24
Influenza delle proprietà radiative del manto sul comportamento termico di sistemi di copertura	30
<i>Isola di calore</i>	
Laterizi ed «isola di calore»: strategie cool nella tradizione	34
Isola di calore e surriscaldamento estivo: cool colors in laterizio	39
<i>Fonti rinnovabili</i>	
Impianti fotovoltaici: produttività ed applicazioni	45
Energia dal tetto in laterizio: i sistemi solari in copertura	49
Energia dal tetto con i sistemi solari: valutazione sperimentale delle prestazioni	52
<i>Sostenibilità</i>	
Qualità ambientale delle soluzioni in laterizio	56
Il profilo ambientale delle coperture in laterizio	68
Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali	74



Tecnologia

	80
La forma del tetto e la durabilità	83
Progettazione, esecuzione e manutenzione delle coperture discontinue	86
Laterizio e contrasti cromatici	90
Una copertura tra innovazione e tradizione	94
Pixel di laterizio per comunicazione mediatiche di copertura	98



Architettura

	102
Museo dell'agricoltura finlandese, Loimaa	104
Centro per la documentazione del Parco del Tevere, Terni	106
Langerak housing, Utrecht	108
Insediamiento residenziale, Sestri Levante	110
Chiesa parrocchiale Santa Famiglia, Palmi	112
Casa Giacomelli, Senigallia	114

Credits	116
---------	-----





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 | www.laterizio.it

© 2015

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 colore rosso laterizio al primo sguardo caratterizza fortemente la penisola italiana che appare coperta da un raffinato ordito, formato di tegole e coppi in cotto. Il visitatore che gode del panorama di una delle nostre bellissime città non può che restare ammirato da come il tempo ha saputo modificare i colori originali degli elementi di copertura in laterizio; le forme praticamente immutate per tre millenni assumono tutte le tonalità del rosso, uno spettacolo dovuto alla stessa essenza del laterizio, che invecchiando diventa ancor più naturale e bello.

Le esigenze accresciutesi in questi ultimi anni in termini di risparmio energetico, isolamento acustico, comfort abitativo, rispetto dell'ambiente, hanno comportato una inevitabile rilettura della funzione del tetto, che non è più semplice protezione dagli agenti atmosferici. Le tegole in laterizio si sono quindi dovute evolvere nella gamma tipologica e nelle caratteristiche prestazionali, ed oggi rappresentano ancora, come al tempo degli Antichi Romani, il migliore, più elegante e duraturo sistema di copertura di un edificio.

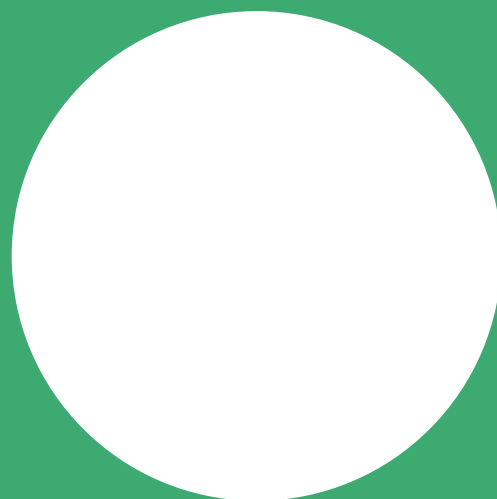
Il tetto di una abitazione oggi è diventato un sistema complesso nel quale, sotto il manto in "cotto", si nasconde e compartecipa dinamicamente una molteplicità di strati, aventi ciascuno una specifica funzione (dissipazione di calore, isolamento termico, tenuta all'aria, barriera al vapore, schermatura radiativa, ecc.), è dunque fondamentale che le aziende produttrici siano in grado di assicurare un costante apporto in termini di ricerca e sviluppo dei prodotti per copertura, per mantenere competitivo il nostro prodotto rispetto alle alternative possibili. A tale esempio possiamo citare le nuove tegole con engobbi riflettenti, le nuove forme capaci di semplificare e velocizzare la posa in opera, i sistemi di ventilazione proposti da ogni produttore in grado di smaltire calore ed umidità dal sottotegola. Purtroppo la costruzione del tetto viene troppo spesso data per scontata, si adottano tecniche non corrette "io l'ho sempre fatto così", non si usano le stesse attenzioni riservate oggi alle pareti esterne dell'abitazione, come se il tetto non influisse sulle qualità complessive della casa; tale banalizzazione comporta spesso negative conseguenze su durabilità, costi di manutenzione, prestazioni ed estetica.

ANDIL ha voluto pertanto raccogliere in questo dossier una serie di articoli suddivisi in tre macroaree, rispettivamente: Ricerca, Tecnologia, Dettagli Costruttivi ed Architettura, allo scopo di diffondere la buona cultura del "Progettare e Costruire Consapevole", per fornire spunti e concorrere al buon costruire di cui noi Italiani siamo da sempre Maestri.

Gianni Meneghini

Presidente della Macro Sezione ANDIL "Laterizi a Vista"





Ricerca

Indagine sui difetti costruttivi negli edifici della Toscana occidentale mediante lo studio dei contenziosi giudiziari

DI N. GUCCI*, P. BAROLO**, M. SASSU***

* DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, UNIVERSITÀ DI PISA

** INGEGNERE, LIBERO PROFESSIONISTA, PISA

*** DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE, UNIVERSITÀ DI PISA

Si espone una vasta indagine sui contenziosi giudiziari per difetti costruttivi svoltisi negli anni '90 in edifici nelle province di Livorno, Lucca e Pisa. La classificazione di 138 sentenze, su circa 200 cause inoltrate presso i competenti tribunali, ha consentito la formulazione di un quadro statisticamente significativo circa i più frequenti difetti costruttivi degli edifici attuali. Grande importanza assumono gli errori di progettazione in rapporto a quelli di costruzione, mentre sono i difetti di natura termofisica ad originare il maggior numero di contenziosi. Emergono fra tutti la progettazione per fasi, che è in contrasto con la necessità di verifica e correzione del tradizionale processo progettuale, e l'illusorio ruolo dello "specialista" o dei "prodotti speciali", rivolto a supplire alle manchevolezze del progetto. Quest'ultimo è finalizzato troppo spesso al soddisfacimento dei soli aspetti estetico e commerciale.

INTRODUZIONE

L'insoddisfazione di molti utenti nei riguardi del prodotto "edificio moderno" è emblematicamente misurabile attraverso il luogo comune, ormai invalso, per il quale una "casa d'epoca" è considerata un bene durevole, di pregio, ben inserito nel territorio e nella sua storia, in cui è piacevole e prestigioso abitarvi nonché conveniente investirvi. Al contrario, la "casa moderna" è spesso associata all'idea d'oggetto poco durevole, bruttino o, con la pretenziosità di un progettista supponente, talora costruito al risparmio e probabile fonte di guai e inconvenienti. La casa d'epoca è così diventata sinonimo di solidità e salubrità termica a scapito di quella moderna che si è squalificata anche per difetti tecnici, paradossalmente in un contesto di grande progresso tecnologico utilizzato però più per rimediare a difetti di concezione che per conferire qualità superiori.

LE SENTENZE GIUDIZIARIE COME DATA-BASE

Una misura oggettiva del grado d'insoddisfazione del cittadino può essere fornita dall'esame dei conten-

ziosi giudiziari che rappresentano il tipico strumento con cui il committente può manifestare la propria delusione e ricercare un risarcimento, fatte salve le situazioni in cui non si giunge a tanto, sia per la modesta entità del difetto, sia per la capacità delle controparti di addivenire ad una conciliazione, e che pertanto sfuggono ad ogni indagine.

Solo pochi casi eclatanti, sulla moltitudine degli insuccessi costruttivi, giungono alla ribalta dei mezzi di comunicazione o all'attenzione del mondo scientifico e possono essere studiati, mentre la procedura giudiziaria, con la presenza dei tecnici di parte e del tecnico di fiducia del giudice, il cosiddetto CTU, assicura un'istruttoria approfondita per contraddittorio sui fatti e, nel caso di tecnici d'adeguata professionalità, una soddisfacente disamina delle cause, dei danni prodotti e dei possibili rimedi.

In definitiva, gli archivi giudiziari contenenti le sentenze dei tribunali, in tal senso di pubblico accesso, rappresentano una fonte di grande importanza non ancora sfruttata per mettere a fuoco i punti critici delle costruzioni moderne e dar conto della sensazione, spesso diffusa fra i cittadini, semplici utenti e quindi valutatori privi di pregiudizi, sul fatto che l'inevitabile progresso della tecnica delle costruzioni, in termini di materiali, mezzi e conoscenze, non si sia tradotto in uguale progresso delle costruzioni. Il presente studio costituisce un esempio delle potenzialità del metodo proposto. Si sono prese in esame le sentenze presso i tribunali delle province di Livorno, Lucca e Pisa, competenti su un'ampia parte della Toscana occidentale nel periodo compreso fra gli anni 1990 e 1999. È emerso un complessivo numero di circa 200 contenziosi fra i quali oltre 60 ancora pendenti (e quindi non pubblici per motivi legali) e 138 andati a sentenza e perciò di pubblica consultazione. L'assortimento dei contenziosi, in termini di numero e durata temporale, e la sua distribuzione nei tre territori, fra loro confinanti, ne fa un database di significato statistico i cui risultati possono costituire un primo indicatore sul tipo di difetti costruttivi più frequenti e sulle loro cause.

IL METODO DI CLASSIFICAZIONE

In questa prima esperienza di classificazione si è voluto prescindere da informazioni tipologiche sull'edificio (data di costruzione, destinazione d'uso tecniche costruttive ecc.) indagando solamente sul tipo di danno lamentato in corso di causa, sottolineando altresì l'eventuale variazione sull'origine del danno al termine dei lavori peritali. Dopo un primo esame delle sentenze, si è reso opportuno classificare i difetti costruttivi secondo il seguente elenco:

- crolli, parziali o totali;
- cedimenti strutturali;
- difetti d'isolamento termico o acustico;
- infiltrazioni idriche;
- umidità per condensa;
- fenomeni fessurativi;
- distacco di rivestimenti (intonaci, pavimenti, piastrelle ecc.).

Si è altresì evidenziato in quale delle fasi del processo costruttivo il danno è stato originato, ovvero se si è trattato di:

- difetto di progettazione;
- difetto di costruzione;
- difetto di manutenzione;

e ciò sulla base di quanto risultato, sia all'inizio del contenzioso, sia in occasione della sentenza.

Infine, per la tipologia di difetti costruttivi maggiormente frequenti, rivelatesi la *d* (infiltrazioni idriche) e la *f* (fenomeni fessurativi), si è approfondita la classificazione enucleando le seguenti possibilità:

- infiltrazioni da proprietà vicine;
 - infiltrazioni da tetto a falde;
 - infiltrazioni da terrazze piane;
 - infiltrazioni da pareti in elevato;
 - infiltrazioni da interrato o da piano terreno;
- fessurazioni su intonaci;

- fessurazioni su soffitti;
- fessurazioni su pareti;
- fessurazioni su elementi strutturali.

Pur essendo possibile proporre corrispondenti sotto-classi per ciascuna delle restanti categorie, si è preferito ometterle in quanto il numero di sentenze a disposizione, pur ragguardevole, non era tale da permettere indicazioni statistiche di rilevante significato.

ESAME DEI RISULTATI

Un primo risultato interessante è riportato in figura 1, dove è possibile rilevare che la distribuzione percentuale dei casi di difetto costruttivo è sorprendentemente simile per le tre province. In particolare, il valor medio dei danni da crollo ammonta al 3,5%, quello dovuto a cedimenti strutturali al 9,1%, quello da difetti d'isolamento o acustici all'1,7% mentre, per il resto, incidono rispettivamente per il 51% le infiltrazioni, il 7,0% le condense, il 19,8% le fessurazioni, il 7,9% il distacco di materiali.

Altro elemento di carattere generale è stato il ruolo che le varie fasi costruttive (progettazione, costruzione, manutenzione) hanno giocato nell'instaurarsi dei dissesti. In modo particolare nelle figure 2a e 2b è di grande interesse notare come i difetti inizialmente imputati dall'attore (fig.2a) ad una prevalenza di responsabilità nella fase costruttiva (44,5%) o di esercizio (31,50%), al termine del lavoro giudiziario (fig.2b) sono invece stati attribuiti dall'organo giudicante principalmente a errori di progettazione (54% contro il 24% iniziale).

Esaminando le singole categorie di danni si è visto che l'evento *crolli* ha riguardato in larga parte elementi prefabbricati negli edifici di recente costruzione per difetto nelle giunzioni, mentre nei vecchi edifici si è riscontrato il cedimento di solai o tetti con ossatura di legno, la cui crisi è sopraggiunta per

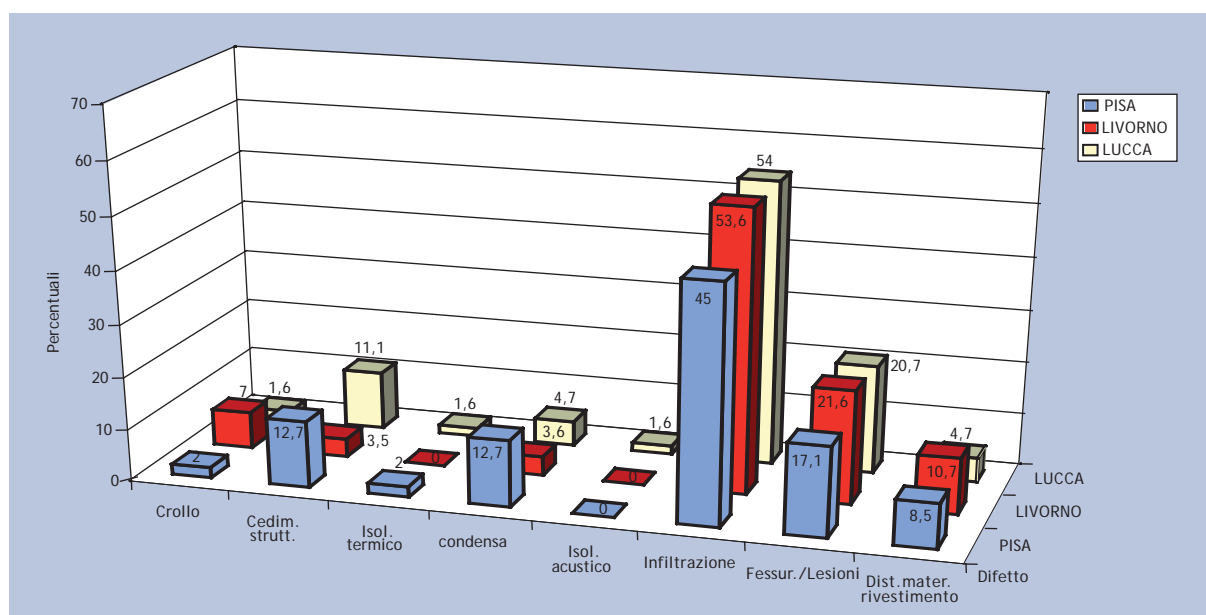


Fig. 1 - Istogramma dell'incidenza percentuale dei difetti costruttivi.

rottura fragile delle travi in prossimità degli appoggi, per superamento della resistenza al taglio; a ciò ha contribuito la scarsa manutenzione per assenza di trattamenti antiumido o di difesa organica.

I *cedimenti strutturali* che hanno interessato gli edifici, per la parte dovuta ad errori progettuali, hanno riguardato:

1. errata modellazione della struttura con conseguenti errori di calcolo;
2. mancata considerazione degli effetti viscosi del calcestruzzo con sottostima delle deformazioni;
3. scarsa conoscenza delle caratteristiche del suolo con errori di tipo geotecnico.

A loro volta i difetti avvenuti durante l'esercizio dei fabbricati sono stati prodotti principalmente da lavori su edifici contigui ed in particolare da:

1. ristrutturazioni, che comportano modifiche nello schema strutturale o vibrazioni della struttura dovute all'uso di mezzi meccanici;
2. demolizioni-ricostruzioni causanti variazioni nel suolo (per scavi o ricostruzioni assai diverse dalle precedenti) o di variazione della pressione idrostatica (per emungimento da pozzi vicini) con

conseguenti cedimenti o modifiche della capacità portante.

Da un punto di vista quantitativo, si è in definitiva constatato un prevalere di difetti insorti per insufficiente considerazione dei problemi di stabilità e di capacità portante del terreno di sedime.

Il problema della *infiltrazione idrica* è quello che maggiormente interessa gli edifici, soprattutto quelli di nuova costruzione, in tutti i suoi aspetti.

Nei nuovi edifici i maggiori fenomeni provengono dalla copertura e dai muri perimetrali, mentre in quelli esistenti originano principalmente per intasamenti di impianti fognari o, sporadicamente, per risalita capillare dal terreno. Il fenomeno dell'infiltrazione appare di gran lunga il più comune ed interessa ogni parte degli edifici innescando non infrequentemente dissesti di altra natura. In figura 3 è riportata l'incidenza parziale per ciascuna provincia delle parti dell'edificio interessate da infiltrazione: emerge chiaramente che la copertura a terrazza (40,6%) è quella più vulnerabile, cui fa seguito il tetto a falde (19,0%), le pareti in elevato (18,2%), gli interrati e le fondazioni (15,2%), le infiltrazioni da terzi (7,0%). In prevalenza la causa è da ricercare nella cattiva pro-

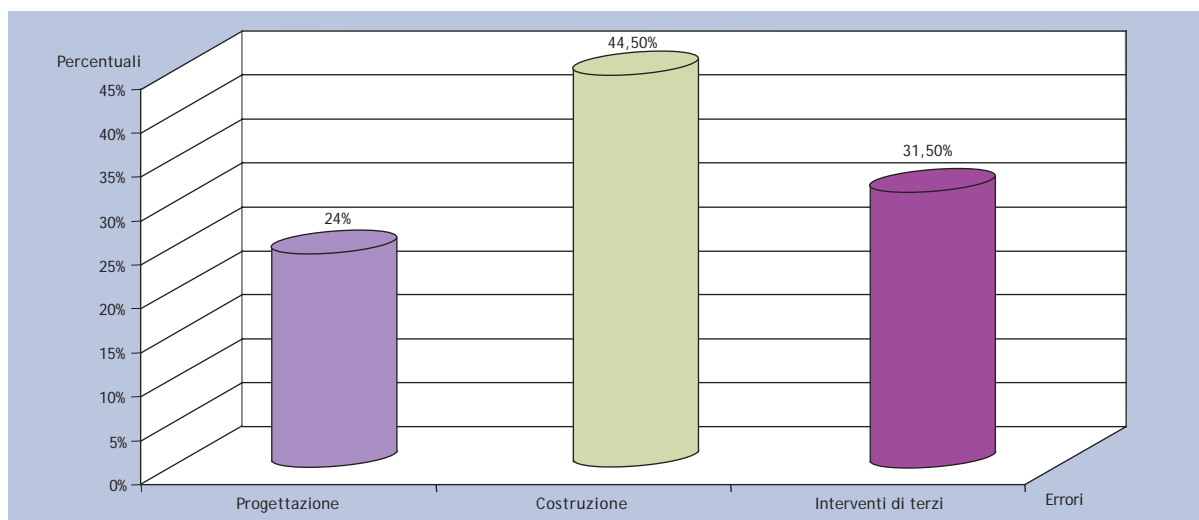


Fig. 2a - Attribuzione iniziale delle responsabilità.

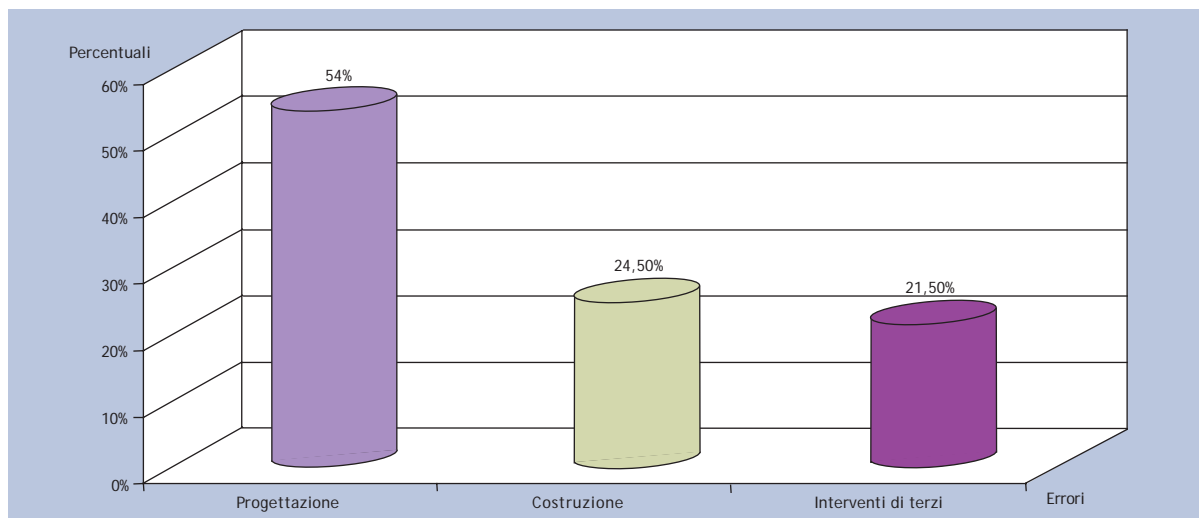


Fig. 2b - Attribuzione finale delle responsabilità.

gettazione che riflette spesso l'abitudine di rinviare a materiali o tecnologie moderne "speciali" la soluzione del problema di smaltimento idrico, anziché adottare le collaudate buone regole dell'arte basate sullo studio dei deflussi.

Ad esempio, si impegnano le impermeabilizzazioni dei tetti per durate superiori a quelle delle precipitazioni creando tetti a vasca che non consentono trascinazioni esterne in caso di intasamenti dei pluviali.

Altro fenomeno interessante è in questo ambito l'erronea diagnosi che inizialmente viene fatta dai vari consulenti tecnici, attribuendo non infrequentemente a condense o ad altre cause ciò che, in buona sostanza, si rivela esser un difetto di progettazione.

Eclatante appare il caso dei moderni edifici del tutto privi di aggetto di gronda, la cui linea estetica ripercorre quelle di Paesi a bassa piovosità, completamente estranea alla tradizione costruttiva dei luoghi toscani e di buona parte del territorio italiano.

In realtà è noto che il ruolo dell'aggetto è duplice: proteggere le pareti perimetrali dalla percolazione idrica e costituire effetto "spoiler" in occasione

di eventi piovosi con vento, evitando che la parete sommitale venga "bagnata" perdendo coibenza, cosicché con la successiva evaporazione, che sottrae calore alla parete, si favoriscano importanti condense nei vani dei piani alti. Difetto frequente, inizialmente attribuito a cattiva esecuzione, ma in realtà riconosciuto come errore di progettazione.

Il problema dei *fenomeni fessurativi* interessa principalmente le zone di contatto fra ossature in c.a. e tamponamenti in laterizio e talora anche le pareti portanti in muratura (figura 4).

I primi sono spesso dovuti alle escursioni termiche che producono stati deformativi differenti nei due materiali, cui si aggiunge talvolta la deformazione viscosa del calcestruzzo; i secondi avvengono in prevalenza a seguito di interventi di ristrutturazione od ampliamento di fabbricati esistenti ed anche per lavori di demolizione-costruzione avvenuti in adiacenza.

I restanti fenomeni sono risultati di minore incidenza e, spesso, conseguenza di un'insufficiente progettazione (difetti d'isolamento termico o acustico, condense, distacco di materiali) con erronea scelta dei prodotti impiegati.

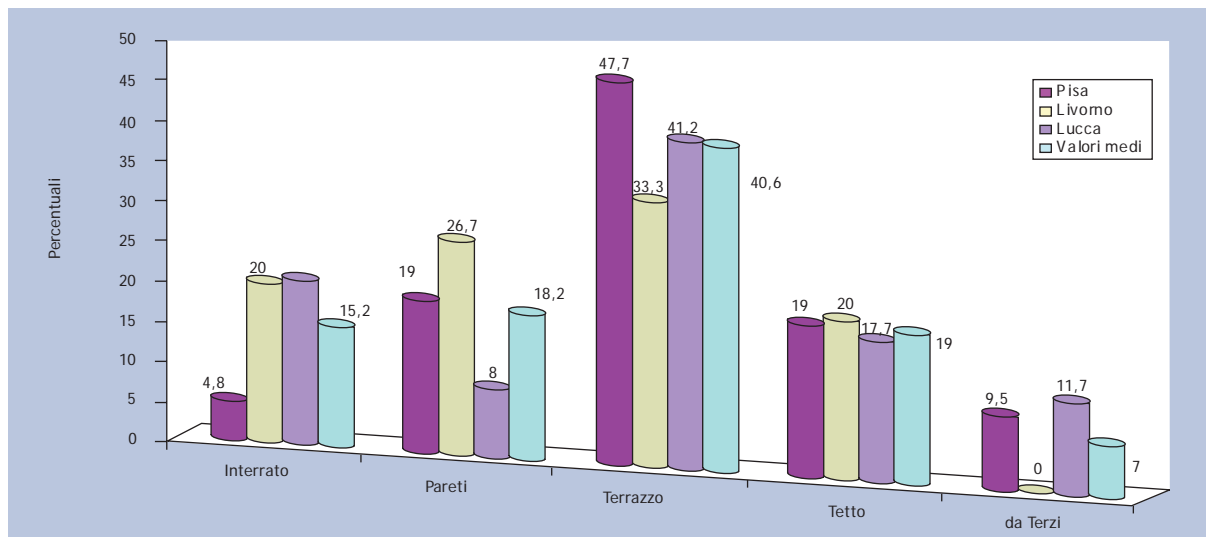


Fig. 3 - Distribuzione delle zone d'infiltrazione idrica.

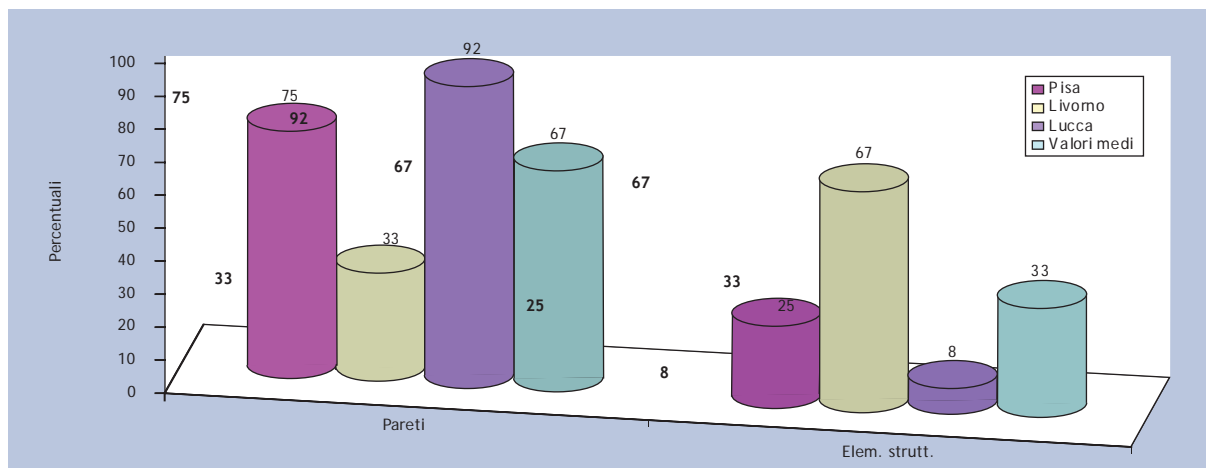


Fig. 4 - Distribuzione delle zone di fessurazione.

Giovanni Zannoni *
 Marco Bortoloni **
 Michele Bottarelli ***

Prestazioni termiche estive: confronto tra tetti a falda e coperture piane

Si indaga il comportamento termico estivo di un edificio con tetto a falde a confronto con uno a tetto piano, mediante un modello ad elementi finiti. A parità di condizioni, rispetto alla copertura piana quella a falde ventilata necessita di una potenza inferiore del 60% per la climatizzazione indoor con conseguente risparmio energetico

KEYWORDS Tetto, Ventilazione, Raffrescamento, Comfort indoor, Risparmio energetico

Numerose ricerche hanno avuto come oggetto la verifica delle prestazioni della circolazione d'aria nell'intercapedine all'interno degli strati che compongono le coperture a falde inclinate, con manto discontinuo, per riuscire a quantificare le reali prestazioni di questo particolare elemento "immateriale", tanto difficile da controllare e valutare date le molteplici configurazioni possibili e variabili in gioco. Il tetto ed in particolare il manto di copertura, svolge un ruolo di grande rilievo nel controllo termico indoor, sia per la sua estensione, sia per disposizione ed esposizione rispetto agli altri elementi dell'involucro edilizio, il cui beneficio si esplica attraverso la valorizzazione del fenomeno convettivo per il controllo dell'umidità e del comportamento termoigrometrico dell'intero pacchetto: nel periodo estivo costituisce la principale barriera al flusso termico entrante per irraggiamento. Lo studio effettuato dall'Università di Ferrara aggiunge un interessante contributo alle conoscenze di-

sponibili indagando il comportamento termico in regime estivo di un edificio con copertura a falde con struttura leggera (legno, metallo) e manto impermeabile discontinuo (tegole) al variare della permeabilità all'aria del manto, dello spessore della camera di ventilazione e della sezione aperta in linea di gronda, in confronto con una soluzione con tetto piano con struttura in calcestruzzo assunta a riferimento.

Metodologia

L'indagine è condotta avvalendosi di un modello numerico agli elementi finiti (COMSOLV4.3a) in cui il problema fluidodinamico e quello termico sono stati trattati contemporaneamente, attraverso la concatenazione opportuna dei rispettivi moduli di calcolo (CFD e Heat Transfer), sono poi stati risolti in regime transitorio per la condizione estiva configurata. Il problema fluidodinamico è risolto adottando il metodo k- ϵ ,¹ mentre per

Thermal behaviour of vented roofs in summer conditions

KEYWORDS Roof, Ventilation, Cooling, Indoor comfort, Energy savings

The traditional forms of building insulation and their role in energy savings are well recognized in cold climates, while energy performance optimization of the building envelope in hot climates is often misunderstood, such as the opportunity to have a ventilation layer in pitched roofs. This feature is commonly referred as: Above Sheathing Ventilation (ASV), an eaves-ridge open cavity present under the waterproof layer thanks to the laying of the tiles over a batten and/or counter-batten support system. Air enters both at eaves section and through the air-permeability of the overlapping tiles, and flows to the ridge, sinking the heat transfer generated by the solar radiation. This study surveys the thermal behaviour during the summer season of a building in which

varies the air-permeability between tiles, compared to a concrete flat roof building. Several studies have demonstrated the performance of a pitched roof, but it is not well yet investigated the impact of air-permeability of the external waterproof surface over the chimney effect, because several factors contribute to the complexity of the problem, such as the increasing mass flow rate and the Buoyancy-driven forces. The analysis has been approached by means of a numerical model, solving the fluid-dynamic and the heat transfer problems in unsteady state. Time series for wind, solar radiation and indoor space cooling were introduced to simulate realistic boundary conditions, taking into account different air-permeability of the waterproof surface and ASV thickness of the pitched roof

Materiale	A falde ventilata	Piana	Densità [Kg/m ³]	Conducibilità termica [W/mK]	Calore specifico [J/kgK]	Emissività [-]
	Spessore copertura [cm]					
Solaio latero-cementizio	20	30	1400	0,800	850	0,90
Clis alleggerito	-	8	1400	1,400	840	-
Tavolato						
Isolante polistirene	-	4	20	0,040	1340	-
Isolante lana di roccia	8	-	140	0,045	2100	-
Pareti	X	20	1000	0,800	850	0,90
Tegole	2	-	1700	0,700	840	0,85
Membrana termoriflettente	X	X	-	-	-	0,05
Membrana autoprotetta	-	X	-	-	-	0,60
Layer isolante in pavimentazione	X	X	-	0,010	-	-
Terreno	100	100	1600	0,800	1600	0,92

Tabella 1. Caratteristiche dei materiali che compongono le stratigrafie delle coperture analizzate.

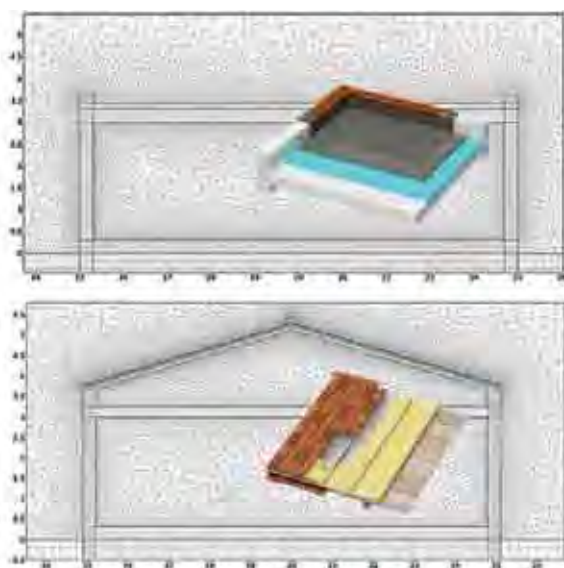
quello termocinetico l'approccio è stato esteso non solo all'irraggiamento solare e alla conduzione degli elementi edilizi, ma necessariamente ai fenomeni convettivi legati alle forze di volume e all'effetto del vento esterno, con lo scopo di valutare l'incidenza della convezione naturale rispetto a quella forzata.

Domini di calcolo. Il dominio di calcolo scelto è del tipo 2D, dimensionato per analizzare l'intero fenomeno fluidodinamico legato alle turbolenze generate dall'edificio in relazione al campo di moto generato dal vento. Per confrontare la soluzione a falde con quella piana sono stati sviluppati due macrodomini di riferimento e quindi, apportando minime variazioni, specifici sottodomini per rappresentare configurazioni differenti per l'altezza della camera di ventilazione, per la permeabilità all'aria fra le tegole e per la sezione di ingresso in linea di gronda. Con riferimento alla tabella 1, il macrodominio del tetto piano di confronto è costituito da

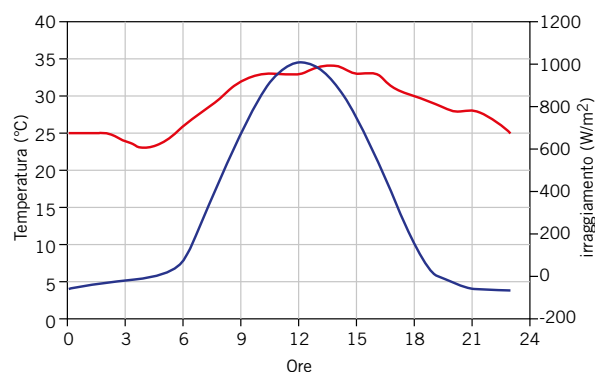
una soletta portante latero-cementizio di 30 cm di spessore, uno strato isolante di 4 cm in polistirene, uno strato di completamento e pendenza in calcestruzzo alleggerito di 8 cm, uno strato fittizio simulante la riflettanza di una membrana autoprotetta con scaglie di ardesia di colore analogo ad un manto in laterizio.

Quello del tetto a falde è composto da un manto impermeabile discontinuo ottenuto per parziale sovrapposizione di elementi piani (tegole), un volume funzionale conseguente alla listellatura di supporto dei precedenti elementi piani, una camera di ventilazione di altezza variabile e ottenuta con una seconda orditura sottostante e perpendicolare a quelle di supporto, uno strato di isolamento in lana di roccia di 8 cm posato sopra a un tavolato di legno di 2 cm. Era presente una membrana termoriflettente al di sotto dei listelli di supporto delle tegole. Ogni dominio è stato esteso anche ad un metro di suolo sottostante il piano di calpestio, al fine di considerare il possibile beneficio del terreno.

In figura 1 sono presentati i dettagli delle "mesh" dei due macrodomini dell'edificio, assieme ai rispettivi "sketch" assometrici della tipologia costruttiva, l'estensione completa del dominio è di 150 x 25 m. L'approccio bidimensionale non costituisce una semplificazione rilevante del problema, poiché nella camera di ventilazione sottostante la superficie calda è



1. Dettaglio della mesh di calcolo per il tetto piano e per il tetto a falde.



2. Andamento orario della temperatura e dell'irraggiamento.

Codice Caso	Note
P	Tetto piano
V	Tetto a falde ventilato
V_cr	Camera di ventilazione ridotta a 4 mm
V_pr	Permeabilità del manto ridotta a 2,5 mm
V_pn	Permeabilità del manto nulla (pn)
V_nvf	Assenza forze di volume (nvf)
V_cc	Camera di ventilazione chiusa / nvf / pn
V_ic	Imbocco in gronda chiuso, velocità del vento a 2,5 m/s

Tabella 2. Codifica dei casi risolti.

costituita dall'estradosso della copertura (tegole). Tale condizione sfavorisce lo sviluppo di moti convettivi naturali agenti in direzione ortogonale alla sezione considerata, supportando la semplificazione introdotta. Ulteriormente, la presenza della permeabilità all'aria del manto di copertura rappresenta un elemento forzante nella circolazione in camera, poiché ne modifica sostanzialmente il campo di moto.

Condizioni iniziali e al contorno. Il comportamento dell'involucro edilizio è stato legato alle seguenti condizioni: irraggiamento solare, velocità e temperatura del vento e potenza di climatizzazione interna.

Per considerare lo strato limite a terra è stato assegnato un profilo altimetrico della velocità del vento come elevazione alla potenza 0,3 del rapporto tra quota della copertura e quella del vento di riferimento, moltiplicato per l'intensità di quest'ultimo. Alla velocità del vento di riferimento sono stati attribuiti tre diversi valori: 1,25/2,50/5,00 m/s, assunti alla quota di 10 m.

Poiché la linea di gronda di una copertura a falde di un edificio unifamiliare si trova mediamente a 5 m di quota, l'intensità risultante dal suddetto profilo è approssimativamente pari a 1, 2 e 4 m/s, valore mediamente cautelativo scelto per non favorire questa tipologia di copertura.

La direzione del vento è assunta orizzontale in ingresso al dominio, mentre l'irraggiamento solare è considerato per semplicità nella sola direzione verticale, ovvero in copertura. Ad un metro di profondità nel terreno è stata attribuita una temperatura fissa pari a 20 °C.

L'andamento della temperatura del vento e dell'irraggiamento solare sono riportati in figura 2.

Infine, nell'ambiente posto al piano terreno, è stata supposta una potenza termica di raffrescamento pari a 150 W/m, ovvero, per ogni metro di profondità del modello 2D ipotizzato. A ciò corrisponde una potenza specifica pari a circa 6 W/m³ (fig. 3). Tale potenza è quella che consente di mantenere una temperatura interna attorno a 26°C nel caso dell'edificio con tetto piano e considera anche i fenomeni di scambio termico che avvengono lungo i muri perimetrali e sulla pavimentazione in termini conduttivi e convettivi.

Risultati

L'indagine è stata condotta in regime transitorio, estendendo le simulazioni sino a quattro giorni solari in funzione delle serie storiche delle condizioni al contorno espresse a scala oraria.

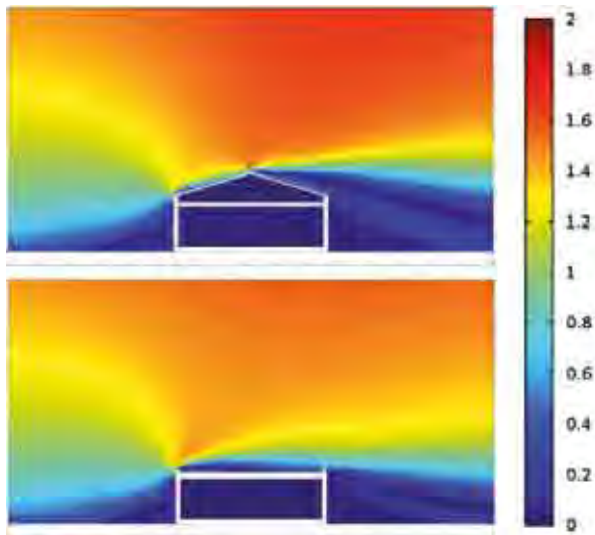
Una selezione dei diversi casi studiati è elencata nella tabella 2: questi corrispondono al caso di tetto piano (P) e a falde ventilato (V) come precedentemente descritti, nonché a ulteriori sei casi mediante i quali si è voluto approfondire l'incidenza dell'altezza della camera di ventilazione (V_cr), della riduzione della permeabilità all'aria del manto (V_pr) fino al suo totale annullamento (V_pn), delle forze di volume² attraverso la loro esclusione (V_nvf), dell'annullamento di ogni tipo di movimento dell'aria entro la camera di ventilazione (V_cc) e infine della chiusura dell'imbocco in linea di gronda della camera di ventilazione stessa (V_ic).

Fluidodinamica. Nella figura 4 sono presentati i dettagli delle soluzioni del campo di moto dell'aria nei due casi di riferimento (P,V) in vicinanza dell'edificio. In entrambi i casi la copertura presenta una zona non soggetta all'effetto del vento. Per il tetto a falde, il settore meno ventilato è la falda sottovento, mentre per il tetto piano è la parte occidentale, protetta dal cordolo perimetrale. In figura 5, invece, è riportato il dettaglio del campo di moto dell'aria nella camera di ventilazione per il caso del tetto a falde ventilato (V) e per il caso con permeabilità all'aria del manto nulla (V_pn). Nel primo caso l'andamento della velocità è crescente verso l'alto, in relazione all'apporto legato alla permeabilità del manto; è, infatti, evidente il passaggio dell'aria fra le sovrapposizioni delle tegole mentre tale fenomeno non avviene per il caso con permeabilità all'aria del manto nulla (V_pn). In quest'ultima situazione la velocità media dell'aria in camera rimane ridotta a 0,30 m/s e non aumenta lungo il suo sviluppo.

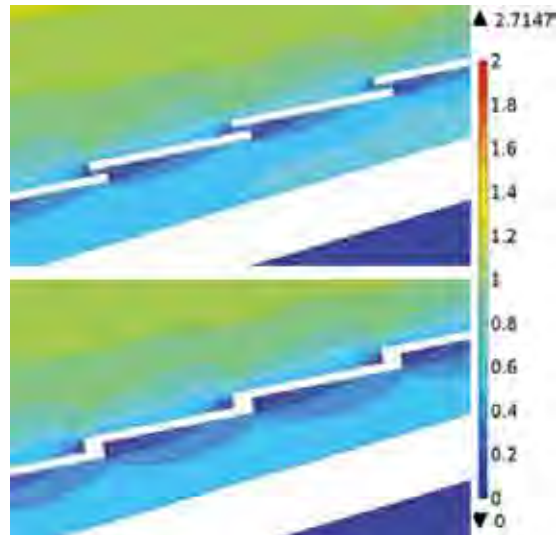
Scambio termico. I risultati dello scambio termico sono riportati in termini di temperature minime e massime (tab. 3) in determinati punti della struttura (fig.6). Tali prestazioni sono raggiunte con un sistema di climatizzazione supposto all'interno dell'ambiente abitato e di potenza pari a 150 W/m.



3. Potenza di climatizzazione interna per mantenere una temperatura indoor di 26°C.



4. Campo di moto in m/s per il tetto piano e per il tetto a falde.



5. Campo di moto in m/s per il tetto a falde (caso V) e per il tetto a falde (caso V_pn).

La massima temperatura nell'ambiente (dp1) con tetto piano (P) risulta pari a 26,3°C, mentre la minima a 25,4°C, con una differenza termica pari 0,9°C. Nel tetto a falde con camera di ventilazione nella configurazione base (V), le temperature scendono a un valore massimo di 22,0°C e minimo di 21,6°C. In presenza di una camera di ventilazione dimezzata (V_cr), la massima temperatura aumenta sia nell'ambiente (22,5°C), sia nella mansarda (26,0°C).

Confrontando le temperature del caso ventilato iniziale (V) con quelle dell'analoga configurazione, ma in assenza delle forze di volume (V_nv), le temperature si differenziano sostanzialmente solo in mansarda (dp2), aumentando la massima da 25,1 a 25,5°C. A parità, quindi, di ogni altra condizione il fenomeno convettivo legato alle sole forze naturali risulta modesto se rapportato a quello dovuto al vento.

L'incidenza del grado di permeabilità all'aria del manto discontinuo è desumibile dal confronto del caso con tetto ventilato standard (V), con l'analoga configurazione a permeabilità all'a-

ria ridotta (V_pr) e con quello non permeabile all'aria (V_pn). La progressiva riduzione della apertura tra tegole da 9,0 mm a 2,5 mm e quindi a 0,0 mm determina un aumento della temperatura massima e minima non solo in mansarda, ma anche nell'ambiente sottostante. La temperatura nel sottotetto abitabile aumenta da 25,1°C a 25,5°C e quindi a 25,7°C. In particolare si nota che il primo aumento 0,4°C dovuto al passaggio della permeabilità all'aria fra le tegole da 9,0 mm a 2,5 mm, risulta poi dimezzato (0,2°C) nella successiva riduzione, a indicare che già i 2,5 mm rappresentano una permeabilità piuttosto modesta che riduce in modo significativo l'ingresso di aria in camera di ventilazione.

Per il caso ventilato a permeabilità all'aria nulla (V_pn) la ventilazione in camera rimane garantita solamente dal libero ingresso dell'aria dalla sezione di gronda. Sebbene con permeabilità all'aria nulla, il solo ingresso dell'aria in linea di gronda consente di limitare l'aumento della massima temperatura nell'ambiente di 0,4°C rispetto al caso ventilato di partenza (V). Si ritiene, quindi, che

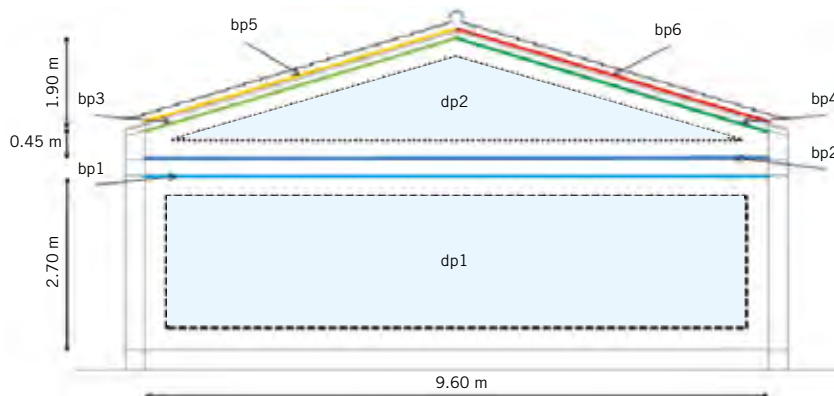
Temperatura rilevata nei punti di misura (°C)								
CASO	dp1		dp2		bp3	bp5	bp4	bp6
	min	max	min	max	max	max	max	max
P	25,4	26,3	-	-	26,9	67,7	-	-
V	21,6	22,0	23,7	25,1	25,4	41,7	25,5	44,1
V_cr	22,0	22,5	24,2	26,0	26,4	47,1	26,6	49,7
V_nv	21,6	21,9	23,8	25,5	25,7	42,4	26,1	51,3
V_cc	23,4	23,8	26,4	28,6	28,8	51,4	29,4	62,3
V_pr	21,8	22,2	23,9	25,5	25,8	42,4	26,0	47,6
V_pn	22,0	22,4	24,1	25,7	26,1	42,9	26,4	50,4
V_ic	22,0	22,4	24,0	25,7	26,0	44,6	26,0	45,2

Legenda

dp1 = temperatura ambiente interno
 dp2 = temperatura mansarda
 bp3 = temperatura all'intradosso della falda sopravento

bp4 = temperatura all'intradosso della falda sottovento
 bp5 = temperatura all'estradosso della falda sopravento
 bp6 = temperatura all'estradosso della falda sopravento

Tabella 3. Risultati dello scambio termico in termini di temperature minime e massime risultanti nei diversi punti dell'edificio campione.



6. Codifica dei punti di rilievo della temperatura.

l'incidenza della chiusura totale dell'ingresso dell'aria alla sezione di gronda sia equivalente all'azzeramento della permeabilità all'aria del manto discontinuo. L'unica differenza, ma sostanziale, è legata alla direzione del vento. Mentre per quanto riguarda la permeabilità all'aria, l'angolo di incidenza del vento sulla copertura dovrebbe avere un effetto limitato, la non ortogonalità del vento rispetto all'angolo di imbocco in gronda riduce notevolmente l'effetto della ventilazione. E', quindi, la permeabilità del manto di copertura che sembra giocare un ruolo più attivo e meno influenzato dalla direzione del vento.

In funzione delle condizioni al contorno imposte si osserva, in figura 7, che il flusso termico risultante all'intradosso della coperture standard nel caso di tetto piano (P) è mediamente pari a 12 W/m^2 e in quello a falde ventilato (V) a circa 4 W/m^2 . Per il caso della copertura piana, l'oscillazione è piuttosto ridotta per la maggiore massa in gioco, mentre, per quello del tetto a falde ventilato questa risulta piuttosto accentuata. Inoltre, la diversa posizione del massimo indica il differente sfasamento dell'onda termica entrante.

In figura 8 sono riportate inoltre le trasmittanze termiche equivalenti valutate secondo le modalità di calcolo sono differenti per i due casi.

Nel caso piano, il valore Um_p è il rapporto tra il flusso termico istantaneo entrante e la differenza di temperatura tra quella dell'ambiente (dp1) e quella all'estradosso della copertura (bp6). In quello a falde ventilato, i valori riportati sono due. Il primo (Um_V) è ottenuto considerando i flussi sopravvento e sottovento, le rispettive temperature sul manto esterno in copertura e quella in mansarda (dp2); il secondo (Um_V^*) è analogo al precedente ma considera la temperatura ambiente (dp1) al posto di quella in mansarda (dp2).

Nel caso piano, il valore finale risulta pari a $4 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre per quello a falde il valore varia tra 1,2 e $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Come già visto, per mantenere una temperatura di comfort ($\sim 26^\circ\text{C}$) nel caso di tetto piano (P) è stata supposta una potenza di raffrescamento pari a 150 W a metro di sviluppo di edificio. Tale potenza copre il fabbisogno non solo conseguente alle prestazioni della copertura, ma anche di tutto il resto dell'involucro dell'ambiente ipotizzato ($9,6 \text{ m} \times 2,7 \text{ m}$); la precedente potenza specifica diviene quindi pari a circa $5,8 \text{ W/m}^3$ ($\sim 150/9,6/2,7$).

Per valutare le potenze che consentono di mantenere la medesima temperatura anche nel caso di tetto a falde ventilato (V) sono state condotte numerose analisi regolando la potenza imposta sino a ottenere una temperatura massima confrontabile.

Questa è risultata pari a circa 60 W , cui corrisponde una potenza specifica pari a $2,3 \text{ W/m}^3$. Conseguentemente, a parità di temperatura interna e condizioni al contorno, la climatizzazione

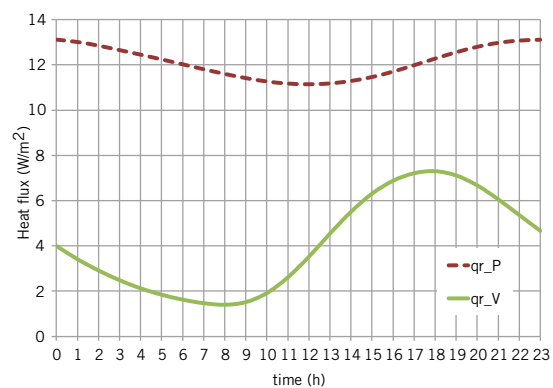
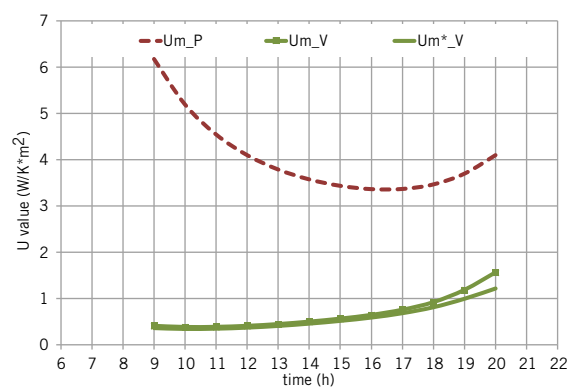
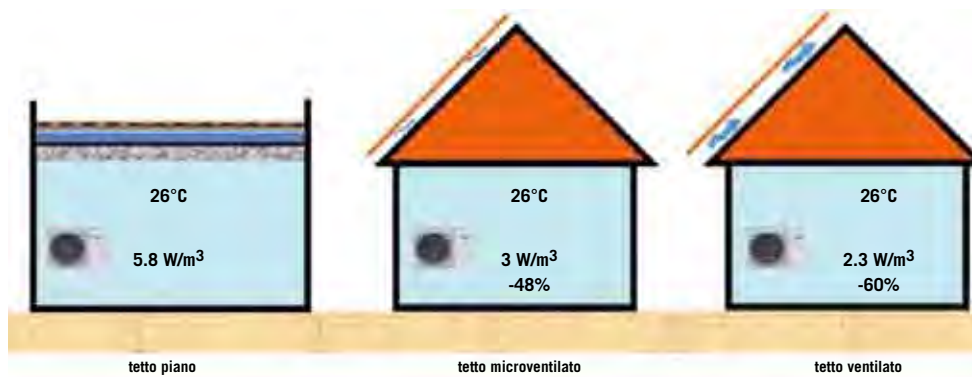


Figura 7. Confronto tra i flussi termici risultanti in copertura nei casi del tetto piano (P) ed a falde ventilato (V).



Legenda
 Um_P = nel caso del piano tetto è il rapporto tra il flusso termico entrante e la differenza di temperatura tra l'ambiente piano terra (dp1) e la superficie inferiore della camera di ventilazione (bp6);
 Um_V = nel caso del tetto a falde ventilato è il valore medio ottenuto dal rapporto tra i flussi sopravvento e sottovento e le rispettive temperature dello strato impermeabile esterno e della mansarda (dp2);
 $Um*_V$ = analogo al valore medio precedente, ma considerando la temperatura ambiente al piano terra (dp1) invece della temperatura della mansarda (dp2).

Figura 8. Trasmittanze termiche medie equivalenti in copertura.



9. Potenze necessarie a mantenere la medesima temperatura nei tre casi evidenziati.

dell'ambiente al di sotto di una copertura a falde ventilata necessiterebbe di un quantitativo di energia pari al 40% rispetto a quella necessaria per climatizzare il medesimo volume al di sotto di un tetto piano (fig. 9).

Assunto un costo energetico omnicomprensivo del kilowattora elettrico ad uso residenziale pari a 0,3 €/kWh_e e un COP (coefficient of performance) del sistema di raffrescamento pari a 3,0, il costo del kilowattora termico risulterebbe pari a circa 0,10 €/kWh. Supposta la volumetria di una proprietà monofamiliare pari a circa 500 m³, per la completa climatizzazione risulterebbero necessari circa 35 kWh/giorno per il caso con tetto piano e 14 kWh/giorno per quello con tetto a falde ventilato, assunto un funzionamento di 12h/giorno. A ciò corrisponderebbe un costo giornaliero pari a rispettivamente 3,5 e 1,4 €/giorno. Il caso ventilato sembrerebbe quindi esprimere, nelle condizioni assunte, un risparmio pari a circa 2 €/giorno.

Tali considerazioni, sebbene di tipo esplorativo e di prima approssimazione, dovrebbero comunque rappresentare un valore minimo, in relazione alle cautele assunte.

Conclusioni

A parità di ogni altra condizione, nell'ipotesi semplificativa introdotta, la copertura a falde con camera di ventilazione ha evidenziato temperature negli ambienti sottostanti notevolmente inferiori a quelle della tipologia con tetto piano, anche grazie all'effetto isolante della volumetria aggiuntiva. Tale volumetria attua peraltro una moderazione dell'onda termica conseguente all'irraggiamento e un diverso sfasamento rispetto al caso tetto piano. Ciò si riflette sul comfort indoor in termini di temperature radianti e di stabilità termica. Analizzando il comportamento all'interno della camera di ventilazione della copertura a falde ventilata, l'effetto convettivo, nelle sue componenti naturali e forzate, determina complessivamente una riduzione delle temperature nell'ambiente al piano terreno pari a circa 4°C. Il contributo legato alla forze di volume è risultato modesto anche in presenza di vento particolarmente debole. Ciò induce a ritenere che la caratterizzazione della copertura ventilata sia strettamente legata al fenomeno convettivo collegato al vento piuttosto che a forze di galleggiamento³, laddove il vento sia presente. La riduzione della permeabilità del manto determina un significativo calo delle prestazioni. Analogamente

portamento è conseguente alla chiusura della sezione di ingresso dell'aria della camera di ventilazione in gronda.

Il beneficio della convezione agente nella camera di ventilazione è generato dal vento entrante sia attraverso la permeabilità all'aria del manto discontinuo, sia alla sezione di imbocco in gronda. Tuttavia, poiché il vento è stato supposto in direzione favorevole all'imbocco (ortogonalmente all'edificio) è da ritenere che i due rispettivi contributi possano risultare anche notevolmente diversi al variare di tale direzione.

Per mantenere quindi la medesima temperatura interna degli ambienti a piano terra di una costruzione con copertura piana (~26°C), una costruzione con tetto a falde ventilato necessiterebbe di una potenza inferiore del 60% a parità di condizioni al contorno con un conseguente risparmio sui costi di funzionamento dell'impianto per il mantenimento delle condizioni di comfort interno per gli utenti. ¶

* Giovanni Zannoni

Professore associato Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara

** Marco Bortoloni

Ph.D. student, Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara

*** Michele Bottarelli

Ricercatore, Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara

Note

1. Modello a due equazioni per la valutazione della turbolenza.
2. In un campo gravitazionale un fluido più leggero circondato da un fluido più pesante è soggetto ad una forza netta che lo spinge verso l'alto. Nel nostro caso è il fenomeno per cui l'aria calda, fluido più leggero, viene spinta verso l'alto dall'aria fredda, fluido più pesante (vedi anche nota 3).
3. In un campo gravitazionale un fluido più leggero circondato da un fluido più pesante è soggetto ad una forza netta che lo spinge verso l'alto. Per un corpo immerso in un fluido tale forza è nota come forza di galleggiamento (o forza di volume), la cui entità è pari al peso del fluido spostato dal corpo (spinta di Archimede).

Bibliografia

- [1] A. Dimoudi, A. Androutsopoulos, S. Lykoudis, Summer performance of a ventilated roof component, *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 610-617, 2006.
- [2] M. Sandberg, B. Moshfegh, Ventilated-solar roof air flow and heat transfer investigation, *Renewable Energy*, vol. 15, pp. 287-292, 1998.
- [3] W. Miller, M. Keyhani, T. Stovall, A. Youngquist, Natural Convection Heat Transfer in Roofs with Above-Sheathing Ventilation, *ASHRAE*, 2007.
- [4] G. De With, N. Cherry, J. Haig, Thermal Benefits of Tiled Roofs with Above-sheathing Ventilation, *Int. J. of Building Physics*, vol. 33, 2009.
- [5] M. D'Orazio, C. Di Perma, P. Principi, A. Stazi, Effects of roof tile permeability on the thermal performance of ventilated roofs: Analysis of annual performance, *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 911-916, 2008.
- [6] C. Pellanda, Raffrescamento passivo in coperture a falde ventilate, thesis, IUAV, Venezia, Italy, 1993.

Il supporto dei dati sperimentali

Per verificare le affermazioni precedentemente riportate, sono state condotte delle attività sperimentali consistenti nella realizzazione di un edificio con alcune soluzioni di copertura (dettagliate nelle schede a corredo), poste a confronto nelle stesse condizioni ambientali. L'edificio, di 80 m², è dotato di una copertura composta da 6 diverse tipologie di "stratificazioni", con orientamento sud (con leggera rotazione di 10° a ovest) ai fini dell'analisi delle relative prestazioni termoigrometriche in fase estiva, ed altrettante con orientamento nord (per l'analisi invernale). Le coperture a sud sono inclinate di circa 17° e sono lunghe 6 m. Le coperture poste verso nord sono lunghe 3 m. La ricerca condotta ha permesso di dimostrare come, a dispetto della teoria classica della ventilazione, esistano forti differenze di comportamento termico tra i diversi sistemi di copertura presi in considerazione, evidenziando come le soluzioni in "cotto" presentino dei concreti vantaggi, legati alle peculiari caratteristiche (radiative e di permeabilità all'aria) dei materiali utilizzati per il manto.

La sperimentazione svolta ha, in effetti, dimostrato come i manti "discontinui" in laterizio diano luogo in periodo estivo, a parità di ventilazione, a flussi termici entranti pari alla metà di quelli con manto continuo (ad esempio, metallico). Ciò perché il laterizio è caratterizzato da coefficienti di assorbimento medi (minore surriscaldamento per irraggiamento) e di emissività elevati (possono essere cedute per reirraggiamento grandi quantità di calore). Inoltre, poiché nelle coperture in "cotto" è predominante l'effetto di permeabilità del manto (giunti tra gli elementi componenti) rispetto all'effetto camino (ventilazione sottomanto), si è registrato un flusso dell'aria prevalente tra le tegole (o i coppi) piuttosto che tra gronda e colmo, testimoniando che queste tipologie di coperture posseggono capacità dissipative non possibili nei sistemi di copertura con manto continuo (o a perfetta tenuta).

Va evidenziato, tuttavia, come l'elevato spessore di isolante oggi richiesto in tutte le coperture, riduca, rispetto al passato, l'influenza del manto e della sua permeabilità sul comfort interno: le differenze di comportamento riscontrate con l'adozione di camere di ventilazione con altezze pari a 6÷8 cm rispetto ai 3÷4 cm del solo listello di appoggio (microventilazione) sono limitatissime e concentrate alle pochissime ore del giorno con massimo irraggiamento.



I diversi manti di copertura (da sinistra a destra):

- *metallico ventilato (6 cm) su solaio in latero-cemento;*
- *laterizio ventilato (6 cm) su solaio in latero-cemento;*
- *laterizio ventilato su solaio ligneo;*
- *laterizio microventilato su solaio ligneo;*
- *metallico ventilato su solaio ligneo;*
- *metallico non ventilato su solaio ligneo.*

Figura 4 – L'edificio sperimentale e le coperture continue e discontinue oggetto di studio.

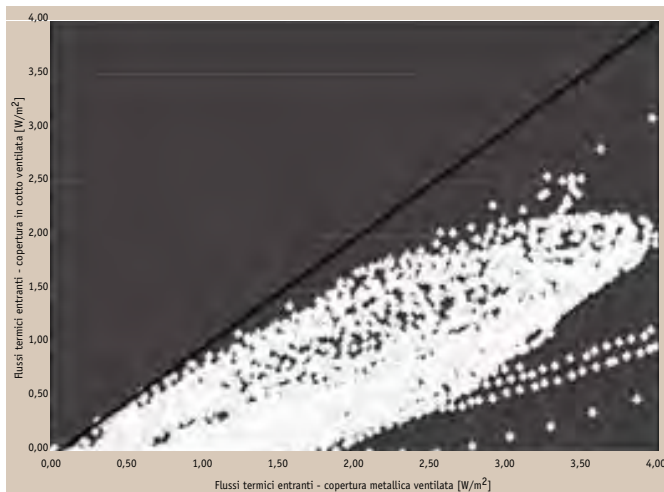


Figura 5 - Flussi termici passanti attraverso una copertura a parità di trasmittanza e di camera di ventilazione: ogni punto sul grafico è individuato da due valori (x ed y) che sono, rispettivamente, i flussi termici passanti attraverso una copertura metallica ed una in laterizio. Se il punto si trova sotto la retta (luogo dei punti per i quali i flussi passanti sono identici) significa che sono maggiori quelli passanti attraverso la copertura metallica. In fase estiva, si evidenziano per le coperture metalliche flussi pari a circa il doppio di quelli entranti in una copertura in laterizio a parità di condizioni climatiche.

La sperimentazione, infine, ha dimostrato l'importante funzione della ventilazione anche ai fini della durabilità del sistema tetto.

In particolare, le soluzioni con manto metallico e assenza di ventilazione, per via dell'elevato spessore di isolamento (che, riducendo la trasmissione del calore verso l'ambiente interno, causa l'innalzamento delle temperature di ciò che gli sta sopra), hanno raggiunto nel manto e nell'isolante, nei momenti di maggiore irraggiamento, elevate temperature che potrebbero compromettere la durabilità, in particolare, dei materiali di natura sintetica. Si sono registrate, inoltre, per coperture non ventilate con manto continuo -non in laterizio-, temperature sulla superficie superiore dell'isolante maggiori di 60÷65°C rispetto ai 40÷45°C di una soluzione con manto in laterizio.

Si è rilevato, infine, il ruolo positivo del solaio in latero-cemento, rispetto al solaio in legno, nel comportamento inerziale del sistema di copertura rispetto ai carichi termici interni (riscaldamento invernale): la presenza di massa attenua l'oscillazione delle temperature superficiali (maggior comfort) e minimizza i carichi termici necessari per il riscaldamento (fino al 25%). Va precisato che ci si riferisce alla sola massa posta internamente (solaio), in quanto l'elevato isolamento delle soluzioni costruttive, oggi adottate, minimizza il ruolo della massa esterna (manto) ai fini dello sfasamento termico. Passando agli aspetti di natura igrometrica, i dati sperimentali confermano come la ventilazione riesca, anche con sistemi ad alto spessore di coibente, a garantire il mantenimento nel tempo delle prestazioni della copertura, impedendo accumuli igroscopici anomali negli isolanti, mentre, nelle soluzioni non ventilate (a manto continuo) si registrano negativi (per prestazioni e durata) incrementi progressivi di acqua negli isolanti igroscopici.

In conclusione, si riassumono le principali caratteristiche prestazionali del "sistema tetto", in termini di:

- *benessere interno*: la discontinuità tra gli elementi del manto in laterizio consente, in fase estiva, una capacità di dissipazione aggiuntiva del calore rispetto ad altre tipologie con sistemi ventilati, garantendo adeguate condizioni di comfort nell'ambiente abitato e limitando l'impiego di impianti di climatizzazione;
- *controllo igrometrico del sistema costruttivo*: la particolare modalità di ventilazione consente la riduzione dei contenuti d'acqua nei materiali posti sotto il manto, migliorando le prestazioni termiche degli isolanti e riducendo il rischio di formazione di muffe tossiche per l'uomo;

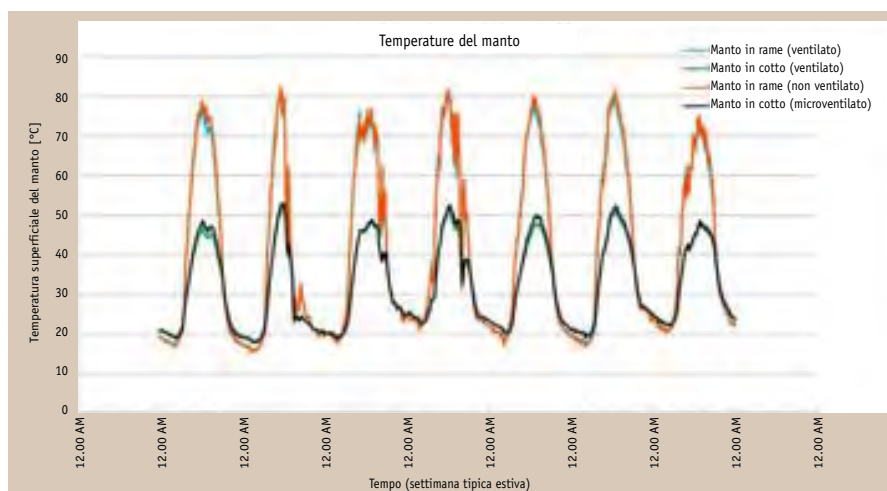


Figura 6 - Temperature rilevate su manti di copertura in laterizio ed in metallo in fase estiva (le 4 coperture sono identiche in termini di trasmittanza stazionaria).

- *corretto funzionamento del sistema di copertura*: la conformazione del sistema di ventilazione accoppiato al manto in laterizio impedisce che a carico degli isolanti si raggiungano, soprattutto in estate, temperature eccessivamente elevate e, inoltre, mantiene i materiali in condizioni di esercizio ottimali. L'elevato livello di isolamento oggi richiesto spinge a sistemi "iperisolati" che registrano, come conseguenza, il raggiungimento di elevate temperature a carico della superficie esterna dell'isolante;
- *durabilità*: i centri storici delle città italiane sono dominati dal colore rosso delle coperture in "cotto", testimoniando in modo incontestabile come il laterizio, a differenza di altre tipologie di manti, posseda la capacità di mantenersi inalterato attraverso gli anni.

Inoltre, si possono aggiungere ulteriori considerazioni dal punto di vista ambientale: il laterizio del manto è inerte; non ha cessioni di sostanze (metalli pesanti, ecc.) che possono causare inquinamento delle acque, a differenza di altre tipologie di materiali per coperture; infine, è totalmente riciclabile a fine vita.

Le soluzioni tecniche ed i criteri di scelta

Per agevolare il progettista nell'individuazione di una soluzione di copertura adeguata alle sue esigenze, sono state redatte 12 sintetiche schede tecniche che riportano informazioni descrittive e prestazionali relative a sistemi di copertura discontinui, con elementi di tenuta in laterizio (tegole e coppi). All'interno di ogni scheda, sono anche indicate le possibili alternative alla soluzione tecnica proposta, in relazione alla tipologia di materiale isolante e alla presenza o meno di strati accessori, quali barriera al vapore, guaina impermeabilizzante e strato di tenuta all'aria. Le soluzioni prospettate sono tecnicamente utilizzabili sia negli interventi di recupero che per le nuove costruzioni.

In 3 "stratigrafie", il solaio viene realizzato con elementi lignei e tavelle (L1, L2 e L3) o tavolato ligneo (L4, L7 e L8), con una intercapedine di ventilazione singola o doppia (può essere presente sia un canale sottomanto che un canale aggiuntivo, separato dal primo). In queste soluzioni, essendo il solaio di tipo leggero, viene proposto (ai fini del comfort termico

Elisa Di Giuseppe*
Marco D'Orazio**

Manti permeabili per tetti “traspiranti”

L'opinione comune associa il funzionamento di una copertura ventilata al solo “effetto camino”. In realtà nei sistemi a manto discontinuo gran parte dell'aria in intercapedine si disperde attraverso i giunti con benefici effetti di raffrescamento

KEYWORDS Manto di copertura, Ventilazione, Raffrescamento, Comfort

La ventilazione in copertura rappresenta, nel panorama edilizio, una tecnica costruttiva consolidata. La sua efficienza per il controllo dell'umidità e del surriscaldamento è affermata da tempo in letteratura [1–7].

Il principale riferimento teorico per il dimensionamento del canale di ventilazione negli elementi costruttivi è basato sulla cosiddetta teoria classica della ventilazione [8].

Essa si fonda sull'analogia tra le modalità secondo cui avviene la cessione o acquisizione di calore da parte di un fluido in moto in un condotto e ciò che avviene nell'intercapedine di ventilazione in copertura. Quest'ultima, solitamente posta tra l'isolante termico e il manto, permette ad un flusso omogeneo di aria di circolare dalla gronda al colmo, per effetto del gradiente termico tra l'ambiente esterno e quello interno all'intercapedine: l'aria riscaldandosi nel condotto riduce la propria densità e tende a muoversi verso l'alto per effetto “camino”.

Tale teoria, tuttavia, basandosi sull'assunzione di totale “impermeabilità” del manto, porta ad affermare che il calore dissipato per ventilazione sia tanto maggiore quanto più alta è la velocità

dell'aria (per la relazione secondo cui la quantità di calore uscente è funzione della portata massica e del delta termico dell'aria tra ingresso e uscita) e maggiore è la sezione di passaggio nel condotto. In realtà, un manto in laterizio è per sua natura discontinuo, e spesso l'area dei giunti tra gli elementi (tegole, coppi) supera quella di imbocco e uscita dell'intercapedine, agevolando, di fatto, portate d'aria e capacità dissipative maggiori.

La permeabilità del manto di copertura in laterizio è, dunque, uno degli aspetti alla base delle critiche mosse alla teoria classica della ventilazione [9].

Inoltre, alla luce delle disposizioni normative introdotte dal D.Lgs. 192/2005 [10] e seguenti, che prevedono ridotte trasmittanze termiche dell'involucro edilizio, in particolare in copertura, sono conseguite significative modifiche ai criteri di progettazione, per il fatto che la presenza di un elevato isolamento termico determina flussi termici entranti in fase estiva già di per sé molto ridotti. Di conseguenza risulta sufficiente utilizzare camere di ventilazione di modeste dimensioni, in grado di garantire il raffrescamento della superficie dell'isolante e l'asportazio-

Permeable coverings for “breathable roofs”

KEYWORDS Roof covering, Ventilation, Cooling, Comfort

That the ventilation in the roof effectively fulfils the cooling function of a building is a well-established concept.

However the common opinion associates the working of a ventilated roof only related to the “chimney effect”, neglecting the fact that in discontinuous coverings (such as clay tiles coverings), most of the heat is dispersed by ventilation through the joints of the tiles, with beneficial effects. This paper reports the results of several experimental activities in this regard.

We monitored the summer thermal performance of full-scale roofs, built according to the current requirements of thermal transmit-

tance, with different types of coverings (clay tiles, copper) and height of air gap (3 cm and 6 cm). Results show that clay tiles roofs are more effective than copper roofs in cooling the internal environment, and that in roofs with low thermal transmittance, it is of little convenience to invest in elevated air gaps.

A tracking smoke test of the air movement into the roofs showed that most of the air entering into the gaps of clay tiles roofs then escapes through the joints of the tiles.

Laboratory tests allowed to quantify this airflow and to correlate it to the amount of heat removed by ventilation in a clay tile roof



1a. Coperture in laterizio a scala reale (una ventilata e l'altra microventilata) e con manto continuo in rame.

ne di umidità, piuttosto che investire in notevoli altezze [11,12]. Alla luce dell'attuale contesto, la ricerca descritta in questo articolo conferma con dati sperimentali che, anche in presenza di un involucro edilizio a ridotta trasmittanza termica, la microventilazione per "traspirazione" attraverso i giunti degli elementi discontinui in copertura, permette di movimentare grandi masse d'aria (e quindi dissipare notevoli quantità di calore), risultando un efficace sistema per il raffrescamento dell'intercapedine, a tutto vantaggio della durabilità e delle prestazioni del sistema di copertura.

Metodologia

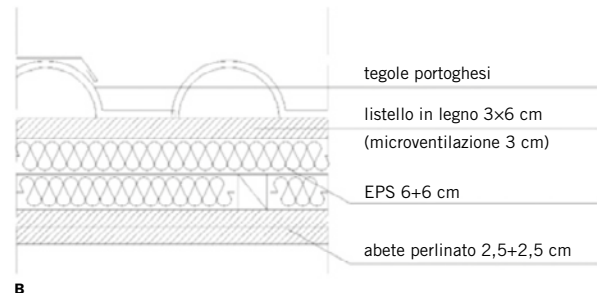
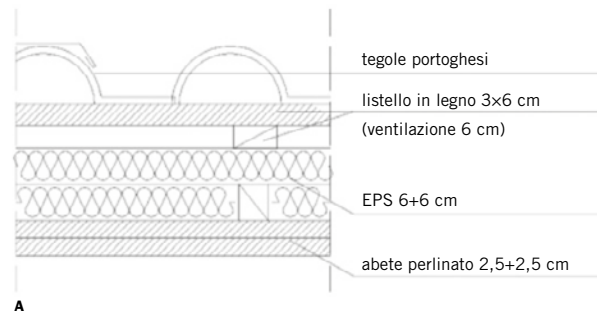
Al fine di investigare il ruolo che la permeabilità del manto ha sul raffrescamento delle coperture ventilate in laterizio, si sono monitorate coperture ventilate a bassa trasmittanza termica stazionaria, collocate su un edificio sperimentale a scala reale, per la valutazione in situ delle prestazioni termiche e delle modalità di passaggio di aria di ventilazione.

Nella fase successiva si è realizzata una porzione di copertura in laboratorio per quantificare sperimentalmente l'aria passante attraverso i giunti del manto rispetto a quella in intercapedine e la conseguente quantità di calore che è possibile asportare attraverso il fenomeno di "traspirazione".

Monitoraggio in opera. La valutazione in opera è stata effettuata su due coperture in laterizio a scala reale, una ventilata e l'altra microventilata, a raffronto con una copertura con manto continuo in rame. I sistemi, posti su un edificio sperimentale nella provincia di Ancona, sono esposti a sud, e hanno larghezza di 1,5 m, lunghezza di 6,40 m e pendenza di 17° (fig. 1.a).

Le coperture, identiche per tipo di solaio e isolamento termico (solaio in legno e isolamento 12 cm di polistirene espanso), si differenziano per l'altezza dell'intercapedine di ventilazione e il manto: 3 cm per la copertura definita "microventilata" in laterizio (LV3-A) e 6 cm per le coperture ventilata in laterizio (LV6-A) e in rame (MV6-A) (fig. 1.b).

Le tegole portoghesi del manto in laterizio sono state posate su singola o doppia listellatura. La trasmittanza termica stazionaria "U" delle coperture è pari a 0,24 W/m²K (fig. 1.b).



1b. Stratigrafie delle coperture a scala reale oggetto di monitoraggio.

Legenda:

- A. copertura con manto in laterizio ventilata (intercapedine 6 cm), denominata LV6-A
- B. copertura con manto in laterizio microventilata (intercapedine 3 cm), denominata LV3-A
- C. copertura con manto in rame ventilata (intercapedine 6 cm), denominata MV6-A

Le condizioni climatiche esterne e ambientali (irraggiamento solare globale, temperatura e umidità relativa dell'aria esterna, temperatura e umidità relativa interne) sono state monitorate in continuo e acquisite ogni 10 minuti nel corso di tutto il periodo estivo (luglio-settembre).

Le grandezze termiche sulle diverse stratigrafie e all'interno dell'edificio sono state rilevate tramite acquisitori datalogger 12 bit, a cui sono state connesse termoresistenze PT100 (accuratezza +/-0,15°C) per la misura delle temperature superficiali all'interno dei vari strati (superficie dell'isolante, superficie del manto, intercapedine di ventilazione); e termoflussimetri (accuratezza +/-5%) per la misura dei flussi termici passanti nei solai. Tutte le sonde e le catene di misura sono state preventivamente calibrate e i risultati di taratura tenuti in considerazione per la correzione dei valori misurati.

Per valutare da un punto di vista "qualitativo" il funzionamento della ventilazione per "permeabilità" del manto discontinuo si è



2. Dispositivo per il rilievo qualitativo della permeabilità del manto.



3. Porzione di copertura in laterizio oggetto di valutazione sperimentale della "traspirazione" attraverso i giunti.

Tipologia	A	B	C
Dimensione (cm)	44,8 X 26,5	33 X 42	33 X 42
Distanza listelli (cm)	36	36	36
Peso (kg/m ²)	41	42	44
Area dei giunti (m ²)	0,0099	0,0036	0,0036

Tabella 1. Tipologie di manto testate durante la prova di "traspirazione" del manto in laboratorio.

inoltre condotto un test di tracciabilità del movimento d'aria nelle coperture attraverso fumogeni.

E' stato montato all'imbocco del canale di ventilazione di ciascuna delle coperture, un dispositivo di chiusura ermetica del canale, costituito da un sacco di polietilene sigillato attorno ad un tubo in pvc (fig.2). Durante una giornata estiva tipica, in assenza di vento, nell'imbocatura del tubo è stato acceso un fumogeno, al fine di osservare il movimento e la direzione del fumo attraverso l'intercapedine ed il manto.

Test in laboratorio. La valutazione sperimentale della "traspirazione" attraverso i giunti delle coperture a manto discontinuo è stata realizzata su una falda inclinata appositamente costruita in laboratorio (fig.3).

Le dimensioni del dispositivo sono di circa 1,10 x 1,50 m. La struttura portante è costituita da un'intelaiatura in legno poggiata su tavolato. Su questo sono stati posati un isolante (4 cm di EPS) ed una doppia orditura di listelli in legno 3 x 3 cm a formare un canale di ventilazione di 6 cm.

Per quanto riguarda il manto sono state scelte 3 tipologie di tegole, che variano per geometria e materiale: A in laterizio, B e C in cemento (tab. 1).

Le zone laterali della copertura sono state sigillate con delle pareti di polistirolo e plexiglass. Al colmo del sistema sono state collocate 4 ventole (Scythe Kaze Maru 140 mm Case Fan: 2 ventole versione 1200 rpm, portata 104,15 m³/h; 2 ventole versione 1900 rpm, portata 177,61 m³/h), in modo da creare depressione all'interno del canale di ventilazione. La regolazione di velocità

e portata delle ventole è stata realizzata direttamente tramite un computer. Infine è stata realizzata una cappa di raccordo con un telo di plastica ermetico (610 x 610 mm), tra le ventole e l'imbocco di un balometro tipo PH721, strumento con cui è stata realizzata la misura diretta della portata dell'aria uscente al colmo. Per rilevare la velocità dell'aria all'imbocco del canale di ventilazione, sono stati utilizzati tre anemometri a sfera calda, posizionati nella parte inferiore, centrale e superiore dell'apertura. In questo modo si è ricavato il "profilo" della velocità dell'aria in ingresso, e si è quindi ricavato un valore unico come media di quelli misurati.

Per la messa a punto del sistema si è eseguita una prova preliminare "azzerando" la permeabilità del manto, con un telo in polietilene e nastro sigillante, al fine di impostare portate d'aria delle ventole compatibili con le velocità misurate nelle intercapedini delle coperture sperimentali a scala reale (da 0,25 m/s a 1,75 m/s). Una volta avviate le ventole, secondo l'intervallo di velocità pre-stabilito, si sono rilevati i valori di portata al colmo e le velocità dell'aria all'imbocco.

Ogni prova ha avuto una durata di 5 minuti per ciascuna velocità imposta, per permettere la stabilizzazione dei valori registrati dagli strumenti per la corretta acquisizione della misura.

La portata d'aria che attraversa il manto per "permeabilità" ($Q_{permeata}$) è stata calcolata, nell'ipotesi di condizioni stazionarie, come differenza tra la portata d'aria misurata al colmo dal balometro (Q_{colmo}) e la portata d'aria in ingresso ($Q_{imbocco}$), ricavata dalla misura del profilo di velocità ($V_{ingresso}$) per l'area della sezione di imbocco (A_{canale}), come dalla relazione (1).

$$Q_{\text{permeata}} = Q_{\text{colmo}} - Q_{\text{imbocco}} = Q_{\text{colmo}} - (V_{\text{ingresso}} \cdot A_{\text{canale}}) \quad (1)$$

La quantità di calore asportato per “traspirazione” del manto può essere espressa in un dato istante come (2):

$$Q_v = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

dove

$m = \rho \cdot v \cdot A$ è la portata massica d’aria;

ρ è la densità dell’aria;

v è la velocità dell’aria;

A è la sezione di ingresso dell’intercapedine;

c_p è il calore specifico dell’aria, assunto pari a 1001 J/kg · K;

$\Delta T = (T_{\text{intercapedine}} - T_{\text{esterna}})$ è la differenza di temperatura tra l’interno del condotto d’aria e l’esterno. Sono stati presi in considerazione i valori medi delle temperature rilevate durante il monitoraggio in un giorno estivo tipo. Il migliore comportamento in termini di traspirabilità è risultato essere quello della tipologia A in “cotto”.

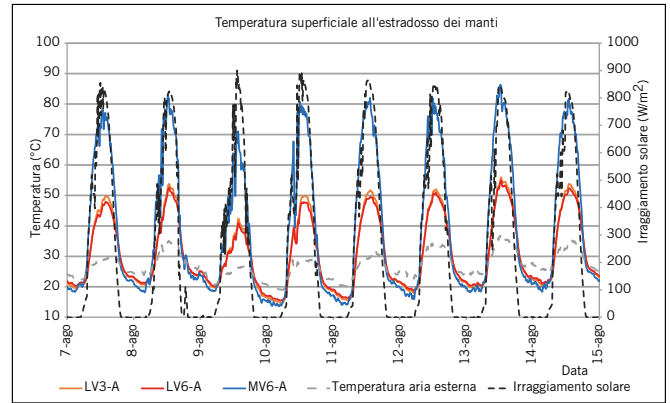
Risultati

Le prestazioni termiche delle coperture ventilate in opera. Si riportano nei grafici seguenti (figg. 4,5,6) gli andamenti delle temperature sulla superficie del manto, dell’isolante e all’intradosso del solaio nelle tre coperture analizzate durante una settimana del monitoraggio estivo, soleggiata e con elevate temperature esterne. La copertura in rame (MV6-A) presenta temperature notevolmente maggiori rispetto a quelle raggiunte dalle altre coperture: fino a 85°C sul manto (fig.4) e 55°C sulla superficie dell’isolante (fig.5), mentre le coperture in laterizio raggiungono al massimo 55°C sul manto e 51°C sulla superficie dell’isolante. Tali differenze sono imputabili alle diverse proprietà ottiche dei materiali costituenti il manto: maggiore emissività e assorbanza media per le coperture in laterizio, contro una bassa emissività ed elevata assorbanza del rame, come già riportato in [13].

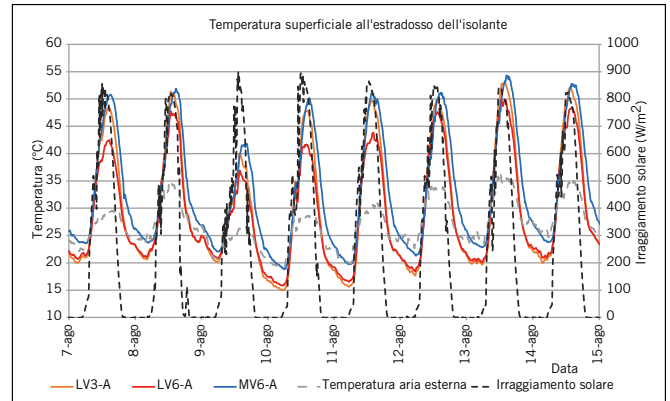
Tra le coperture in laterizio, quella ventilata (LV6-A) ha sempre una temperatura sull’isolante inferiore rispetto alla microventilata (LV3-A), soprattutto durante i picchi termici delle ore centrali della giornata.

Tuttavia la differenza di prestazione delle coperture in laterizio si “appiana” notevolmente all’intradosso del solaio (fig.6), dove le temperature dei due sistemi sono sostanzialmente analoghe. La copertura in rame mantiene invece una temperatura all’intradosso maggiore di circa 1°C. L’andamento dei flussi termici (fig.7) evidenzia come questi siano notevolmente bassi a causa della ridotta trasmittanza termica delle coperture (massimo 1,5-2,5 W/m² per le coperture in laterizio e 3,5-4 W/m² per quella in rame).

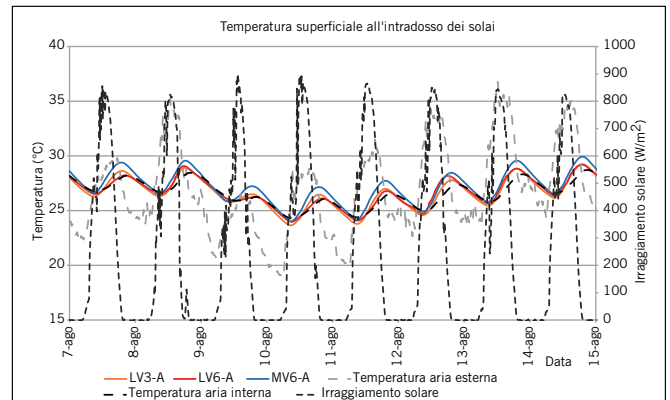
Anche in questo caso la prestazione delle coperture in laterizio non risente in maniera evidente di una differenza nell’altezza dell’intercapedine. Il test di tracciabilità del movimento d’aria nelle coperture attraverso fumogeni ha permesso di constatare che:



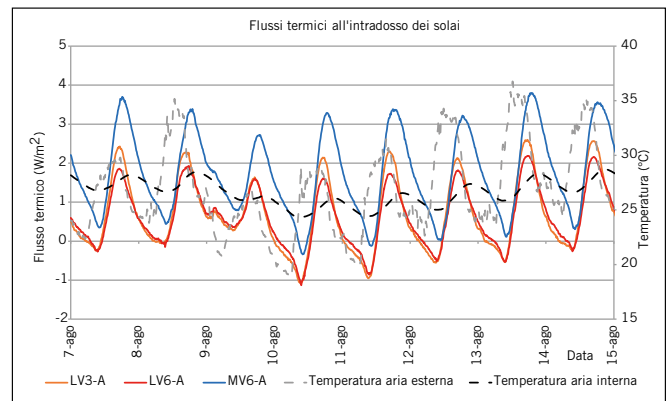
4. Andamento delle temperature sulla superficie del manto delle tre coperture analizzate durante una settimana estiva.



5. Andamento delle temperature sulla superficie dell’isolante delle tre coperture analizzate durante una settimana estiva.



6. Andamento delle temperature all’intradosso dei solai delle tre coperture analizzate durante una settimana estiva.



7. Andamento dei flussi termici all’intradosso dei solai delle tre coperture analizzate durante una settimana estiva. Per convenzione si considerano positivi i flussi termici entranti.



8. Test di tracciabilità del movimento d'aria nella copertura con manto in rame (MV6-A).

- nel caso della copertura con manto continuo in rame, dopo pochi secondi dall'accensione del fumogeno, il fumo è fuoriuscito dal colmo ventilato (fig.8);
- nel caso delle coperture in laterizio, l'aria in intercapedine non ha seguito la direzione gronda-colmo, ma, ancor prima di raggiungere il colmo, gran parte di essa è fuoriuscita attraverso i giunti tra le tegole (fig.9).

La valutazione della quantità d'aria "permeata" in laboratorio.

Le seguenti tabelle (tabb. 2, 3, 4) riportano i valori delle portate d'aria permeata attraverso i giunti delle tre tipologie di tegole analizzate, in relazione a diverse velocità d'aria in ingresso. La portata permeata è espressa anche in termini percentuali rispetto alla totalità della portata d'aria passante in copertura.

Dai risultati sperimentali ottenuti si evince che la portata d'aria "permeata" aumenta all'aumentare della velocità in ingresso. Inoltre essa è sempre percentualmente maggiore (più del 65%) rispetto a quella passante in copertura.

Dai valori sperimentali ottenuti emerge infine che la tegola portoghese in laterizio è quella che, infatti, permette una maggiore



9. Test di tracciabilità del movimento d'aria nella copertura con manto in laterizio (LV6-A).

permeabilità rispetto alle altre. Essa presenta infatti la maggiore area tra i giunti ($0,0099 \text{ m}^2$), rispetto alle tegole in cemento doppia romana e coppo di Francia ($0,0036 \text{ m}^2$).

Il calcolo della quantità di calore asportato per ventilazione in un mq di copertura è stato effettuato puntualmente in un dato istante, a titolo di esempio, ipotizzando una differenza di temperatura tra l'interno del condotto d'aria e l'esterno di 5°C . Il risultato evidenzia per questo calcolo puntuale che la quota parte di ventilazione dovuta alla sola permeabilità del manto risulta essere più del 70% del totale (fig.10).

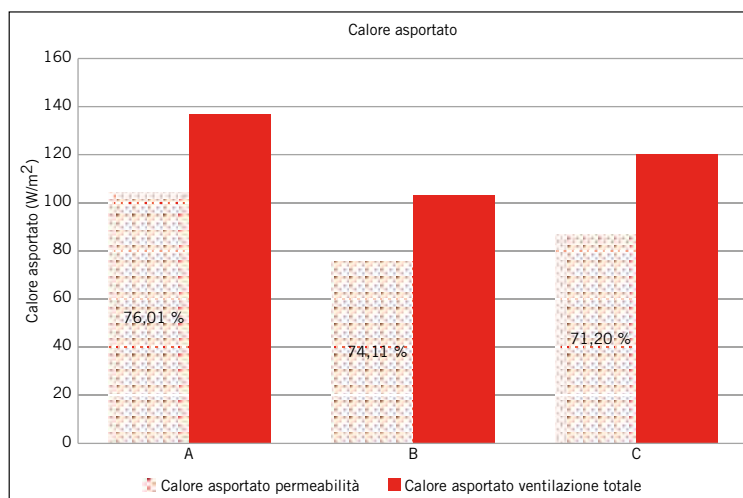
Conclusioni

Le indagini sperimentali condotte in situ su coperture ventilate permettono di affermare che manti discontinui in laterizio installati su coperture conformi al D.Lgs 311/06 e, quindi, a bassa trasmittanza termica, a confronto con una copertura ventilata a manto continuo in rame, contribuiscono maggiormente alla riduzione delle temperature superficiali in stratigrafia e dei flussi termici entranti.

Ciò avviene sia per le proprietà ottiche (assorbanza, emissività del laterizio, sia per la elevata "traspirabilità" del manto. Nelle coperture in laterizio, infatti, la ventilazione si realizza non solo per "effetto camino", ma anche per "traspirazione" attraverso i giunti degli elementi discontinui.

In virtù di questo fenomeno, il confronto tra le coperture ventilate in laterizio con diversa altezza di intercapedine di ventilazione, evidenzia che quest'ultima non risulta il parametro più influente sulla prestazione termica della copertura, e dunque anche le coperture in laterizio semplicemente "microventilate" sono sistemi efficaci contro il surriscaldamento in fase estiva.

Dalle prove in laboratorio condotte su tranches di coperture discontinue, la portata d'aria che permea attraverso il manto è risultata essere più del 65% dell'aria totale che attraversa la copertura. Per questi motivi, soprattutto in relazione alle ridotte trasmittanze



10. Quantità di calore asportato complessivamente per ventilazione in un mq di copertura e quota parte dovuta alla sola permeabilità del manto, per le tre tipologie di tegole analizzate.

Area ingresso	Velocità ingresso media	Portata ingresso media	Portata ingresso media	Portata misurata con il balometro	Portata "permeata"	Portata "permeata"
(m ²)	(m/s)	(m ² /s)	(m ² /min)	(m ² /min)	(m ² /min)	(%)
0,0558	0,0425	0,00237	0,14229	0,951	0,809	85,038
	0,0975	0,00544	0,32643	1,260	0,934	74,093
	0,1125	0,00628	0,37665	1,540	1,163	75,542
	0,1425	0,00795	0,47709	2,120	1,643	77,496
	0,1725	0,00963	0,57753	2,390	1,812	75,836
	0,2250	0,01256	0,75330	3,140	2,387	76,010
	0,2425	0,01353	0,81189	3,540	2,728	77,065

Tabella 2. valori delle portate d'aria permeate attraverso i giunti della Tegola Portoghese in relazione a diverse velocità d'aria in ingresso.

Area ingresso	Velocità ingresso media	Portata ingresso media	Portata ingresso media	Portata misurata con il balometro	Portata "permeata"	Portata "permeata"
(m ²)	(m/s)	(m ² /s)	(m ² /min)	(m ² /min)	(m ² /min)	(%)
0,0558	0,0375	0,00209	0,12555	0,735	0,609	82,918
	0,0750	0,00419	0,2511	0,880	0,629	71,466
	0,0925	0,00516	0,30969	1,260	0,950	75,421
	0,1225	0,00684	0,41013	1,690	1,280	75,732
	0,1425	0,00795	0,47709	1,840	1,363	74,071
	0,1850	0,01032	0,61938	2,330	1,711	73,417
	0,1925	0,01074	0,64449	2,530	1,886	74,526

Tabella 3. valori delle portate d'aria permeate attraverso i giunti della Tegola Doppia Romana in relazione a diverse velocità d'aria in ingresso.

Area ingresso	Velocità ingresso media	Portata ingresso media	Portata ingresso media	Portata misurata con il balometro	Portata "permeata"	Portata "permeata"
(m ²)	(m/s)	(m ² /s)	(m ² /min)	(m ² /min)	(m ² /min)	(%)
0,0558	0,0400	0,002232	0,13392	0,540	0,406	75,200
	0,1075	0,00600	0,35991	1,060	0,700	66,046
	0,1225	0,00684	0,41013	1,360	0,950	69,843
	0,1525	0,00851	0,51057	1,880	1,369	72,842
	0,1875	0,01046	0,62775	2,140	1,512	70,666
	0,2150	0,01200	0,71982	2,760	2,040	73,920
	0,2400	0,01339	0,80352	3,080	2,276	73,912

Tabella 4. valori delle portate d'aria permeate attraverso i giunti del Coppo di Francia in relazione a diverse velocità d'aria in ingresso.

termiche richieste oggi per le coperture di nuova realizzazione o oggetto di ristrutturazione, contro il surriscaldamento estivo risulta di fatto poco influente investire in elevate altezze di intercapedine, ma piuttosto è più conveniente accoppiare a camera di ventilazione "usuali" ai manti discontinui e dalle equilibrate proprietà radiative, come quelli in laterizio. ¶

* Elisa Di Giuseppe

PhD, DICEA, Università Politecnica delle Marche

** Marco D'Orazio

Professore Ordinario, DICEA, Università Politecnica delle Marche

Note

1. *Emissività* La emissività di un materiale è la frazione di energia irradiata da quel materiale rispetto all'energia irradiata da un corpo nero alla stessa temperatura. Assume valori compresi tra 0 e 1. Dipende da fattori quali la temperatura, l'angolo di emissione, la lunghezza d'onda e la finitura superficiale del corpo osservato.

Absorbanza L'assorbanza o coefficiente di assorbimento indica il rapporto tra la frazione di potenza di radiazione assorbita e quella incidente su un corpo. Può assumere valori compresi tra 0 e 1. Dipende dalla natura, dalla forma e dalla temperatura del corpo considerato.

Bibliografia

- [1] R. Zheng, A. Janssens, J. Carmeliet, W. Bogaerts, H. Hens, An evaluation of highly insulated cold zinc roofs in a moderate humid region—part I: hydrothermal performance, *Construction and Building Materials* 18 (2004) 49–59.
- [2] H. Hens, A. Janssens, R. Zheng, Zinc roofs: an evaluation based on test house measurements, *Building and Environment* 38 (2003) 795–806.
- [3] S. Roels, M. Deurincq, The effect of a reflective underlay on the global thermal behaviour of pitched roofs, *Building and Environment* 46 (2011) 134–143.
- [4] S.A. Al-sanea, Thermal performance of building roof elements, *Building and Environment* 37 (2002) 665–675.
- [5] M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings, *Solar Energy* 75 (2003) 491–502.
- [6] M. Ciampi, F. Leccese, G. Tuoni, Energy analysis of ventilated and microventilated roofs, *Solar Energy* 79 (2005) 183–192.
- [7] L. Susanti, H. Homma, H. Matsumoto, Y. Suzuki, M. Shimizu, A laboratory experiment on natural ventilation through a roof cavity for reduction of solar heat gain, *Energy and Buildings* 40 (2008) 2196–2206.
- [8] ASHRAE, *Fundamentals Handbook*, American Society of Heating Refrigeration and Air, 1997.
- [9] M. D'Orazio, C. Di Perna, P. Principi, A. Stazi, Effects of roof tile permeability on the thermal performance of ventilated roofs: Analysis of annual performance, *Energy and Buildings* 40 (2008) 911–916.
- [10] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192. Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
- [11] M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates, *Energy and Buildings* 42 (2010) 1619–1627.
- [12] M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, M. Morodo, Thermal performance of an insulated roof with reflective insulation: Field tests under hot climatic conditions, *Journal of Building Physics* 36 (2012) 229–246.
- [13] E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, Laterizi ed "Isola di calore": strategie cool nella tradizione, *Costruire In Laterizio* 150 (2012), 54–58.

Elisa Di Giuseppe, Angela Orciari, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna

Influenza delle proprietà radiative del manto sul comportamento termico di sistemi di copertura

L'adozione indiscriminata di sistemi costruttivi nord europei, come i sistemi *sandwich* che in copertura accoppiano elevati spessori di isolamento a rivestimenti metallici, potrebbe non rivelarsi una strategia efficace per il contenimento dei consumi energetici ed il comfort interno in un clima di tipo mediterraneo

La forte spinta al “superisolamento”, incentivata dalle recenti direttive in tema di risparmio energetico in edilizia, sta diffondendo anche nel nostro Paese tecnologie costruttive tipicamente nord europee, che associano ad elevati spessori di isolamento rivestimenti leggeri, spesso in materiali metallici, sia per le pareti che in copertura. Il rischio di questa tendenza è quello di spostare esclusivamente sull'isolante (con conseguenti costi energetici in fase di produzione) la funzione di contenimento degli apporti termici per irraggiamento, oggi svolta, a basso costo, per le coperture, da materiali con un buon bilancio tra assorbanza ed emissività⁽¹⁾, quali i laterizi, accoppiati a sistemi di ventilazione. Questa scelta tecnologica, fatta per diretta omologazione di tipi costruttivi sviluppati in Paesi con climi particolarmente freddi, rischia, dunque, di avere conseguenze negative sul comportamento delle coperture in fase estiva. Per avere indicazioni al riguardo, estremizzando l'approccio proposto dalle normative (superisolamento), si è condotta una ricerca che ha cercato di comprendere l'influenza delle proprietà radiative del manto di copertura sullo stesso sistema costruttivo e sulle condizioni di comfort termico in un ambiente sottotetto. Dopo una attività sperimentale di caratterizzazione, si è analizzato il comportamento di una serie di coperture costituite da diversi materiali del manto (metallici ed in laterizio), con e senza ventilazione, riducendone via via la trasmittanza dai valori *ante* D.Lgs. 311/06 fino a valori volutamente estremizzati (15 cm di isolamento). La ricerca si è basata sull'elaborazione di dati sperimentali inerenti le prestazioni termiche in fase estiva e su un'analisi parametrica effettuata tramite software. I risultati evidenziano che i manti in laterizio presentano le migliori proprietà radiative, in termini di elevata emissività e media assorbanza, ai fini del comfort termico in fase estiva e del risparmio energetico. Tuttavia, le differenze con

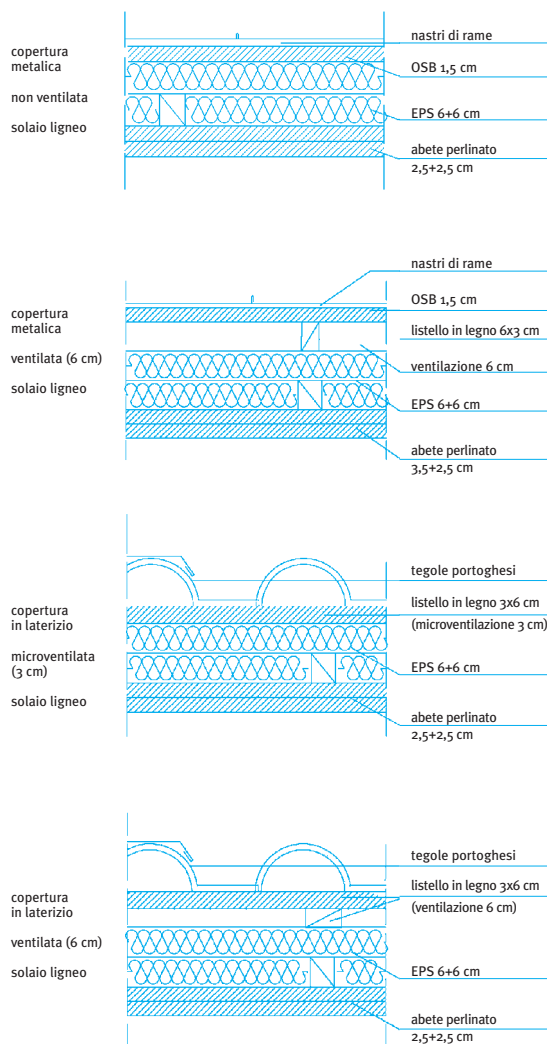
tipologie di copertura con manto di altro materiale risultano attenuate qualora le stratigrafie siano contemporaneamente superisolate e ventilate, per effetto del “disaccoppiamento termico” creato dal pacchetto isolante-ventilazione. L'attività condotta dimostra che, se si adotta un alto isolamento in coperture a manto metallico, le proprietà radiative di quest'ultimo, ad elevata emissività ed assorbanza, sono deleterie per il sistema costruttivo: come mostrato dai dati sperimentali, nel caso di soluzioni ventilate l'isolante tende a raggiungere in fase estiva elevate temperature fino a 65 °C, mentre nel caso di una soluzione *sandwich* con manto metallico, ma senza ventilazione, l'isolante raggiunge addirittura gli 85 °C, con negative conseguenze in termini di durabilità dell'isolante stesso.

Fasi, materiali e metodi

La ricerca si è articolata nelle seguenti fasi:

- caratterizzazione radiativa dei materiali usualmente impiegati nella realizzazione di coperture (laterizi di diverso colore e manti metallici di diversa natura e colore);
- simulazione analitica tramite software di analisi termica;
- confronto con dati sperimentali raccolti su coperture reali con manto in laterizio ed in rame.

Durante l'attività sperimentale di caratterizzazione, si sono svolte prove per la determinazione dei valori di emissività e assorbanza, e di misurazione delle temperature superficiali di provini esposti a radiazione solare. I valori riscontrati (emissività ed assorbanza) hanno permesso di caratterizzare i materiali da utilizzare nei software di calcolo. L'attività di simulazione analitica è stata condotta mettendo a confronto tipologie di copertura scelte a seguito di un'analisi delle tecnologie realizzative metalliche e in laterizio di corrente uso, al fine di individuare quelle più rappresentative, ovve-



1. Tipologie di copertura considerate.



2. Edificio sperimentale con diversi sistemi di copertura fortemente isolati e diverso tipo di manto, oggetto di monitoraggio in fase estiva.

ro quelle che potessero essere comparabili in termini di costi e di presenza sull'attuale mercato edilizio. A seguito di tale analisi, si sono scelte delle soluzioni di copertura su solaio ligneo (5 cm di abete) di cui si riportano le stratigrafie "tipo" (fig. 1), sulle quali sono state svolte variazioni parametriche in termini di emissività ed assorbanza del manto, altezza di intercapedine di ventilazione, spessore di isolante. Le coperture scelte sono state implementate su un modello di edificio ricostruito e messo a punto attraverso dati sperimentali, facendo uso dei software *Design Builder*⁽²⁾ e *Energy Plus*⁽³⁾. I dati di *output* delle simulazioni svolte tramite *Energy Plus*, relativi alla temperatura dell'aria degli ambienti interni, sono stati valutati in termini di percentuale di numero di ore con valori superiori a 26 °C⁽⁴⁾ (nel periodo 1 giugno-30 settembre). Tale temperatura è solitamente assunta quale indice limite di comfort termico estivo in un ambiente abitato: attualmente, gli standard energetici costruttivi, orientati verso soluzioni passive e iperisolate, fissano al 10% la percentuale ottimale massima di ore superiori ai 26 °C, indipendentemente dal contesto climatico.

I risultati emersi sono stati infine confrontati con i dati sperimentali relativi al monitoraggio estivo condotto sugli stessi sistemi di copertura (fig. 1) posti su un edificio prototipo (fig. 2).

Caratterizzazione dei materiali I valori di emissività ed assorbanza rilevati sperimentalmente sono riportati in tabella 1.

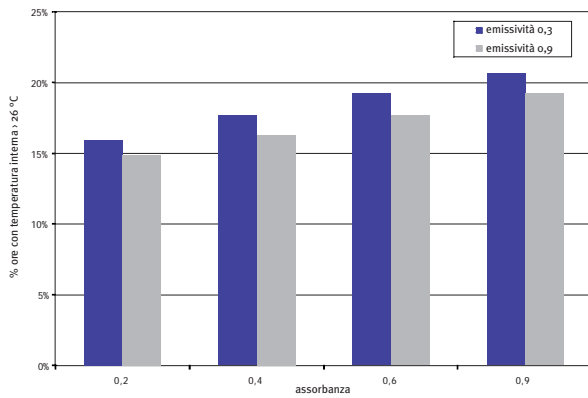
Per quanto riguarda l'emissività, si sono osservati valori molto differenti tra i vari materiali. Al crescere di questo parametro, si sono registrate temperature superficiali dei provini decrescenti.

La prova per la determinazione dell'assorbanza ha mostrato, invece, come diversi tipi di materiali possano presentare valori di assorbanza simili (laterizio, rame, zinco scuro), dipendenti dal livello di saturazione del loro colore in superficie. In seguito a tale considerazione, si è verificato come materiali differenti, ma con colorazioni simili, presentino, se esposti alle stesse condizioni esterne, comportamenti comparabili. I valori di assorbanza più bassi si riferiscono ai materiali metallici "nuovi", appena installati. Tuttavia, bisogna considerare che nel tempo, con l'esposizione agli agenti atmosferici, tali materiali tendono ad acquisire una particolare patina superficiale, con il conseguente incremento del coefficiente di assorbimento (assorbanza).

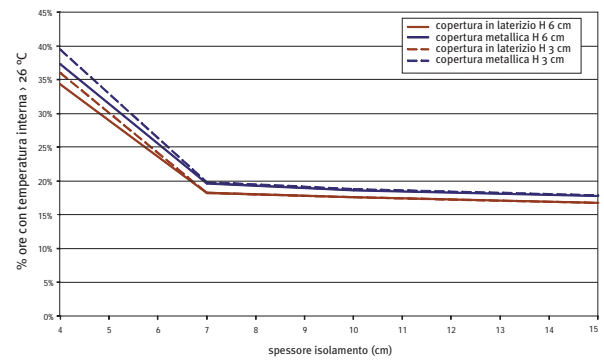
Si può dunque concludere che il laterizio, dotato di elevata emissività (0,9) e di un valore di assorbanza medio-alto (0,7), ma comunque costante nel tempo, raggiunge di fatto temperature superficiali inferiori, se sottoposto allo stesso irraggiamento dei manti metallici.

Influenza delle caratteristiche di emissività e assorbanza del manto di copertura sulle condizioni di comfort termico

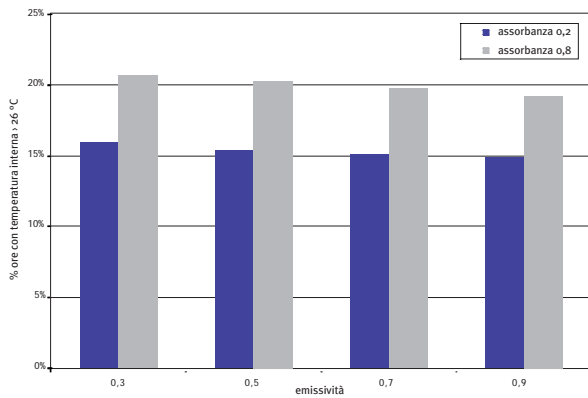
Sulle tipologie di copertura definite in fig. 1, si è condotta una serie di simulazioni parametrizzando i valori di emissività e assorbanza ricavati sperimentalmente, volte a valutare in che misura le proprietà radiative del manto di copertura possano incidere sulle condizioni di comfort termiche interne estive in un ambiente sottotetto. In fig. 3, sono riportati i risultati relativi alla copertura ven-



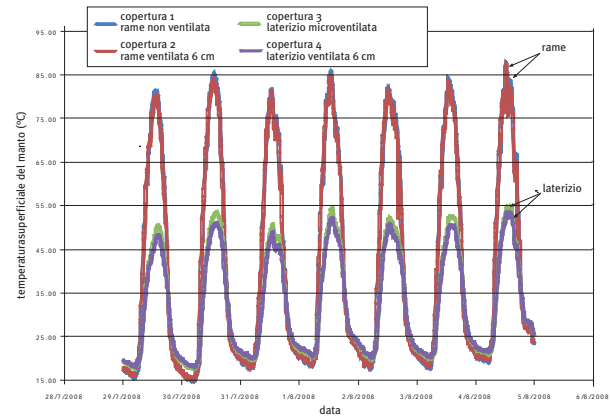
3. Influenza dell'assorbanza (solaio ligneo, altezza di ventilazione 3 cm, emissività manto di copertura 0,3 ÷ 0,9) sulle condizioni di comfort interno, a parità di emissività.



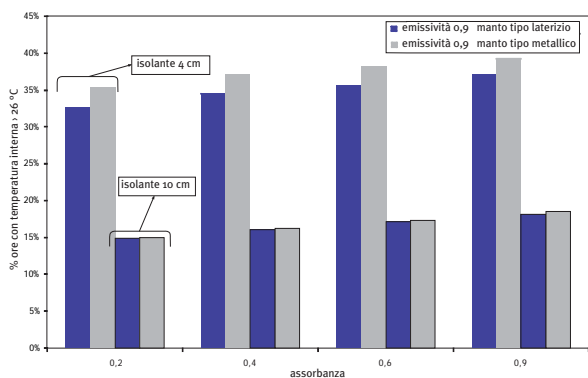
6. Influenza del tipo di manto in associazione a diversi condotti di ventilazione sul comportamento termico di coperture fortemente isolate.



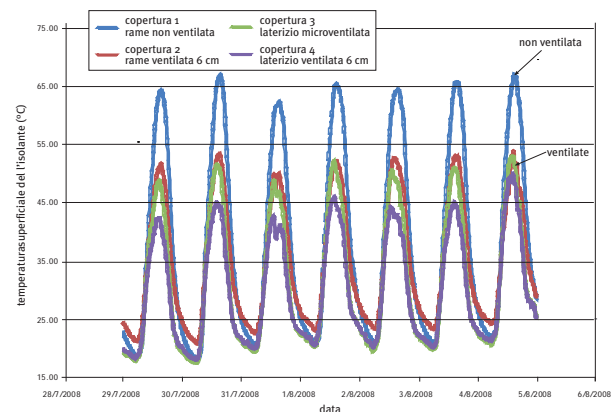
4. Influenza dell'emissività (solaio ligneo, altezza di ventilazione 3 cm, assorbanza manto di copertura 0,2 ÷ 0,8) sulle condizioni di comfort interno, a parità di assorbanza.



7. Temperatura superficiale del manto di tipologie di copertura in rame ed in laterizio, con diverse altezze di intercapedine di ventilazione.



5. Differenze tra tipologie di copertura con diverso tipo di manto e spessore di isolante, a parità di emissività.



8. Temperatura superficiale dell'isolante di tipologie di copertura in rame ed in laterizio, con diverse altezze di intercapedine di ventilazione.

1 Emissività ed assorbanza di campioni di materiali normalmente impiegati per manti di copertura, determinate con prove sperimentali di caratterizzazione.

Materiale	Assorbanza (α)	Emissività (ϵ)
Laterizio	0,7	0,9
Rame	0,6	0,3
Zinco prepatinato - decapaggio scuro	0,7	0,3
Zinco prepatinato - decapaggio chiaro	0,3	0,3
Zinco lucido da laminatoio	0,1	0,3

tilata con intercapedine alta 3 cm. In ascissa sono rappresentati i differenti valori di assorbanza ed in ordinata la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C. In fig. 4, invece, in ascissa sono rappresentati differenti valori di emissività ed in ordinata ancora la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C. Dai grafici si osserva che, al crescere della emissività, la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore ai 26 °C si riduce. Al contrario, al crescere dell'assorbanza tale percentuale aumenta. L'assorbanza, inoltre, dà luogo, rispetto all'emissività, ad una maggiore variazione percentuale del numero di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C, dell'ordine del 5 ÷ 6%, a parità di emissività (circa 6 giorni, sull'intero periodo estivo). Tale variazione percentuale, per effetto dell'emissività (a parità di assorbanza), è solo dell'1,5 ÷ 2%. In presenza di elevati spessori di isolamento (fig. 5), si osserva che le differenze tra le diverse tipologie di manto si riducono, rispetto al caso di coperture poco isolate. A pari valore di emissività, le differenze imputabili all'assorbanza per quanto riguarda le condizioni di comfort termiche interne estive sono dell'ordine del 3 ÷ 4% tra manto tipo metallico e manto tipo laterizio, in presenza di 4 cm di isolamento; al crescere dello spessore di isolamento (10 cm) le differenze si riducono ulteriormente. Infine, in fig. 6, si riportano in ascissa lo spessore di isolamento e in ordinata la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C, per le differenti tipologie di copertura, al fine di indagare l'influenza delle proprietà radiative in relazione alla presenza di condotti di ventilazione. Anche qui si può osservare un appiattimento del comportamento tra le diverse tipologie indagate.

Effetti delle proprietà radiative sulla durabilità del manto

Se l'incremento dello spessore di isolamento sembra ridurre le differenze nel comfort termico connesse alle proprietà radiative del manto, non altrettanto si può dire per il comportamento termico del pacchetto di copertura. In particolare, se si considerano le temperature superficiali dei manti rilevate nel corso di una campagna sperimentale sulle stesse tipologie di copertura fin qui descritte (fig. 7), si può osservare come le soluzioni "metalliche", ventilate e non ventilate, raggiungano temperature elevatissime (oltre gli 85 °C), in accordo con il fatto che il rame, già patinato dopo soli 6 mesi in opera, si presenta con elevati valori di assorbanza.

Se si considerano le corrispondenti temperature dell'estradosso dell'isolante (fig. 8), si può constatare una netta differenza di comportamento tra la tipologia di copertura non ventilata in rame e quel-

le ventilate in laterizio e in rame. La prima raggiunge temperature molto elevate anche sull'isolante (fino a 65 °C), con possibili conseguenze dannose in termini di durabilità. Pertanto, strategie di controllo passivo del surriscaldamento, come la ventilazione in intercapedine, sembrano essere in questo caso efficaci nel ridurre il carico termico e quindi la temperatura degli isolanti nelle tipologie ventilate, soprattutto nelle coperture in laterizio, grazie anche alla loro intrinseca permeabilità. Se si confrontano, infatti, le due tipologie con intercapedine alta 6 cm, con manto in laterizio e manto in rame, si può osservare come la prima presenti le minori temperature sull'estradosso dell'isolante (la differenza è tra i 5 ed i 7 °C), in accordo con le sue migliori proprietà radiative, che consentono una continua asportazione di calore per ventilazione, integrate dalla "discontinuità" di posa degli elementi componenti.

Conclusioni Le prove sperimentali di valutazione delle proprietà radiative di diversi materiali utilizzati come manto per coperture hanno mostrato come questi si differenzino sostanzialmente per le caratteristiche di emissività (valori elevati per i laterizi, bassi per i materiali metallici). Il coefficiente di assorbimento, dipendente dal livello di saturazione del colore del materiale, si presenta sostanzialmente analogo, in dipendenza dal fatto che col tempo i materiali metallici tendono ad assumere una patina superficiale che ne muta sostanzialmente la colorazione, rendendone la saturazione cromatica simile a quella dei laterizi.

Le simulazioni analitiche condotte su diversi sistemi di copertura, al variare delle proprietà radiative del manto, hanno mostrato come, per bassi spessori di isolamento, queste ultime (in particolare l'assorbanza) possano incidere sulle condizioni di comfort termiche interne estive di un generico ambiente sottotetto: a bassi valori di assorbanza ed elevati valori di emissività (tipologie in laterizio) competono migliori prestazioni, e ciò è tanto più evidente in presenza di elevati valori di trasmittanza termica. Al crescere dello spessore di isolamento, tuttavia, le differenze fra i diversi tipi di manto si attenuano notevolmente ed al massimo risultano comprese entro il 5 ÷ 10%. Tali risultati trovano riscontro con dati sperimentali derivati da un monitoraggio estivo su tipologie di copertura fortemente isolate. Le strategie tradizionali, quali i manti in laterizio, permeabili all'aria, e le intercapedine di ventilazione, già diffuse da decenni, risultano, infatti, i mezzi più efficaci per il controllo dei consumi energetici degli edifici e del comfort interno. ¶

Note

1. L'emissività di un materiale (di solito indicata con ϵ) è una misura della sua capacità di irradiare energia. L'assorbanza o coefficiente di assorbimento (di solito indicata con α) rappresenta, invece, il rapporto tra l'energia assorbita da un corpo e quella incidente sulla sua superficie. Tali proprietà influenzano notevolmente la capacità di un materiale di scambiare calore per irraggiamento.
2. *Design Builder* è un software sviluppato dal Design Builder Software Ltd (DBS) con sede a Stroud, Gloucestershire (UK).
3. *Energy Plus* è uno strumento di simulazione dinamica sviluppato dal Dipartimento di Energia degli Stati Uniti d'America in collaborazione con l'Università dell'Illinois e l'Università della California.
4. Si tratta di un parametro impiegato nella valutazione del comfort termico in periodo estivo, utilizzato anche dal software PHPP del Passiv Haus Institut.

Elisa Di Giuseppe,
Marco D'Orazio*

Laterizi ed «isola di calore»: strategie *cool* nella tradizione

Recentemente si è diffuso l'interesse a sperimentare strategie volte alla mitigazione del fenomeno dell' «isola di calore» che si genera negli estesi ambienti urbani a causa del surriscaldamento delle superfici degli edifici e delle strade. Materiali con modeste caratteristiche di riflettanza rischiano di accentuare il fenomeno. I laterizi per coperture (tegole e coppi), dalle equilibrate proprietà radiative e grazie alla ventilazione sottomanto, sono invece in grado di garantire minori temperature superficiali, riducendo gli apporti di calore all'aria esterna

Negli ultimi anni sta crescendo l'attenzione verso soluzioni costruttive per coperture a elevata riflettanza anche nel nostro contesto climatico, sulla scia degli anglosassoni *cool roofs* (tetti freddi), ovvero sistemi di copertura che sfruttano le proprietà radiative dei manti per il contenimento dei consumi energetici, sia alla scala dell'edificio che a quella urbana. Tecnologie di involucro edilizio leggero e montate a secco (come il sistema *balloon-frame*), associate a rivestimenti metallici, hanno portato all'insorgere del problema del surriscaldamento degli edifici soprattutto nei climi più caldi (California, Florida, Paesi tropicali) e in assenza di un adeguato isolamento dell'involucro. Allo stesso tempo, si sta sempre più diffondendo l'interesse a sperimentare strategie volte alla mitigazione del fenomeno dell'«isola di calore» che si genera negli estesi ambienti urbani a causa del surriscaldamento delle superfici degli edifici e delle strade. Materiali da costruzione con ridotta albedo¹ (riflettanza) raggiungono, infatti, temperature elevate quando esposti alla radiazione solare

Recently there has been widespread interest in experimenting with strategies aimed at mitigating the phenomenon of «Urban heat island» that is generated in the extended urban environments due to the overheating of the buildings and roads surfaces. Materials with moderate reflectance characteristics are likely to accentuate this phenomenon. The roofing bricks (the roofing tiles and the bent tiles), with their balanced radiative properties and thanks to the undermantle ventilation, are able to guarantee lower surface temperatures, reducing the heat contribution to the outer

e trasferiscono calore all'aria adiacente contribuendo all'incremento delle temperature a scala urbana. La ricerca, i cui esiti sono illustrati nel seguito, si è posta l'obiettivo di stimare in laboratorio le proprietà radiative di alcuni materiali per manto di copertura, per poi valutarne in opera, in condizioni atmosferiche reali, l'albedo. Il monitoraggio svolto ha inoltre permesso di misurare le temperature superficiali raggiunte dai manti in fase estiva, per valutare il possibile impatto dei diversi sistemi sul fenomeno «isola di calore».

Le certificazioni volontarie Leed e Itaca per la protezione dall'effetto «isola di calore»

Alcuni sistemi di certificazione volontaria degli edifici (Leed, Itaca, ecc.) promuovono l'utilizzo di materiali e tecnologie costruttive «sostenibili» per ridurre l'effetto «isola di calore» in ambito edilizio. In particolare, il credito SS c7.2, «Effetto isola di calore: coperture», del protocollo Leed Italia (1), come quello del Leed Usa, specifica la necessità di soddisfare una delle seguenti opzioni:

Opzione 1: *Utilizzare materiali di copertura che abbiano un «indice di riflessione solare» SRI (Solar Reflectance Index) maggiore o uguale al valore riportato nella tabella 1 per un minimo del 75% della superficie del tetto. Possono essere utilizzati materiali di copertura con valori di SRI più basso di quelli elencati nella tabella sottostante*

Tipo di copertura	Pendenza	SRI
Coperture a bassa pendenza	≤ 15%	78
Coperture a pendenza elevata	> 15%	29

Tabella 1. Requisiti di SRI (Solar Reflectance Index) previsti dal protocollo Leed per la protezione dall'effetto «isola di calore».

a condizione che il valore medio pesato di SRI rispetto alla superficie del tetto rispetti il seguente criterio:

$$\frac{\text{area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{\text{area totale di copertura}} \cdot \frac{\text{SRI della copertura installata}}{\text{SRI richiesto}} \geq 75\%$$

Opzione 2: Installare un sistema di copertura a verde per almeno il 50% della superficie del tetto.

Opzione 3: Installare superfici a elevata albedo e coperture a verde che, in combinazione, soddisfino il seguente criterio:

$$\frac{\text{area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{0,75} \cdot \frac{\text{area di tetto verde}}{0,5} \geq \text{area totale di copertura}$$

Il protocollo nazionale Itaca (2011) per residenze e uffici (2), nel criterio C.6.8. «Effetto isola di calore», prevede semplicemente il calcolo del «rapporto tra l'area delle superfici ombreggiate alle ore 12 del 21 giugno e/o sistemate a verde rispetto all'area complessiva del lotto di intervento (superfici esterne di pertinenza + copertura)».

Approfondiscono maggiormente questo criterio alcuni protocolli Itaca regionali, come il protocollo Itaca – Marche (3) che, nel criterio 3.3.1, « Effetto isola di calore: Coperture», definisce il livello di sostenibilità dell'intervento edilizio sulla base del calcolo del «rapporto tra l'area delle coperture con un coefficiente di riflessione pari o superiore al 65% per i tetti piani o con un coefficiente di riflessione pari o superiore al 25% per i tetti a falda o con sistemazione a verde o ombreggiate (ore 12 del 21 giugno) e l'area complessiva delle coperture.» Il protocollo fornisce anche valori indicativi dei principali coefficienti di riflettanza(SRI).

Alcuni dei sistemi di certificazione volontaria sopra riportati individuano quindi come strategia di mitigazione del fenomeno «isola di calore» l'imposizione di un limite al coefficiente di riflessione o all'indice di riflettanza.

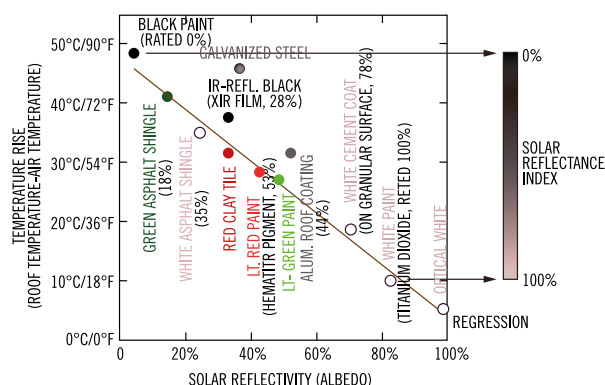
Misura delle proprietà radiative dei materiali da costruzione e loro impatto sul fenomeno «isola di calore»

In generale, la misura delle proprietà radiative (assorbanza², riflettanza ed emissività³) dei materiali da costruzione è definita da diversi standard americani ASTM (4) (5) (6).

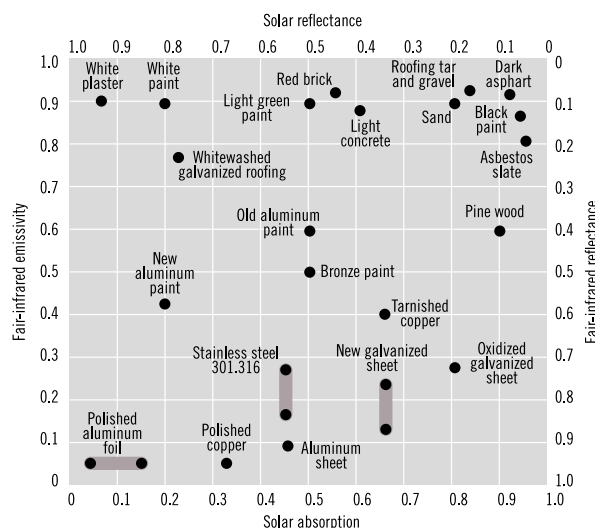
L'albedo può essere misurata sia in laboratorio che in opera: le valutazioni di laboratorio esprimono una caratteristica intrinseca del materiale, con valori puntuali per lunghezza d'onda o in un definito intervallo di lunghezze; quelle in opera definiscono invece l'albedo nell'intero spettro solare (7).

Il valore combinato di riflettanza solare ed emittanza è conosciuto come indice di riflettanza solare (SRI).

Osservando il grafico di fig.1, pubblicato dal Cool Roof Group del Lawrence Berkeley National Laboratory (8), appare evi-



1. Indice di riflettanza solare (SRI), albedo e delta termico con la temperatura dell'aria esterna di alcuni materiali per manti di coperture (dal Cool Roof Group del Lawrence Berkeley National Laboratory).



2. Proprietà radiative di alcuni materiali da costruzione (dal Florida Solar Energy Center).

dente come l'indice di riflettanza solare non dipenda dalla sola riflettanza del materiale, ma anche dalla sua emissività (da cui la temperatura che il materiale raggiunge se esposto a radiazione solare).

Per esempio, seppure la riflettanza della tegola in laterizio rosso sia molto prossima a quella dell'acciaio galvanizzato (0,6 – 0,65), l'acciaio raggiunge temperature più elevate e il suo SRI è conseguentemente inferiore.

Proprietà radiative di altri materiali da costruzione sono state indagate e pubblicate (fig. 2) dal Florida Solar Energy Center (9). Molti studi evidenziano che l'impiego di limiti specifici sulle proprietà radiative dei materiali da costruzione potrebbe avere delle conseguenze rilevanti dal punto di vista ambientale, legate alla mitigazione del fenomeno dell'«isola di calore».

Materiali con elevata albedo ed emissività raggiungono, infatti, temperature più modeste se esposti alla radiazione solare, riducendo il trasferimento di calore all'aria adiacente e così con-



3. Copertura ventilata con manto in rame.



4. copertura ventilata con manto in laterizio.



5. Copertura verde.

tribuendo alla diminuzione delle temperature a scala urbana. Ricerche condotte dall' *Heat Island Project* del Lawrence Berkeley National Laboratory, tramite analisi di casi studio e simulazioni, hanno mostrato un'ingente mitigazione del

fenomeno «isola di calore» con l'utilizzo di superfici urbane a elevata albedo e tramite l'ombreggiamento assicurato dalla vegetazione (10).

Takebayashi e Moriyama (11) hanno investigato la prestazione di coperture a elevata riflettanza e coperture verdi come strategie per la riduzione delle temperature atmosferiche circostanti un edificio, rilevandone la capacità di ridurre di circa 10°C la temperatura rispetto a una copertura in cemento. Tuttavia alcuni studi si concentrano anche sul fatto che le proprietà radiative di alcuni materiali da costruzione sono caratteristiche instabili nel tempo, ovvero che possono variare notevolmente a causa di agenti atmosferici, dell'invecchiamento, di fenomeni di corrosione o della naturale variazione cromatica del materiale stesso.

In particolare, l'esposizione alle condizioni atmosferiche tende a diminuire la riflettanza nei materiali più chiari e ad aumentarla nei materiali più scuri (12).

Ricerche che hanno monitorato l'effetto dell'invecchiamento su 10 coperture in California hanno concluso che la riflettanza di coperture a elevata albedo di origine diminuisce già del 15% durante il primo anno di esercizio (13).

La California Energy Commission, nel Building Energy Efficiency Standard, *Inclusion of cool roofs in nonresidential title 24 prescriptive requirements* (14), suggerisce quindi di calcolare la riflettanza di un materiale «invecchiato», tramite una specifica relazione con la riflettanza iniziale e con costanti numeriche. La norma impone, inoltre, che i valori dell'assorbanza del materiale, sia appena prodotto che dopo tre anni di esercizio, siano appositamente certificati.

Una simile equazione per il calcolo dell'incremento di assorbanza (riduzione della riflettanza) dei materiali è proposto anche da Suehrcke et al. (15), che osservano anche come l'utilizzo di formule di questo tipo sottostimi l'aumento di assorbanza che si verifica naturalmente nei prodotti metallici a causa del loro invecchiamento.

Dall'analisi dello stato dell'arte in materia, emerge dunque che il ruolo delle proprietà radiative dei materiali da costruzione, in relazione alla sostenibilità ambientale degli edifici, sia ancora da investigare in modo approfondito, anche con l'obiettivo di fornire ai progettisti un quadro univoco, coerente e reperibile di valori.

Caratterizzazione delle proprietà radiative di alcuni materiali per manti di copertura e conseguente prestazione in opera

Assorbanza ed emissività di alcuni materiali usualmente impiegati nella realizzazione di manti di copertura sono state misurate in laboratorio. Per la determinazione del valore di assorbanza sono stati impiegati tre differenti spettrofotometri, rispettivamente per la misura nello spettro del visibile (Spectrum Model 554), nell'infrarosso (Spectrum GX 1) e nel vicino infrarosso (Spectrum One NTS). Per la determinazione

dell'emissività, si è utilizzato un piranometro laser, associato a termoresistenze per la misura delle temperature superficiali dei diversi materiali.

Dalle curve nello spettro del visibile si sono ricavati i valori di assorbanza, mentre quelli di emissività sono stati istantaneamente dedotti dall'apparecchiatura di prova.

L'attività sperimentale di monitoraggio è stata eseguita su tre tipologie di copertura, ricavate su un edificio sperimentale a scala reale sito nel comune di Ancona: una copertura ventilata con manto in rame (fig. 3), una copertura ventilata con manto in laterizio (fig. 4) e, infine, una copertura verde (fig. 5).

I diversi sistemi sono tutti realizzati su un tavolato in legno di abete (2,5+2,5 cm), su cui è steso un doppio strato di polistirene espanso dello spessore complessivo di 12 cm, con conducibilità termica di 0,035 W/mK. Le tipologie di copertura analizzate soddisfano i requisiti introdotti dal DLgs 311/2006 e dal DPR 59/2009 per la zona climatica di Ancona (zona D): trasmittanza termica stazionaria $U < 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$, trasmittanza termica periodica $Y_{IE} < 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La tipologia di copertura verde è di tipo estensivo, con spessore medio – basso del substrato colturale (15 cm) e con una vegetazione bassa e perenne del genere *officinalis*.

Le condizioni climatiche esterne e ambientali (radiazione globale, temperatura dell'aria esterna, velocità e direzione del vento, piovosità, umidità relativa esterna, temperatura e umidità relativa interne) sono state monitorate in continuo e acquisite tramite *datalogger* 12 bit ogni 10 minuti.

Le grandezze termiche sulle coperture e all'interno dell'edificio sono state rilevate con termoresistenze (accuratezza +/- 0,15°C) per la valutazione delle temperature superficiali (intra-dosso dei solai, pareti, isolante, manto, terreno, intercapedine di ventilazione) e con termoflussimetri (accuratezza +/-5%) per la misura dei flussi termici passanti nei solai.

Per misurare l'albedo delle coperture si è adottato il metodo sviluppato da Sailor (16): è stato predisposto un sistema di radiometri accoppiati, in modo tale che uno fosse rivolto verso il cielo, per captare la radiazione globale incidente, e l'altro verso il manto di copertura, per individuare la quantità riflessa dalla stessa. Il rilievo è stato condotto durante quattro giornate di cielo sereno nel mese di settembre 2011.

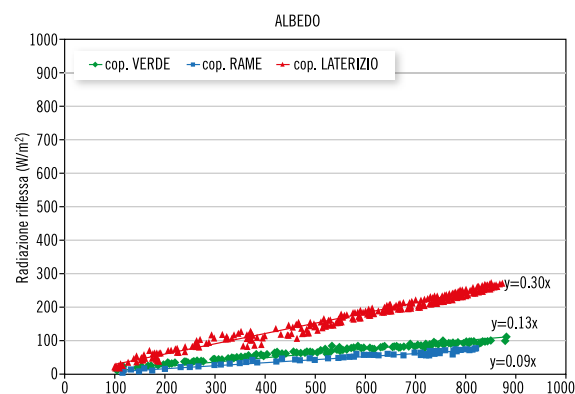
Risultati

La caratterizzazione delle proprietà radiative dei materiali per manti di copertura Le prove eseguite per la misura dei coefficienti di assorbanza ed emissività dei materiali hanno permesso di definire i valori riportati in tabella 2.

I prodotti in laterizio chiaro e in rame sono stati utilizzati per realizzare i manti delle coperture a scala reale monitorate in opera. Il rame lucido, a due mesi dall'installazione in condizioni atmosferiche reali, ha raggiunto un elevato grado di ossidazione. In grassetto (tabella 2), sono evidenziate le proprietà radiative dei materiali installati in opera.

Materiale	Assorbanza	Emissività
Laterizio chiaro	0,5	0,80
Tegola in cemento	0,7	0,75
Rame lucido	0,4	<0,30
Rame ossidato	0,7	0,30
Zinco prepatinato – decapaggio scuro	0,7	<0,30
Zinco prepatinato – decapaggio chiaro	0,3	<0,30
Zinco lucido da laminatoio	0,1	<0,30

Tabella 2. Risultati delle misurazioni di assorbanza ed emissività di alcuni materiali per manti di copertura.



6. Radiazione riflessa rispetto alla radiazione incidente nelle coperture oggetto di monitoraggio.

La prova eseguita ha mostrato come i diversi tipi di materiali presentano valori del coefficiente di assorbimento (assorbanza) piuttosto elevati (0,5 – 0,7): quest'ultimo dipende fondamentalmente dal livello di saturazione del colore della superficie. I valori più bassi registrati si riferiscono ai materiali metallici «nuovi», che però nel tempo, con l'esposizione agli agenti atmosferici, acquistano anch'essi una particolare patina superficiale, con conseguente innalzamento delle loro caratteristiche di assorbimento.

Per quanto riguarda l'emissività, il piranometro presenta un limite di funzionamento rappresentato dal fatto che non è in grado di fornire un valore di emissività inferiore a 0,3. I materiali che presentano un valore di emissività inferiore a tale limite sono i materiali metallici e questo è in sintonia con quanto riportato in letteratura per tali materiali (8). Al contrario, i laterizi sono caratterizzati da un più elevato valore di emissività (0,75–0,8), e anche in questo caso i valori misurati sono analoghi a quelli che si possono trovare in letteratura.

In conclusione, dai risultati sperimentali ottenuti, si può evidenziare come vi sia una certa variabilità nella misurazione del coefficiente di assorbimento e come il valore misurato sul materiale «nuovo» non sia indicativo del reale coefficiente di assorbimento del materiale stesso una volta messo in opera, essendo soggetto agli agenti atmosferici, all'invecchiamento, a variazioni cromatiche. Per quanto riguarda il coefficiente di emissività, si osserva una netta discrepanza tra i valori elevati dei laterizi e quelli più bassi dei materiali metallici.

Valutazione in opera dell'albedo di diverse tipologie di copertura e impatto sul fenomeno «isola di calore»

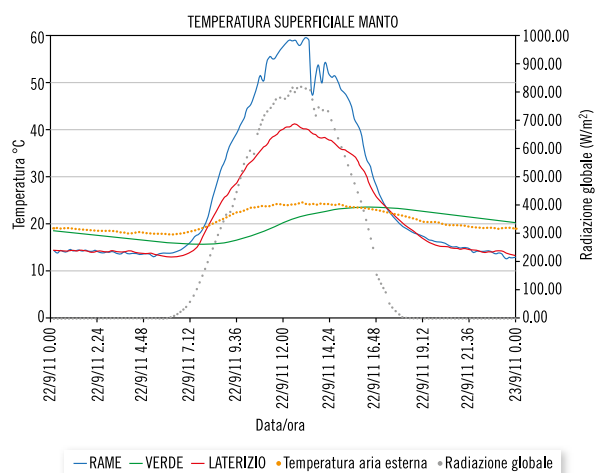
Il grafico a dispersione di fig.6 rappresenta la radiazione riflessa dalle coperture analizzate rispetto alla radiazione incidente. La pendenza della retta che interpola i punti rappresenta proprio il valore dell'albedo delle tre coperture, riportato sinteticamente in tabella 3.

Si può osservare come la copertura in laterizio presenti un valore di albedo molto elevato rispetto alle altre coperture (0,31). La copertura verde si caratterizza invece per un valore molto basso (0,13) rispetto a quanto ci si aspetterebbe, date le note proprietà di raffrescamento di tale tipologia di manto. Questo perché le capacità raffrescanti della vegetazione non sono imputabili tanto all'albedo, quanto ai fenomeni evapo-traspirativi che vi si verificano, all'isolamento aggiuntivo costituito dal substrato colturale, all'ombreggiamento dato dalle foglie. La copertura con manto in rame presenta il valore di albedo più basso (0,09).

In fig. 7, è rappresentato l'andamento della temperatura superficiale del manto delle tre tipologie di copertura in una giornata tipo di fine estate, caratterizzata da una radiazione elevata e temperature dell'aria mite. La copertura con manto in rame, data la ridotta albedo, raggiunge temperature molto elevate, prossime ai 60°C, mentre la copertura in laterizio sfiora i 40°C. La copertura verde si attesta su valori notevolmente inferiori (massima di circa 25°C), nonostante la ridotta albedo misurata e grazie ai fenomeni raffrescanti dati dalla presenza di vegetazione.

	Assorbanza	Emissività	Albedo
Verde	-	-	0,13
Laterizio chiaro	0,50	0,80	0,31
Rame ossidato	0,70	0,3	0,09

Tabella 3. Valori di albedo ricavati per le tre coperture e valori di assorbanza ed emissività misurati in laboratorio.



7. Andamento della temperatura superficiale del manto delle tre tipologie di copertura durante una giornata tipo del monitoraggio.

Conclusioni

Il rapporto tra materiali da costruzione e «isola di calore» risulta ancora un tema di ricerca poco approfondito in Italia a livello normativo.

Solo alcuni protocolli volontari di certificazione di sostenibilità contemplano l'utilizzo di limiti sulle proprietà radiative dei materiali. Tale impostazione «quantitativa» tuttavia contrasta con il fatto che queste caratteristiche sono fortemente suscettibili di variazioni naturali con l'invecchiamento.

Prima di definire con precisione un valore di riferimento occorrerebbe, infatti, approfondire quantomeno la soglia di variabilità della grandezza stessa, in relazione ai numerosi fattori che la possono influenzare (variazioni cromatiche, invecchiamento, patine superficiali, aggressione atmosferica, ecc.).

In un quadro ancora incerto di dati forniti ai progettisti, la ricerca qui riportata nella necessaria sintesi ha comunque reso evidente che materiali tradizionali per manti di copertura, quali i laterizi, dalle equilibrate proprietà radiative e grazie alla ventilazione sotantomato, sono in grado di garantire minori temperature superficiali, riducendo gli apporti di calore all'aria esterna.

* Università Politecnica delle Marche (AN)

Note

- 1 Albedo: l'albedo di una superficie è la frazione di radiazione incidente che viene riflessa. Se la parola albedo viene usata senza ulteriori specifiche, si intende la frazione riflessa dell'irradiazione solare ($\lambda < 2,5\mu\text{m}$). In tal caso, l'albedo coincide con la riflettanza solare. Assume valori da 0 ad 1 (in percentuale dallo 0 al 100%). Una albedo pari a 1, ossia del 100%, indica che tutta l'energia incidente è riflessa verso l'atmosfera.
- 2 Assorbanza: l'assorbanza o coefficiente di assorbimento indica il rapporto tra la frazione di potenza di radiazione assorbita e quella incidente su un corpo. Può assumere valori compresi tra 0 e 1. Dipende dalla natura, dalla forma e dalla temperatura del corpo considerato.
- 3 Emissività: l'emissività di un materiale è la frazione di energia irradiata da quel materiale rispetto all'energia irradiata da un corpo nero alla stessa temperatura. Assume valori compresi tra 0 e 1. Dipende da fattori quali la temperatura, l'angolo di emissione, la lunghezza d'onda e la finitura superficiale del corpo osservato.

Bibliografia

1. Green Building Council Italia, <http://www.gbitalia.org/>.
2. Protocollo Itaca per la valutazione della sostenibilità energetica e ambientale degli edifici, http://www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp.
3. Protocollo Itaca Marche, http://www.ambiente.regione.marche.it/Energia/Edilizia_sostenibile/ITACA/ProtocolloITACAMarche.aspx;
4. *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*, Astm E 903, Usa: s.n., 1996.
5. *Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer*, ASTM C 1549, USA: s.n., 2004.
6. *Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field*, ASTM E 1918, USA: s.n., 1997.
7. Araujo Prado, Racine Tadeu and Lourenço Ferreira, Fabiana, *Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials*, Energy and Buildings, Vol. 37, pp. 295-300, 2005.
8. Lawrence Berkeley National Laboratory, California, *Project: Cool Roof*, <http://eetd.lbl.gov/coolroof/>.
9. Florida Solar Energy Center, <http://www.fsec.ucf.edu/en/index.php>.
10. Akbari H. et al., *Monitoring peak power and cooling energy savings of shade trees and white surfaces in the Sacramento Municipal Utility District (SMUD) Service Area: Data Analysis, Simulations and Results*, Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-34411, 1993.
11. Takebayashi H. and Moriyama M., *Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island*, Building and Environment, Vol. 42, pp. 2971-2979, 2007.
12. Griggs E., Sharp T. and MacDonald J., *Guide for estimating differences in building heating and cooling energy due to changes in solar reflectance of a low-sloped roof*, Energy Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, USA: s.n., 1989.
13. Bretz S. and Akbari H., *Long-term performance of high-albedo roof coatings*, Energy and Buildings, Vol. 25, pp. 159-167, 1997.
14. Commission California Energy, *Inclusion of cool roofs in nonresidential title 24 prescriptive requirements*, <http://www.energy.ca.gov/title24/2005standards/index.html>, Pacific Gas and Electricity, 2002.
15. Suehercke H., Peterson E. L. and Selby N., *Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate*, Energy and Buildings, Vol. 40, pp. 2224-2235, 2008.
16. D.J. Sailor, K. Resh, D. Segura, *Field measurement of albedo for limited extent test surfaces*, Solar Energy, 80 (2006) 589-599.

Chiara Ferrari*
 Antonio Libbra*
 Alberto Muscio**
 Cristina Siligardi***

Isola di calore e surriscaldamento estivo: cool colors in laterizio

La riflettanza solare delle coperture varia a seconda del tempo e del luogo di esposizione ed è influenzata dai fenomeni naturali. I manti in laterizio si dimostrano un eccellente candidato, in funzione dell'edilizia ad alta efficienza energetica, sia per il contrasto dell'isola di calore urbana che per comfort indoor e la limitazione dei consumi estivi

KEYWORDS Riflettanza, Invecchiamento, Tegole, Coppi, Laterizio

Ad oggi il comfort termico negli edifici è uno dei requisiti chiave della qualità abitativa. Esso può essere ottenuto d'inverno mediante un ottimale isolamento termico dell'involucro combinato ad un involucro inerziale, massivo, onde evitare che il freddo penetri all'interno dell'edificio e che il calore generato dai sistemi di riscaldamento fuoriesca. In fase estiva è necessaria, invece, una strategia di riduzione degli apporti solari attraverso gli elementi di involucro opachi e trasparenti. Per ciò che concerne le superfici finestrate, ciò può essere ottenuto con l'utilizzo di schermature fisse o mobili integrate o meno nel serramento oppure utilizzando vetri selettivi che operano una selezione della radiazione solare, trasmettendo la parte visibile (300-700nm) e limitando l'apporto di quella parte che ricade nell'ultravioletto e nell'infrarosso, non utile al fine dell'illuminazione degli ambienti e causa di stress termici e strutturali sugli edifici. Per quanto riguarda gli apporti solari che filtrano attraverso gli elementi opachi, questi possono avere un impatto decisamente maggiore sugli edifici. Infatti, nonostante siano inferiori a quelli delle superfici trasparenti in termini di

carico termico per unità di superficie, essi vanno moltiplicati per il loro sviluppo superficiale che è ben più esteso rispetto alle aperture. Quest'ultimo apporto può essere, quindi, notevole, si pensi ad esempio alle estensioni delle coperture che sono intensamente irradiate dal sole durante la stagione estiva. Ulteriori conseguenze dei contributi solari attraverso l'involucro opaco è quello che generalmente viene definito come l'"effetto testa calda", che si manifesta come malessere causato dall'irradiazione termica diretta sulle persone da parte delle superfici interne di un solaio, e il fenomeno "isola di calore urbano" (fig. 1), che consiste nell'innalzamento della temperatura dell'aria nei centri urbani rispetto a quella delle aree rurali circostanti. Per limitare gli apporti solari attraverso gli elementi opachi è possibile intervenire anche su alcune caratteristiche dei materiali quali riflettanza solare ed emissività termica delle superfici esterne (proprietà ottiche dei materiali che restituiscono informazioni su ricezione, immagazzinamento e riflessione della radiazione solare). L'emissività termica rappresenta il rapporto tra la radiazione termica emessa da una superficie e la massima emissione

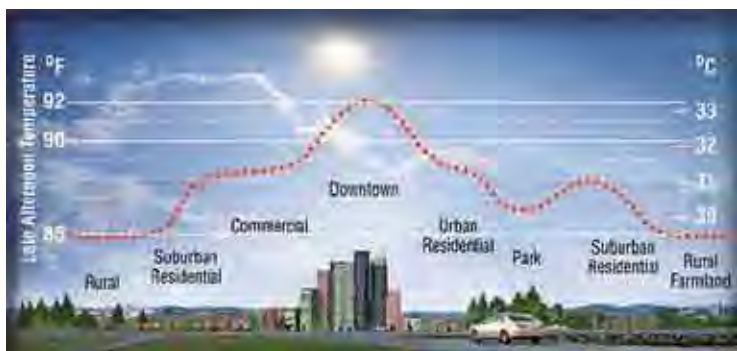
Ageing effect on antisolar properties of clay roof tiles

KEYWORDS Solar Reflectance, Ageing, Clay roof tiles

Thanks to their excellent aesthetical, mechanical properties, clay roof tiles are one of the most widely used building material in roofing system. Ageing, weathering and exposure to pollution, however, affect not only the aesthetical properties, but also the spectral properties of clay roof tiles.

In this study, then, the analysis of ageing and exposition to air pollutants affect the surface of clay roof tiles from different parts of Italy. In this study not only the solar reflectance of material is measured but also the mineralogy of the surface (x-ray diffraction) and their microstructure (Environmental Scanning Electron Microscope) was checked. Moreo-

ver aged samples are treated with cleaning processes simulating natural weathering: wiping to simulate wind and rinsing to simulate rain. Solar reflectance was measured in accomplishment to ASTM E903 standard with a spectrophotometer Uv-Vis-Nir in a wavelength range from 300 up to 2500nm. The reflectance was calculated according to AMIGH irradiance spectrum (clear sky, air mass 1). Due to the small reduction of solar reflectance caused by weathering and ageing, and high thermal emissivity, typical for clay based building materials, clay roof tiles are excellent candidate for cool roofing application, one of the most effective way to counteract Urban Heat Island Effect

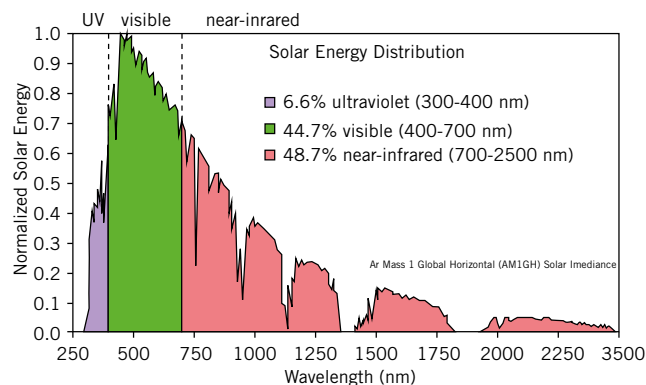


1. Rappresentazione schematica del fenomeno dell' isola di calore urbano: la temperatura, nelle zone urbane (downtown) è dai 3 ai 5 °C più alta di quella delle zone rurali circostanti (Fonte: <http://heatisland.lbl.gov/> Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory).

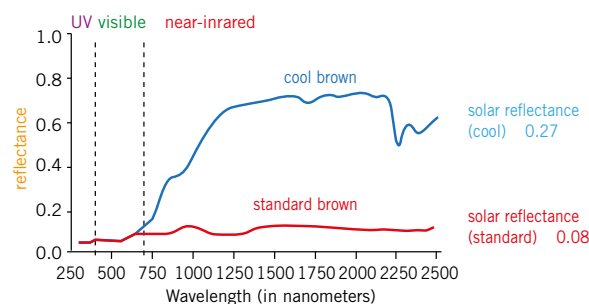
teorica alla medesima temperatura. Il valore varia tra 0 - per un corpo completamente assorbente (corpo nero) - ed 1 per un corpo completamente riflettente. Per quanto riguarda i materiali a base argillosa/ceramica, trattati in questo studio, l'emissività è compresa in un range che va da 0,8 a 0,9 [1]. La riflettanza solare, invece, è la misura della frazione di radiazione solare incidente che viene riflessa da una superficie irradiata. Anche in questo caso il valore varia tra 0 (per una superficie totalmente assorbente) e 1 (per una superficie totalmente riflettente). Per ottenere una superficie che assorba solo una piccola parte della radiazione solare incidente e che rilasci la maggior parte dell'energia assorbita tramite irraggiamento termico è necessario che essa sia caratterizzata da elevata riflettanza solare e da elevata emissività termica. La luce solare che arriva sulla terra, filtrata dall'atmosfera, è composta da più del 50% di radiazione infrarossa, quella che sviluppa maggiormente calore, mentre la luce visibile, responsabile della colorazione degli oggetti, rimane al di sotto del 50%, e la frazione ultravioletta pochi punti percentuali come mostrato nello spettro di figura 2.

A questo proposito, negli Stati Uniti si è ormai consolidata la cosiddetta tecnologia "cool roof" (tetti freddi) [2-5]. Si tratta di materiali di copertura che limitano gli apporti solari grazie alle proprie caratteristiche di elevata riflettanza ed emissività termica. A fianco a questa si è recentemente sviluppata quella dei "cool colors", frutto dell'integrazione di pigmenti colorati nei materiali bianchi "cool", così da ottenere prodotti colorati, in grado di mantenere proprietà di elevata riflettanza ed emissività (fig. 3) [5].

Un campo di ricerca ad oggi ancora aperto è lo studio del comportamento di questi materiali nel tempo, in quanto l'esposizione agli agenti atmosferici, oltre a sporcarne la superficie, ne riduce sensibilmente la loro efficacia [6-10]. L'importanza del comportamento dei materiali per coperture a seguito di invecchiamento ("ageing"), ovvero la loro durabilità, è rimarcata anche dal Cool Roof Rating Council (CRRC), organismo americano no profit che costituisce un autorevole riferimento nello studio dei "cool roof" [11]. In particolare, i prodotti per essere certificati da CRRC, non devono avere un valore minimo di trasmittanza, bensì mantenere buone proprietà termofisiche dopo almeno tre anni di esposizione agli agenti atmosferici. I primi studi sull'ageing dei "cool roof" sono stati condotti da Bretz et al. [7] e hanno dimostrato come la diminuzione della riflettanza solare a causa dell'invecchiamento delle superfici esposte, agli agenti atmosferici ed alla radia-



2. Irradianza spettrale AM1GH. Il 49% della radiazione solare che raggiunge la terra si trova nella lunghezza d'onda dell'infrarosso (invisibile all'occhio umano). I cosiddetti materiali "cool roof" colorati (cool colors) sono progettati per riflettere questa frazione (Fonte: <http://heatisland.lbl.gov/> Heat Island Group, Lawrence Berkeley National).



3. Cool colors con pigmento marrone. Pur mantenendo la stessa risposta nel visibile, il campione in alto (cool) presenta il triplo di riflettanza rispetto a quello in basso (standard), aumenta così la capacità di rinviare la radiazione nel vicino infrarosso (fonte: BASF coatings).

zione solare, se debitamente affrontata con operazioni di lavaggio, non costituisca una limitazione nell'uso di questi materiali per efficienza energetica in edilizia. Di tre diversi prodotti commerciali bianchi acrilici o cementizi per tetti a bassa pendenza, sono stati misurati i valori di riflettanza nelle ore più calde del giorno, in situazioni di cielo sereno. Tra le considerazioni più rilevanti emerse dallo studio c'è la dipendenza della diminuzione di riflettanza in relazione al rivestimento, alla struttura superficiale, alla pendenza del tetto e alle fonti vicine di contaminazione [8]. Il decremento di riflettanza solare nel primo anno è attorno al 0,15 mentre negli anni successivi è inferiore¹. Inoltre, in questo studio viene evidenziata l'importanza del concetto di "pulitura dei tetti" assumendo che l'albedo possa essere ripristinata dal 90 al 100% con opportuni sistemi di lavaggio [9], hanno ulteriormente indagato l'effetto dei processi di pulitura delle superfici sulla riflettanza dei materiali, studiando membrane di PVC bianche o grigio chiaro provenienti da tutti gli Stati Uniti. Sono stati, quindi, eseguiti diversi trattamenti di pulizia: spazzolatura (simula il vento), lavaggio con acqua corrente (pioggia), con detersivi privi di fosfati (pulizia quotidiana) e con agenti aggressivi (lavaggio professionale). Dopo due passaggi erano ancora presenti un sottile strato di carbone ed alcune aree con muffe. E' stato, dunque, necessario un ulteriore passaggio di pulizia per ripristinare la riflettanza persa a seguito dell'invecchiamento. Più recentemente Berdahl et al [6] hanno mostrato come la diminuzione di riflettanza solare vari durante l'esposizione dei campioni agli agenti atmosferici (ad esempio, UV, accumulo contaminanti, azione di vento, pioggia). In questo caso sono state analizzate tegole canadesi rivestite con pigmenti inorganici formati da ossidi



4. Foto dei campioni appartenenti al set 1: tegola in laterizio con ingobbio inorganico finishing ancien neuveau.



5. Foto dei campioni appartenenti al set 2 coppo in laterizio con ingobbio inorganico finishing ancien neuveau.

6. Foto dei campioni appartenenti al set 3: coppo in laterizio con ingobbio inorganico a finishing uniforme.

metallici. Per la prima volta in questo studio vengono utilizzati materiali inorganici. La natura stabile dei rivestimenti aiuta a mantenere le proprietà dei granuli costante nel tempo, ma la riflettanza iniziale cambia a causa della perdita degli oli presenti nel bitume che arrivano a intaccare i granuli. Questi sono particolarmente sensibili ai raggi UV, che provocano foto-ossidazione che, a sua volta, genera una sostanza scura idrofilica che può essere rimossa dalla pioggia o dalla condensa. I climi presi in considerazione sono quello caldo secco e quello caldo umido.

Nel primo i cambiamenti di riflettanza erano prevalentemente riferibili al ciclo annuale di accumulo di contaminanti atmosferici e la loro rimozione da vento e pioggia; nel secondo, invece, si è osservata la crescita di organismi microbiologici che riducevano la riflettanza fino a 0,06 in 3 anni. In questo caso bisogna necessariamente ricorrere all'aggiunta di alghicidi al prodotto. Se la crescita microbiologica è assente, la riflettanza solare non cambia profondamente nel primo anno (0,02 o meno). Considerata l'importanza delle particelle depositate sul tetto, Cheng et al [8] hanno indagato la natura delle componenti depositate durante il naturale processo di invecchiamento in maniera tale da integrare le conoscenze ottenute da Bretz et al. [7] sull'origine del carbonio depositato dall'invecchiamento e dall'esposizione agli agenti atmosferici. In particolare è emerso come due tipi diversi di particolato atmosferico provengano dall'ambiente rurale e da quello urbano ed industriale, inoltre sono state condotte analisi chimiche dalle quali si è evinto come il ferro sia l'elemento più presente seguito da cromo e carbonio. Considerato che i processi di invecchiamento naturale necessitano di tempistiche molto lunghe, presso i laboratori del Lawrence Berkeley National Laboratory, Sleiman et al [12] hanno formulato un protocollo che simula, in tre giorni di analisi in laboratorio, quello che succederebbe alla superficie di un campione di materiale dopo tre anni di esposizione naturale agli agenti atmosferici. Questi protocolli prevedono esposizione forzata a raggi UVA e condensa per 24 ore, con la deposizione di una miscela contaminante che simula le condizio-

ni di inquinamento di determinate località selezionate dal Cool Roof Rating Council [10, 13] e, successivamente altre 24 ore di esposizione forzata a UVA e condensa. La soluzione contaminante è composta da fuliggine, sali, argille e acido umico per simulare la crescita microbiologica che danneggia le superfici. Facendo variare le proporzioni tra i vari contaminanti si possono simulare diverse condizioni climatiche per diverse località. Attualmente non esiste una normativa ad hoc e si fa riferimento alla procedura riportata nella bibliografia [10, 12].

Metodologia

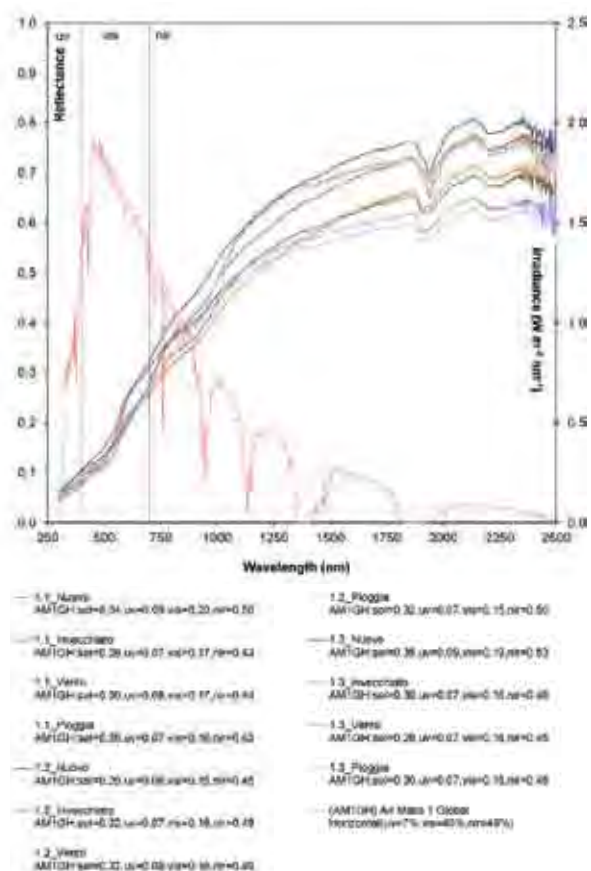
La ricerca condotta e qui espressa nella necessaria sintesi si è focalizzata, in particolare, sull'invecchiamento di coperture in laterizio e, quindi, sulla loro durabilità, sia senza, sia con smalti ed ingobbi inorganici. L'interesse nei confronti di materiali inorganici, finora scarsamente studiati, è dato dal comportamento dei materiali a base ceramica ed argillosa come prodotti ad alta efficienza energetica in funzione delle ottimali proprietà legate all'alta emissività termica ($\epsilon=0,85-0,90$), tenendo in considerazione che le loro proprietà spettrali non decadono, in particolare, per ciò che concerne la riflettanza solare per lunghezze d'onda sopra i 1100 nm presentano maggiore durabilità nel tempo.

Considerata la variazione ridotta di emissività termica dei prodotti in laterizio, ci si è focalizzati sulla riflettanza solare che è un parametro chiave nell'analisi delle proprietà solari. Per poter calcolare la riflettanza solare dei campioni (ASTM E903-96) [14] integrando la riflettività spettrale degli stessi, la proprietà è stata misurata con uno spettrofotometro UV-VIS-NIR, con sfera integratrice da 150 mm, nel range di lunghezze d'onda che va da 250 a 2500 nm (con uno "step size" di 5 nm), all'irradianza spettrale prevista dallo spettro AM1GH [15]. Per integrare le analisi di riflettanza solare, sulle superfici dei campioni sono anche state effettuate analisi in diffrazione ai raggi X, per osservare se a seguito dell'esposizione agli agenti si fossero formate nuove fasi mineralogiche sulle superfici, e analisi al microscopio elettronico a scansione (SEM) per poter ana-

lizzare in maniera più precisa la microstruttura delle varie superfici. In questo sono stati presi in considerazione tre set diversi di campioni provenienti dall'Italia (figg. 4-6) costituiti sia nuovi che invecchiati, per periodi di tempo variabili, in tre diversi punti della penisola (tab. 1). Quasi tutti i campioni presentano una finitura "ancien nouveau", ovvero quasi tutti simulano artificialmente la crescita di muschi, muffe e licheni sulla loro superficie. Questo accorgimento permette al prodotto di essere facilmente integrato in edifici con coperture esistenti, come quelle tipiche dei centri storici italiani. Su tutti i campioni pervenuti, invecchiati e non, è stata misurata la riflettanza solare. Successivamente, i campioni esposti all'invecchiamento naturale sono stati trattati con processi che hanno simulato l'effetto di pioggia e vento. Dopo ogni trattamento la riflettanza solare è stata nuovamente misurata. Seguendo quanto suggerito dagli articoli precedentemente citati, per poter simulare l'azione del vento i campioni sono stati sottoposti per due minuti ad un getto continuo di aria compressa, mentre, per simulare l'azione della pioggia, i campioni sono stati sottoposti ad un getto continuo di acqua fredda corrente sempre per due minuti. Considerato che la superficie dei campioni analizzati non presenta un colore uniforme ma è caratterizzata da intensa variegatura, si è deciso di selezionare cinque diverse aree su ogni tegola. Su ogni area, riportata nelle figg. 4-6 è stata misurata la riflettanza in due punti diversi su ciascun campione e successivamente è stata fatta la media dei valori ottenuti.

Risultati

I valori di riflettanza per il primo set di campioni sono riportati nelle figure 8 e 9 per il secondo set e nella figura 10 per il terzo. Oltre alla misura della riflettanza dei campioni nuovi è stata rilevata la riflettanza di quelli invecchiati è stata rilevata la deviazione standard. La prima serie di campioni è costituita da tegole invecchiate per quattro anni in clima toscano. Per quanto riguarda i valori di riflettanza, per tutti quanti i campioni nuovi il valore è attorno a 0,30. A seguito di invecchiamento si può notare come il peggioramento delle prestazioni rimanga confinato entro una variazione di 0,05. Guardando la figura 7, riferita a questi campioni, si può notare come la maggior variazione di riflettanza sia individuabile nella parte di spettro classificabile come vicino infrarosso. La variazione di riflettività spettrale in questa porzione, tuttavia, non influenza in maniera determinante la riflettanza solare del campione poiché nel range di lunghezze d'onda interessato, l'energia solare coinvolta rappresenta una percentuale irrisoria (fig. 2). Inoltre, considerata la variegatura nel colore delle superfici che vanno dal mattone, del laterizio scoperto, al verde e nero delle parti che presentano smalti che simulano la crescita di alghe, la barra di errore è, in genere, tanto maggiore quanto maggiore sarà la diversa cromaticità sulle superfici. (fig. 8). Della seconda serie di campioni viene riportato solo l'istogramma riassuntivo dell'analisi di riflettanza solare (fig. 9). In questo caso i campioni 2.1 e 2.2 sono caratterizzati da riflettanza media compresa tra 0,25 e 0,30, mentre il campione 2.3 ha una riflettanza circa del 10% maggiore. Anche in questo caso,

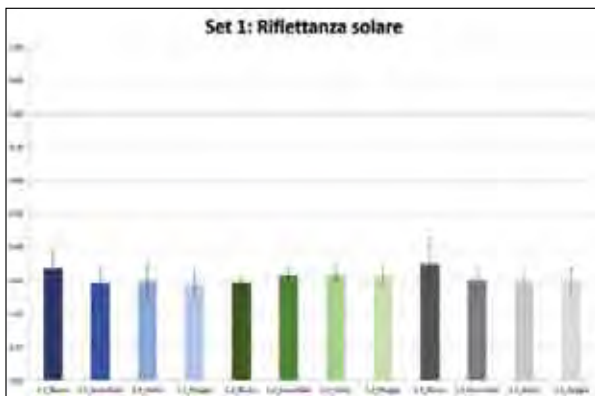


7. Spettri di riflettanza dei campioni appartenenti al set 1 e spettro di irradianza AM1GH.

	Tipologia N. del campione	Luogo di invecchiamento	Tempo di invecchiamento
Set 1	1.1	Toscana	4 anni
	1.2	Toscana	4 anni
	1.3	Toscana	4 anni
Set 2	2.1	Veneto	7 anni
	2.2	Calabria	6 anni
	2.3	Piemonte	5 anni
Set 3	3.1	Toscana	3 anni

Tabella 1. Campioni analizzati.

come nel precedente, l'applicazione dei processi di pulitura non varia la riflettanza del campione. I prodotti in laterizio si dimostrano più durabili dei prodotti in PVC, la loro perdita di riflettanza è decisamente minore, dimostrando una sostanziale stabilità delle loro proprietà e non necessitano, quindi, di costose operazioni di pulizia per ripristinare la riflettanza. I campioni appartenenti alla terza serie analizzata si distinguono dagli altri in quanto non presentano il finishing ancien nouveau che ha caratterizzato i campioni precedenti, ma sono caratterizzati da un colore uniforme. Questi campioni sono, infatti, caratterizzati dalla presenza di un ingobbio chiaro, e presentano valori di riflettanza superiori agli altri, che



8. Misure di riflettanza secondo lo spettro di irradianza AM1GH dei campioni del set 1.



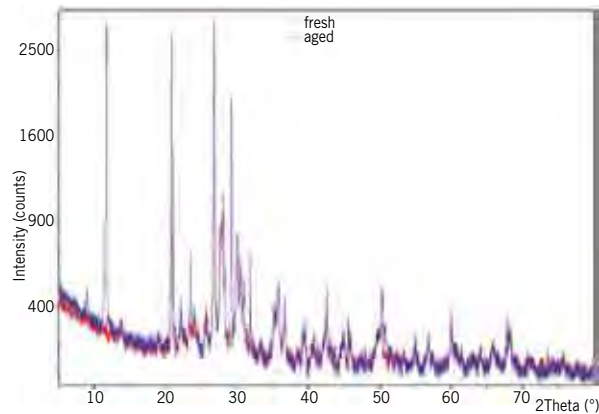
9. Misure di riflettanza secondo lo spettro di irradianza AM1GH dei campioni del set 2.



10. Misure di riflettanza secondo lo spettro di irradianza AM1GH dei campioni del set 3.

permettono, tra l'altro la classificazione del prodotto come cool color in quanto la riflettanza è maggiore di 0,50 (fig. 10). Inoltre è osservabile dall'istogramma come la barra di errore sia ridotta rispetto agli altri campioni finora analizzati, questo può essere giustificato dalla superficie più uniforme. Infine, questi campioni, sono tra quelli la cui riflettanza risente in maniera ridotta dell'esposizione agli agenti atmosferici, presentando solo piccole variazioni nel valore tra il campione esposto e quello non esposto.

Le analisi ai raggi X, condotte sui vari set, avevano lo scopo di identificare le fasi mineralogiche presenti nei campioni analizzati. La posizione dei singoli picchi dà un'informazione sul tipo di fase mineralogica presente, mentre l'altezza del picco è legata alla



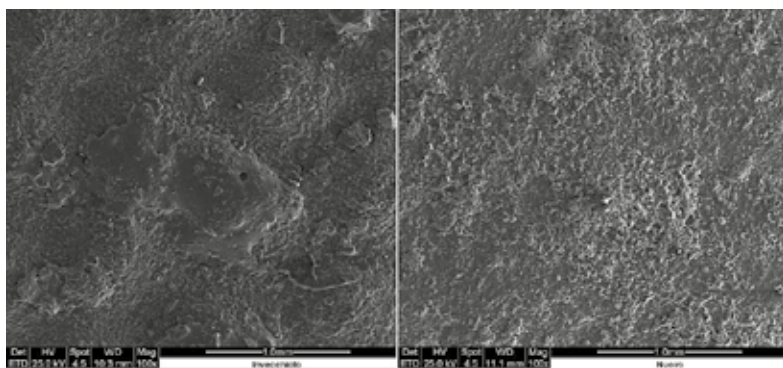
11. Confronto tra i diffrattogrammi del campione 3.1 nuovo (linea rossa) ed invecchiato (linea blu).

quantità di fase presente. Per rendere più agevole il confronto tra i campioni invecchiati e non, sono stati riportati gli spettri relativi ai campioni appartenenti al set 3 (fig. 11) in quanto sono caratterizzati da superfici omogenee e, quindi, più facilmente confrontabili tra loro. Come si può notare le posizioni dei picchi delle fasi presenti in entrambi i campioni sono nella stessa posizione, quindi le fasi cristalline sono le stesse, varia unicamente l'intensità del picco che dà informazioni sulla quantità di fase mineralogica presente.

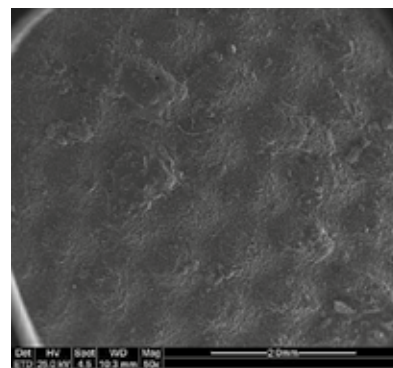
Infine, le analisi microstrutturali al microscopio a scansione elettronica hanno permesso di comprendere meglio la microstruttura delle superfici nuove ed invecchiate. Nella figura 12 è riportato il confronto tra la superficie invecchiata e la superficie nuova del campione 1.2: non ci sono grosse differenze per quanto riguarda la struttura delle superfici; il campione invecchiato presenta delle rugosità sulla superficie che si evidenziano una volta ridotto l'ingrandimento a 50x (fig. 13). Queste ultime sono caratteristiche del processo di produzione e non dipendono dal processo di invecchiamento. L'area più omogenea, invece, mostra un punto in cui è presente smalto vetrificato. Nella figura 14 sono mostrati i due campioni appartenenti al set 2. Come si può osservare le rugosità presenti nel primo set sono assenti (immagine a sinistra), sono invece osservabili, anche in questo caso, le aree dove si nota la presenza di smalto (immagine a destra). Nella figura 15, infine, è riportata la superficie dei campioni appartenenti al set 3. Come si può notare nella figura 6 la superficie di questo campione è coperta in modo omogeneo da un ingobbio color panna (l'immagine al SEM mostra una superficie più liscia rispetto ai primi due set).

Conclusioni

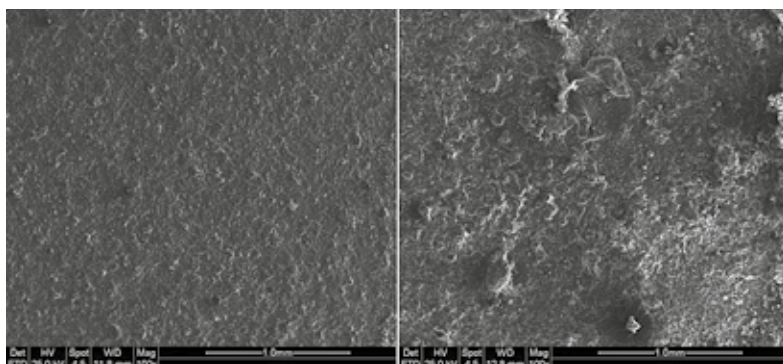
Nel contesto globale che riguarda un involucro edilizio, gli apporti solari attraverso gli elementi opachi rappresentano una aliquota importante dei fattori che influenzano la diffusione degli impianti di condizionamento dell'aria. La principale problematica è il surriscaldamento estivo degli edifici e la conseguente crescita del fabbisogno energetico legata all'uso di tali impianti. Questi aspetti possono essere mitigati utilizzando apposite strategie tecnologiche tra cui quella dei "cool roof" che sfrutta le proprietà di materiali caratterizzati da alti valori di riflettanza solare e di emissività termica. Ma un requisito necessario per il "buon funzionamento" di questi prodotti è il mantenimento delle proprietà ottiche nel tempo ovvero



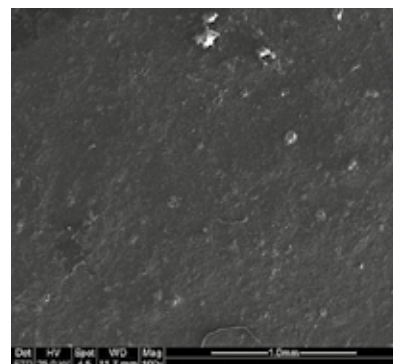
12. Confronto tra immagini SEM di un campione invecchiato ed uno nuovo (Ingrandimento 100x).



13. Immagine microstrutturale del campione 1.2 (Ingrandimento 50x).



14. Immagini SEM di due campioni appartenenti al Set 2 (Ingrandimento 100x).



15. Superficie di un campione appartenente al Set 3 (Ingrandimento 100x).

la loro durabilità. Ad oggi né in Italia né tantomeno in Europa esistono dei requisiti minimi da rispettare per quanto riguarda queste due proprietà, di contro la legislazione prevede localmente vincoli che riguardano la scelta ed il colore dei materiali da utilizzare nelle costruzioni. I laterizi sono i materiali più utilizzati per le coperture degli edifici e, per le loro proprietà intrinseche, sono caratterizzati da alta emissività. Questo studio, quindi, partendo da tali premesse ha analizzato il variare della riflettanza solare in prodotti nuovi (mai esposti) e prodotti installati per periodi di tempo variabile da 4 anni a 7 anni in diverse località climatiche della penisola italiana. Sugli stessi campioni sono stati, anche, simulati dei processi di pulizia delle superfici atti a riprodurre le condizioni reali di vento e pioggia in laboratorio. I risultati finali hanno mostrato che la loro riflettanza, con l'esposizione agli agenti atmosferici, diminuisce solamente di valori compresi tra 0,01 e 0,05. Questo promettente risultato è riconducibile all'alta rugosità della superficie del laterizio. Per quanto riguarda, invece, altri materiali tipicamente utilizzati come cool roof, quali membrane polimeriche e vernici, la diminuzione di riflettanza è maggiore (fino a 0,15 per il primo anno) e può essere ripristinata solo grazie ad operazioni di pulizia che vanno a gravare sul costo totale del tetto. Inoltre le coperture a base polimerica hanno, di contro, un maggiore deperimento delle proprietà meccaniche

che portano alla necessità di sostituire la copertura dopo pochi anni dalla messa in opera. Le tegole ed i coppi in laterizio, quindi, si dimostrano un eccellente candidato per l'edilizia ad alta efficienza energetica per il contrasto sia del fenomeno isola di calore urbana, sia per il mantenimento del comfort indoor e di conseguenza nella limitazione dei consumi estivi. ¶

* Chiara Ferrari, Antonio Libbra
PhD, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari,
Università degli studi di Modena e Reggio Emilia

** Alberto Muscio
Ricercatore, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari,
Università degli studi di Modena e Reggio Emilia

*** Cristina Siligardi
Professore Associato, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari,
Università degli studi di Modena e Reggio Emilia

Note

1. Cit. Bretz & Akbari 1997 "From the roofs we monitored, we estimate an average decrease in albedo of 0,15 in the first year, and much more gradual decline after the first year." Il valore iniziale di riflettanza non è influente ai fini della nozione che si vuole validare, inoltre, i campioni analizzati sono caratterizzati da valori di riflettanza diversi tra loro.

Bibliografia

- [1] M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, *Energy and Buildings*, 42 (2010) 1619-1627.
- [2] H. Akbari, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005, pp. Medium: ED.
- [3] S. Konopacki, H. Akbari, L. Gartland, Other Information: PBD: May 1997, 1997, pp. Medium: ED; Size: 10 p.
- [4] R. Levinson, H. Akbari, *Energy Efficiency*, 3 (2010) 53-109.
- [5] M. Santamouris, *Solar Energy*, 103 (2014) 682-703.
- [6] P. Berdahl, H. Akbari, R. Levinson, J. Jacobs, F. Klink, R. Everman, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 99 (2012) 277-281.
- [7] S.E. Bretz, H. Akbari, *Energy and Buildings*, 25 (1997) 159-167.
- [8] M.-D. Cheng, W. Miller, J. New, P. Berdahl, *Construction and Building Materials*, 26 (2012) 516-526.
- [9] R. Levinson, P. Berdahl, A. Asefaw Berhe, H. Akbari, *Atmospheric Environment*, 39 (2005) 7807-7824.

- [10] M. Sleiman, G. Bar-Weiss, H.E. Gilbert, D. François, P. Berdahl, T.W. Kirchstetter, H. Destailats, R. Levinson, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95 (2011) 3385-3399.
- [11] A. Synnefa, M. Santamouris, *Energy and Buildings*, 55 (2012) 35-41.
- [12] M. Sleiman, T.W. Kirchstetter, P. Berdahl, H.E. Gilbert, S. Quelen, L. Marlot, C.V. Preble, S. Chen, A. Montalbano, O. Rosseler, H. Akbari, R. Levinson, H. Destailats, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 122 (2014) 271-281.
- [13] <http://coolroofs.org/> ultima consultazione 10 aprile 2014
- [14] ASTM (1996). ASTM E 903-96 – Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres. Standard of the American Society for Testing and Materials.
- [15] R. Levinson, H. Akbari, P. Berdahl, *Solar Energy*, 84 (2010) 1717-1744.

Impianti fotovoltaici: produttività ed applicazioni

M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, S. Basile, Università Politecnica delle Marche (AN)

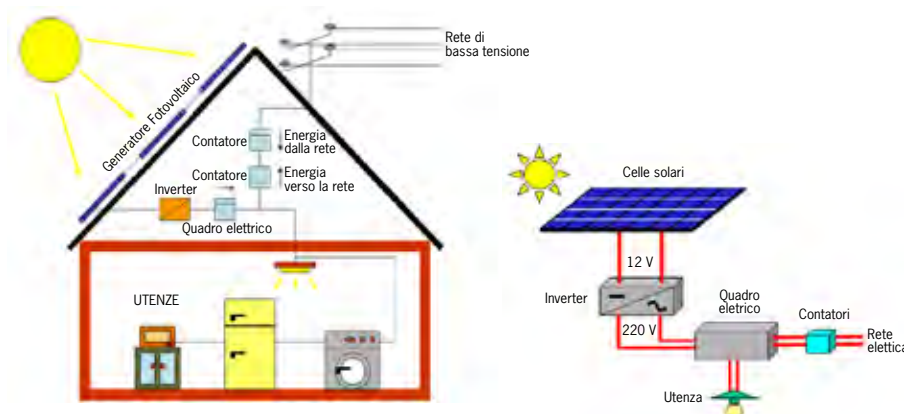
Grazie alle coperture a falde in laterizio è possibile aumentare il rendimento degli impianti fotovoltaici sfruttando le loro capacità di raffreddamento. La conoscenza di tali tecnologie è naturalmente fondamentale per una corretta progettazione.

L'integrazione tra coperture in laterizio e impianti fotovoltaici rappresenta senza dubbio un tema importante per assicurare idonei rendimenti e prestazioni in relazione a posizione geografica, condizioni ambientali e disposizione dei moduli.

Come noto, gli impianti fotovoltaici trasformano in energia elettrica (corrente continua) l'energia solare sfruttando l'effetto fotovoltaico. Tale fenomeno si manifesta nei materiali detti "semiconduttori", come il silicio cristallino ed il silicio amorfo con i quali si realizzano le celle che compongono i pannelli. Gli impianti fotovoltaici si dividono in due categorie: "isolati" dalla rete elettrica (*stand-alone* o *off-grid*) e "collegati" alla rete (*grid-connected*).



Funzionamento e componenti del sistema fotovoltaico



1 - Schema di impianto fotovoltaico.

Generalmente, un impianto fotovoltaico si compone di:

- **modulo fotovoltaico:** elemento principale dell'impianto, costituito da celle fotovoltaiche a base di silicio, che permette la trasformazione di energia solare in energia elettrica;
- **strutture di sostegno:** insieme dei profili metallici, dei ganci e delle varie minuterie che vanno a costituire il sostegno dell'impianto fotovoltaico;
- **inverter:** trasforma l'energia elettrica da corrente continua a corrente alternata, rendendola idonea alle esigenze delle apparecchiature elettriche;
- **quadro elettrico:** dispositivo che consente una corretta distribuzione e misurazione dei flussi di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico; in caso di consumi elevati o in assenza di alimentazione da parte dei moduli fotovoltaici, la corrente viene prelevata dalla rete pubblica. In caso contrario, l'energia fotovoltaica eccedente viene immessa in rete.
- **rete:** allacciamento al servizio pubblico dell'azienda elettrica;
- **utenze:** apparecchi alimentati dall'impianto fotovoltaico.

Il componente principale dei pannelli fotovoltaici è il modulo fotovoltaico, costituito da un insieme di celle solari collegate tra loro, che fornisce una potenza elettrica mediamente compresa tra i 50 e i 100 W. La singola cella, di dimensioni intorno ai 10 x 10 cm, costituisce, dunque, il dispositivo elementare alla base di ogni sistema fotovoltaico. Le celle possono essere costituite da silicio monocristallino, poli (multicristallino, o a *film* sottile (in silicio amorfo o leghe di diversa natura).

Rendimento dei pannelli fotovoltaici e produttività

Il rendimento di un modulo fotovoltaico (o efficienza di conversione) indica il rapporto tra l'energia elettrica prodotta e l'energia solare incidente sul modulo stesso. Tale valore, definito in condizioni standard (STC), diminuisce man mano che la cella fotovoltaica si surriscalda per via dell'irraggiamento e della temperatura ambiente.

Formula del rendimento:

$$\eta = \eta_c \beta (T_c - T_{rif})$$

dove:

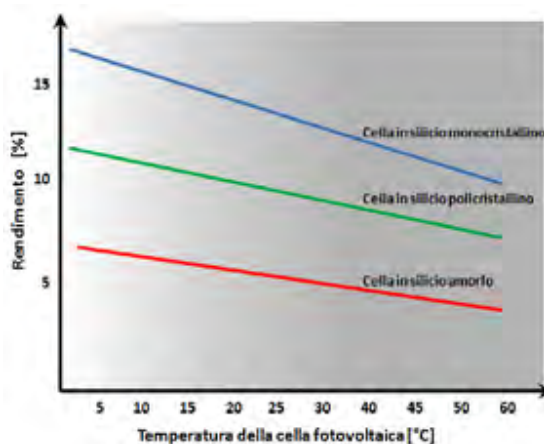
- η_c : **efficienza del modulo**
- β : **coefficiente di temperatura (W/°C)**
- T_c : **temperatura della cella (°C)**
- T_{rif} : **temperatura di riferimento (25°C)**

Dal calcolo del rendimento, si determina l'energia prodotta:

$$E = \eta \eta_{BOS} A k G$$

dove:

- η : **rendimento della cella**
- η_{BOS} : **rendimento del sistema**
- A : **area del modulo (m²)**
- k : **coefficiente di perdita**
- G : **radiazione solare (W/m²)**



2 - Efficienza di conversione di una cella fotovoltaica.

Caratteristiche elettriche	silicio monocristallino	silicio policristallino	film sottile
Potenza di picco (Wp): potenza massima prodotta da un dispositivo fotovoltaico in condizioni standard (STC)	210 - 240	210 - 245	80 - 100
Efficienza di conversione del modulo (%): rapporto tra l'energia elettrica prodotta e l'energia solare incidente	12% - 15%	11% - 14%	5% - 7%
Rendimento globale del sistema (%): prodotto tra il rendimento del dispositivo fotovoltaico e del sistema	10%	8,5%	5%
Tensione a circuito aperto VOC (V): tensione massima prodotta da un dispositivo fotovoltaico senza carico.	36 - 38	36 - 38	23 - 24
Corrente in corto circuito Isc (A): corrente prodotta da un dispositivo fotovoltaico quando i suoi morsetti vengono cortocircuitati	8 - 9	7 - 8	6 - 7
NOCT (Nominal operation cell temperature) (°C): temperatura di un modulo fotovoltaico con: irraggiamento di 800 W/m ² , temperatura ambiente di 20°C e velocità del vento a pari 1 m/s	45 - 48	45 - 48	36 - 47

Tab. 1 - Parametri caratteristici dei pannelli fotovoltaici.

Per ciò che concerne la produttività di un impianto fotovoltaico, a seconda della zona geografica d'installazione e della disposizione dei moduli (orientamento ed inclinazione), si riporta in tab. 1 la valutazione della produzione elettrica fotovoltaica annua.

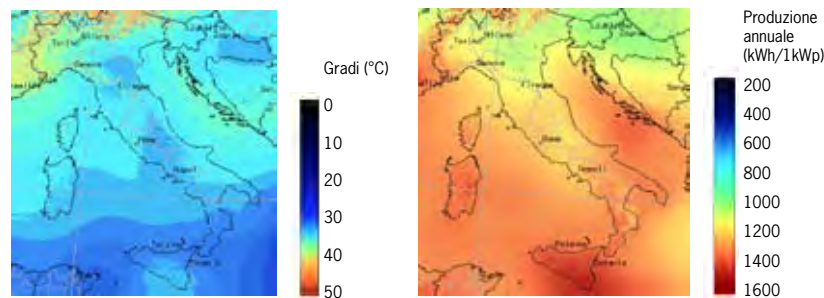


ZONA CLIMATICA A	100% (1490)	ORIENTAMENTO				
	PENDENZA (%)	SUD (0)	± 15	± 30	± 45	EST – OVEST (± 90)
	35 – 45 %	98,0%	97,0%	96,5%	94,5%	86,5%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	96,5%	96,5%	95,0%	94,0%	87,0%
	30 % Pendenza minima	96,0%	96,0%	95,0%	94,0%	88,0%
ZONA CLIMATICA B	100% (1430)	ORIENTAMENTO				
	PENDENZA (%)	SUD (0)	± 15	± 30	± 45	EST – OVEST (± 90)
	35 – 45 %	98,0%	98,0%	96,5%	94,0%	87,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	97,0%	96,5%	96,0%	94,0%	87,5%
	30 % Pendenza minima	96,5%	96,0%	95,0%	93,5%	88,0%
ZONA CLIMATICA C	100% (1380)	ORIENTAMENTO				
	PENDENZA (%)	SUD (0)	± 15	± 30	± 45	EST – OVEST (± 90)
	35 – 45 %	97,0%	97,0%	95,0%	94,0%	85,5%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	96,0%	95,0%	94,5%	93,0%	86,0%
	30 % Pendenza minima	95,0%	94,5%	94,0%	92,5%	87,0%
ZONA CLIMATICA D	100% (1290)	ORIENTAMENTO				
	PENDENZA (%)	SUD (0)	± 15	± 30	± 45	EST – OVEST (± 90)
	35 – 45 %	97,5%	97,0%	96,0%	94,0%	86,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	97,0%	96,0%	95,0%	94,0%	86,0%
	30 % Pendenza minima	95,0%	95,0%	94,5%	93,0%	87,0%
ZONA CLIMATICA E	100% (1140)	ORIENTAMENTO				
	PENDENZA (%)	SUD (0)	± 15	± 30	± 45	EST – OVEST (± 90)
	35 – 45 %	97,0%	97,0%	95,5%	93,5%	85,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	95,5%	95,5%	95,0%	93,0%	85,0%
	30 % Pendenza minima	95,0%	95,0%	94,0%	92,5%	85,5%
ZONA CLIMATICA F	100% (1080)	ORIENTAMENTO				
	PENDENZA (%)	SUD (0)	± 15	± 30	± 45	EST – OVEST (± 90)
	35 – 45 %	96,0%	96,0%	95,0%	93,5%	85,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	95,0%	95,0%	94,0%	92,5%	85,0%
	30 % Pendenza minima	94,0%	94,0%	93,5%	92,0%	85,5%

Tra parentesi sono riportati i valori espressi in kWh/anno di un impianto di potenza massima 1 kWp (kWh a/1kWp). I valori % rappresentano la percentuale di energia prodotta rispetto al massimo (100%).

Tab. 1 – Produzione di energia elettrica fotovoltaica annua di un impianto di potenza massima pari a 1 kWp in funzione di zona climatica, orientamento e pendenza dei pannelli.

La produzione di energia è stata stimata mediante un programma di calcolo a partire da: potenza di picco installata, località d'installazione, orientamento (*Azimuth*) ed inclinazione.



3 - A sinistra, angolo di inclinazione ottimale dell'Italia. A destra, potenza elettrica annuale con angolo di inclinazione ottimale. Mentre per l'orientamento la condizione migliore è l'installazione a sud, per l'inclinazione dei moduli l'angolo ottimale varia con la posizione geografica.

A seconda della tipologia di installazione dell'impianto, la totale integrazione in copertura provoca un abbattimento della produzione elettrica del 2-3% circa, rispetto all'integrazione parziale, e del 5-6% rispetto al montaggio a terra, a causa del surriscaldamento del retro dei moduli a contatto con il solaio di copertura. Tali perdite tendono ad aumentare soprattutto nel periodo estivo a causa degli alti valori di temperatura e d'irraggiamento. La presenza di coperture in laterizio contribuisce, grazie alla discontinuità del manto, a raffreddare il pannello fotovoltaico aumentandone il rendimento.

Zone climatiche definite dalla norma UNI 10349	Città di riferimento per ogni zona climatica	Pendenza tipica della zona climatica (%)	Produzione elettrica (kWh/1kWp)
ZONA A	Porto Empedocle	25 - 30	1410 - 1420
ZONA B	Palermo	25 - 30	1360 - 1380
ZONA C	Bari	30 - 35	1320 - 1330
ZONA D	Roma	35 - 50	1260 - 1280
ZONA E	Milano	50 - 60	1120 - 1140
ZONA F	Belluno	> 60	1070 - 1090

Tabella 2 - Pendenza tipica del tetto e producibilità in funzione della zona climatica.

Zone climatiche definite dalla norma UNI 10349	Città di riferimento per ogni zona climatica	Superficie per 1000 kWh/annui (m ²)	Superficie per 2000 kWh/annui (m ²)	Superficie per 3000 kWh/annui (m ²)
ZONA A	Porto Empedocle	4,1	8,2	12,4
ZONA B	Palermo	4,3	8,6	12,9
ZONA C	Bari	4,4	8,8	13,3
ZONA D	Roma	4,7	9,4	14,0
ZONA E	Milano	5,3	10,6	15,9
ZONA F	Belluno	5,5	11,0	16,6

Tabella 3 - Superficie necessaria in funzione del fabbisogno energetico per ogni zona climatica.

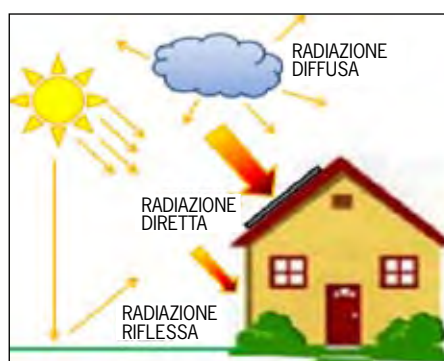
Dalle tabelle 2 e 3, si desume che, all'aumentare della produzione elettrica, la superficie necessaria per il fabbisogno energetico diminuisce. In particolare, la zona climatica F, che produce il 25% in più della zona climatica A, necessita di una superficie minore della stessa percentuale, rispetto alla medesima zona climatica.



Energia dal tetto in laterizio: i sistemi solari in copertura

M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, S. Basile, Università Politecnica delle Marche (AN)

Il sole è quella tra le principali fonti di energia rinnovabile a cui oggi si guarda con maggiore attenzione. Gli impianti solari termici e fotovoltaici, che permettono di realizzare un sistema di produzione energetica diffuso, presentano un'efficienza che può variare fortemente in relazione alle modalità con cui si integrano nella copertura e con la tipologia del manto.



Componenti della radiazione solare.

Le tecnologie solari in copertura

Il "sole" è la principale fonte di energia rinnovabile a disposizione e la copertura è il luogo privilegiato dove captare questa energia, in quanto:

- permette di montare i collettori con l'inclinazione ottimale massimizzandone il rendimento;
- non è generalmente ombreggiata e quindi si ha produzione costante di energia;
- permette una facile integrazione dei collettori assicurando il minimo impatto estetico.

I principali sistemi che permettono l'utilizzo dell'energia solare sono gli impianti solari per la produzione di energia termica, gli impianti fotovoltaici per quella elettrica e la tecnologia ibrida, capace di produrre energia elettrica e calore allo stesso tempo. E più precisamente:

- **sistemi solari termici:** convertono la radiazione solare in calore, impiegato per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti. Sono ottimali nei casi in cui vi sia disponibilità di superfici orientate a sud, con inclinazione pari circa alla latitudine del luogo. Ciò è necessario per consentire la circolazione naturale dell'acqua e per sfruttare l'irraggiamento diretto durante le varie stagioni dell'anno;
- **sistemi solari fotovoltaici:** consentono di trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica. Forniscono i rendimenti massimi proprio con le inclinazioni con le quali si realizzano tradizionalmente le coperture a falde in laterizio;
- **sistemi solari ibridi:** denominati "PV-T", sono costituiti da moduli fotovoltaici montati sulla superficie assorbente di un collettore solare termico, che raffredda i moduli fotovoltaici migliorandone in modo significativo il rendimento elettrico.



Le modalità di integrazione

Integrazione parziale: un impianto solare si definisce parzialmente integrato se è installato, tramite un'apposita struttura intermedia ancorata alla copertura esistente e complanare rispetto alla superficie di chiusura, senza la sostituzione del materiale costituente il manto in modo che il rivestimento, come tegole e coppi, rimanga inalterato.



È consigliata la sovrapposizione se il pacchetto di copertura non è idoneo all'integrazione, specialmente se si tratta di tipologie non ventilate e di vecchia costruzione.

Impianto solare fotovoltaico parzialmente integrato grazie alla struttura di sostegno applicata in copertura.



Questa tipologia d'impianto ha lo svantaggio che il serbatoio di accumulo deve essere installato al di sopra dei pannelli solari, a scapito dell'estetica della copertura, a meno che non lo si posizioni nel sottotetto.

Impianto solare termico a circolazione naturale, sovrapposto in copertura, dotato di collettori vetrati piani.

Presenta un duplice vantaggio, in quanto si tratta di una soluzione a basso costo d'installazione, poiché vengono utilizzate semplici strutture per il sostegno dei pannelli, e non necessita della rimozione del rivestimento della copertura.

L'integrazione parziale evita, inoltre, problemi d'infiltrazioni, in quanto il manto di copertura, non essendo rimosso e rimanendo continuo, continua a garantire una corretta tenuta all'acqua e la protezione degli elementi sottostanti la copertura (quali isolante, membrane impermeabili, ecc.) dalla pioggia battente e soprattutto dalla radiazione solare che, nei periodi estivi, può causare un eccessivo surriscaldamento degli ambienti sottostanti.

Integrazione totale: si ha quando l'impianto solare è inserito completamente nell'involucro edilizio, riuscendo ad equilibrare gli aspetti tecnici ed estetici dei componenti della tecnologia solare con quelli della copertura, senza compromettere le caratteristiche funzionali di entrambi. Il sistema solare, costituendo in questo caso una soluzione di continuità del manto, deve garantire la tenuta all'acqua ed evitare la formazione di ponti termici.

L'integrazione dei moduli in copertura può risultare la soluzione ottimale nel caso di progettazione *ex novo*, oppure quando la copertura viene sottoposta a lavori di manutenzione straordinaria o di riqualificazione ed è necessaria la sostituzione del manto.

I vantaggi dell'integrazione totale degli impianti solari sono principalmente legati ad un migliore impatto visivo della copertura rispetto all'integrazione parziale.

D'altro lato, però, deve essere assicurata una ventilazione dell'intradosso dei moduli, per evitare fenomeni di degrado dello strato di tenuta all'acqua e di surriscaldamento dei dispositivi solari e conseguente perdita di efficienza. Nell'integrazione dei sistemi di captazione solare nelle coperture in laterizio, è favorita la ventilazione dei sistemi stessi in quanto assicurano temperature minori all'estradosso dell'isolante rispetto, ad esempio, alle coperture metalliche, grazie alle migliori proprietà radiative dei materiali ceramici che consentono una continua asportazione di calore per ventilazione.





Il problema maggiore di questa tipologia d'installazione è assicurare una perfetta tenuta all'acqua piovana: per questo vengono utilizzate delle guaine impermeabilizzanti tra l'impianto ed il manto.

Pannelli fotovoltaici policristallini.

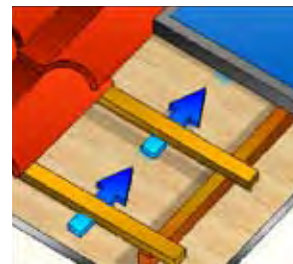


L'impianto è integrato in copertura grazie ad un pannello in grado di alloggiare un fascio tubiero di collettori termici, ricoperti da una lastra in plexiglass trasparente, che protegge il dispositivo e assicura continuità estetica alla copertura.

Impianto solare termico dotato di tubi sottovuoto.

Il vantaggio dei sistemi basati sull'integrazione con tegole e coppi deriva dalla possibilità di unire la funzionalità di un elemento in laterizio alla moderna tecnologia solare, mantenendo inalterato l'aspetto estetico della copertura. Evolve, quindi, l'elemento in "cotto" che, nel tempo, ha dimostrato una grande stabilità per le sue semplici ma funzionali modalità di montaggio, migliorandone la composizione e trasformandolo in una "fonte" di energia pulita.

Resta così, anche, immutata la disposizione dei canali di deflusso delle acque meteoriche e con essa la piena funzionalità della copertura.



La presenza della ventilazione/micro-ventilazione permette di aumentare l'efficienza del pannello di captazione solare.



Alcuni esempi di tegole e coppi con la cella fotovoltaica integrata nell'elemento costituente il manto di copertura.



In particolare, dal punto di vista del rendimento, per quello che riguarda la tecnologia fotovoltaica, non si ha perdita di efficienza con le alte temperature del periodo estivo, grazie al canale di ventilazione tra il dispositivo fotovoltaico ed il coppo/tegola.

Il limite principale delle "tegole fotovoltaiche" è rappresentato dal fatto che, a parità di potenza installata sul tetto, il sistema richiede una superficie maggiore rispetto ad un impianto fotovoltaico classico in silicio monocristallino. Un significativo vantaggio è invece costituito dal poter sostituire/manutenere piccoli elementi piuttosto che interi pannelli, con risvolti economici tutt'altro che indifferenti.

Elisa Di Giuseppe,
Marco D'Orazio,
Costanzo Di Perna*

Energia dal tetto con i sistemi solari: valutazione sperimentale delle prestazioni

Il sole è quella, tra le principali fonti di energia rinnovabile, a cui oggi si guarda con attenzione. Gli impianti solari termici e fotovoltaici, che permettono di realizzare sistemi di produzione energetica diffusi, presentano un'efficienza che può variare fortemente in relazione alle modalità con cui si integrano in copertura e con la tipologia del manto. Una ricerca sperimentale su pannelli fotovoltaici differentemente integrati in copertura mostra come la ventilazione sottomanto nelle soluzioni in laterizio sia un mezzo efficace per ridurre il surriscaldamento degli elementi, che può verificarsi in sistemi totalmente integrati, evitando parallelamente errori di installazione oramai divenuti «classici»

Il sole è la principale fonte di energia rinnovabile a disposizione e la copertura a falde è il luogo privilegiato dove captare questa energia in quanto: permette di montare i collettori con l'inclinazione ottimale massimizzandone il rendimento; non è generalmente ombreggiata e quindi si ha produzione costante di energia; permette una facile integrazione dei collettori con il minimo impatto estetico. I principali sistemi che permettono l'utilizzo della radiazione solare sono gli impianti per la produzione di energia termica, gli impianti (fotovoltaici) per quella elettrica, oltre alle soluzioni ibride capaci di produrre energia elettrica e calore allo stesso tempo. In fase progettuale, oltre ad assicurare la massima efficienza degli impianti solari, grande attenzione viene sempre più dedicata alla loro integrazione con le costruzioni che li supportano, riducendo quanto più possibile l'impatto visivo. Si è spinti, pertanto, a passare dai sistemi con integrazione parziale (fig.1), sovrapposti al manto senza prevederne la so-

stituzione, a impianti totalmente integrati (fig.2), nei quali il dispositivo sostituisce l'intero manto e pertanto deve essere capace di soddisfarne anche i requisiti funzionali. A questi si aggiungono i più recenti sistemi che integrano il modulo di captazione e l'unità di copertura (fig.3). Non sempre tuttavia l'integrazione è facile, né gestita nel modo più corretto (fig.4), oltre a porre alcuni problemi relativi all'efficienza stessa degli impianti. È noto, infatti, che alcune tipologie impiantistiche (per esempio i moduli fotovoltaici) se totalmente integrate, manifestano problematiche di minore efficienza di conversione con possibile riduzione dell'energia prodotta. Di seguito, a valle di una disamina sui criteri generali di pre-dimensionamento, si riportano i risultati di una sperimentazione che evidenziano come l'integrazione totale su coperture in laterizio non determini la sussistenza di problemi di questo tipo. Le perdite di efficienza sono infatti estremamente contenute. Come noto, gli impianti fotovoltaici trasformano in energia elettrica (corrente continua) l'energia solare sfruttando l'effetto fotovoltaico. Tale fenomeno si manifesta nei materiali detti «semiconduttori», come il silicio cristallino e il silicio amorfo con i quali si realizzano le celle che compongono i pannelli. Gli impianti fotovoltaici si dividono in due categorie: «isolati» dalla rete elettrica (*stand-alone* o *off-grid*) e «collegati» alla rete (*grid-connected*). Il componente principale dei pannelli è il modulo fotovoltaico, costituito da un insieme di celle solari collegate tra loro, che fornisce una potenza elettrica mediamente compresa tra i 50 e i 100 W. La singola cella, di dimensioni intorno

The sun is one of the major sources of renewable energy to which one pays close attention nowadays. The solar thermal and photovoltaic systems, that allow the creation of wide energy production systems, have an efficiency that can widely vary in terms of how they integrate on the roof and of the type of surface. An experimental research on photovoltaic panels differently integrated in cover shows how the undercover ventilation of the clay roofing tiles solutions is an effective means to reduce the overheating of the panels, that can occur in fully integrated systems, avoiding «classic» installation errors



Impianto solare fotovoltaico parzialmente integrato grazie alla struttura di sostegno applicata in copertura. In questo caso la sovrapposizione è generalmente consigliata se il pacchetto di copertura non è idoneo all'integrazione, specialmente se si tratta di tipologie di tetto non ventilate e di vecchia costruzione.

Impianto solare termico a circolazione naturale, sovrapposto in copertura, dotato di collettori vetri piani. Questa tipologia d'impianto presenta lo svantaggio di dover installare il serbatoio di accumulo al di sopra dei pannelli solari, a discapito dell'estetica della copertura, a meno che non lo si posizioni nel sottotetto.

1. Esempi di integrazione «parziale». Questo sistema presenta vantaggi economici per il basso costo di installazione (semplici strutture di sostegno senza rimozione del manto) e vantaggi funzionali poiché assicura una corretta tenuta all'acqua e la protezione degli strati sottostanti.

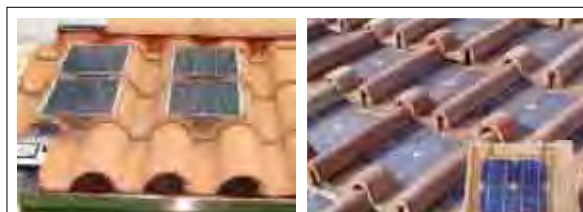


Pannelli fotovoltaici policristallini. Per garantire la perfetta tenuta all'acqua del sistema vengono utilizzate guaine impermeabilizzanti tra impianto e copertura.

Impianto solare termico dotato di tubi sottovuoto. L'integrazione totale può risultare la soluzione ottimale nel caso di progettazione ex novo, oppure quando la copertura viene sottoposta a lavori di manutenzione straordinaria o di riqualificazione ed è necessaria la sostituzione del manto.

2. Esempi di integrazione «totale». Il sistema solare, costituendo in questo caso una soluzione di continuità del manto, deve anche garantire la tenuta all'acqua ed evitare la formazione di ponti termici.

ai 10 x 10 cm, costituisce, dunque, il dispositivo elementare alla base di ogni sistema fotovoltaico. Le celle possono essere costituite da silicio monocristallino, poli (multi)-cristallino, o a film sottile (in silicio amorfo o leghe di diversa natura). Il rendimento di un modulo fotovoltaico (o efficienza di conversione) indica il rapporto tra l'energia elettrica prodotta e l'energia solare incidente sul modulo stesso. Tale valore, definito in condizioni standard (STC), diminuisce man mano che la cella fotovoltaica si surriscalda per via dell'irraggiamento e della temperatura ambiente (fig.5). Il rendimento di un impianto è dato dalla relazione: $\eta = \eta_c \beta (T_c - T_{rif})$, dove: η_c efficienza del modulo; β coefficiente di temperatura ($W/^\circ C$); T_c temperatura della cella ($^\circ C$); T_{rif} temperatura di riferimento ($25^\circ C$). Dal calcolo del rendimento, si determina l'energia prodotta attraverso la formula: $E = \eta \eta_{BOS} A k G$, dove: η rendimento della cella; η_{BOS} rendimento del sistema; A area del modulo (m^2); k coefficiente di perdita; G radiazione solare (W/m^2). Appare evidente, pertanto, che più è alta la temperatura della cella meno energia viene prodotta. Tuttavia, la temperatura della cella, in un impianto totalmente integrato, dipende dalle caratteristiche della copertura all'interno della quale è inserito e



Elementi discontinui «fotovoltaici». Un vantaggio del sistema è costituito dal poter sostituire/manutenere piccoli elementi piuttosto che interi pannelli.



Il limite principale delle «tegole fotovoltaiche» è rappresentato dal fatto che, a parità di potenza installata sul tetto, il sistema richiede una superficie maggiore rispetto a un impianto fotovoltaico classico.

3. Alcuni esempi di tegole e coppi con la cella fotovoltaica integrata nell'elemento costituente il manto di copertura. Con questi sistemi evolve l'elemento in «cotto» che, nel tempo, ha dimostrato una grande stabilità per le sue semplici ma funzionali modalità di montaggio, diventando anche una «fonte» di energia pulita.



Impianto con inclinazione differente rispetto alla copertura.

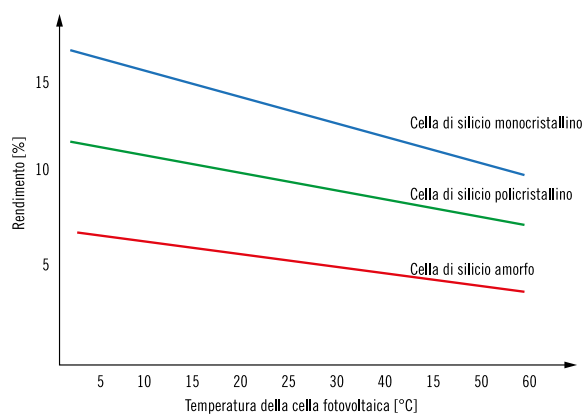
Impianto non integrato correttamente.

4. Esempi di interventi di installazione non a regola d'arte.

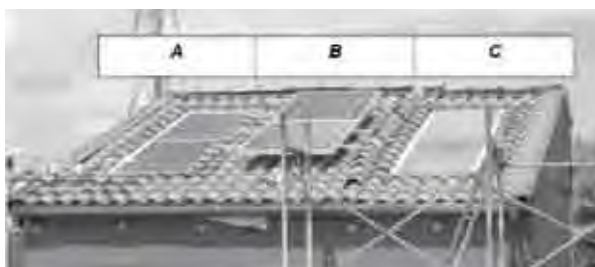
dalle condizioni di ventilazione sottomanto: ne consegue che, gli stessi moduli, se integrati in coperture differenti, possono dar luogo a comportamenti differenziati.

Valutazione sperimentale della produttività di pannelli fotovoltaici in relazione al livello di integrazione architettonica

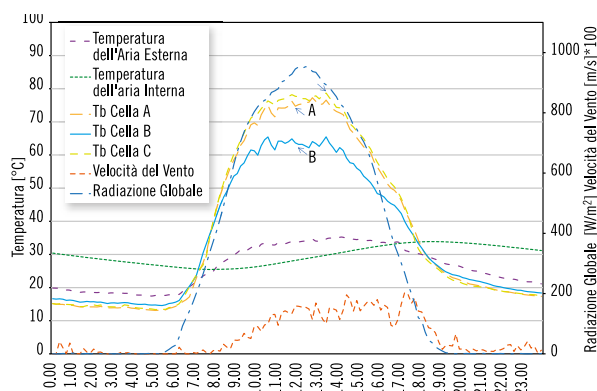
Al fine di comprendere quanto la tipologia di integrazione possa ridurre l'efficienza di un impianto fotovoltaico, si è condotta una sperimentazione confrontando 3 tipologie di integrazione dello stesso tipo di modulo. Si sono messe, in particolare, a confronto tre soluzioni caratterizzate nel seguente modo: (A) totalmente integrata con camera di ventilazione da 4 cm; (B) parzialmente integrata; (C) totalmente integrata senza camera di ventilazione. Tutte le coperture sono costituite da un tavolato in abete e sovrapposto isolante EPS (fig.6). I moduli fotovoltaici utilizzati per la sperimentazione sono in silicio multi-cristallino (celle 156 x156 mm) ed hanno un'efficienza di conversione $\eta = 13,3\%$ (efficienza nominale



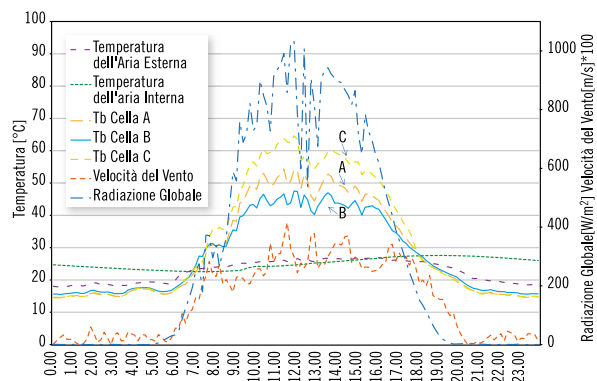
5. Rendimento di diverse tipologie di celle in relazione alla loro temperatura raggiunta in condizioni di esercizio.



6. Falda sud dell'edificio sperimentale con i tre moduli fotovoltaici monitorati.



7. Andamento delle temperature T_b nei sistemi analizzati A,B,C rispetto alle grandezze climatiche durante una giornata estiva soleggiata non ventilata (21/08/2009).



8. Andamento delle temperature T_b nei sistemi analizzati A,B,C rispetto alle grandezze climatiche durante una giornata estiva soleggiata ventilata (05/08/2009).

a 25°C). Durante il periodo di monitoraggio (2 anni), sono stati rilevati i dati climatici esterni e le grandezze termiche dei moduli e delle coperture. L'analisi della prestazione dei moduli fotovoltaici è stata condotta valutando le perdite di efficienza nella conversione di energia solare in energia elettrica, in funzione della modalità d'installazione dei sistemi, ovvero la variazione di energia prodotta dai sistemi A e C rispetto al sistema parzialmente integrato B.

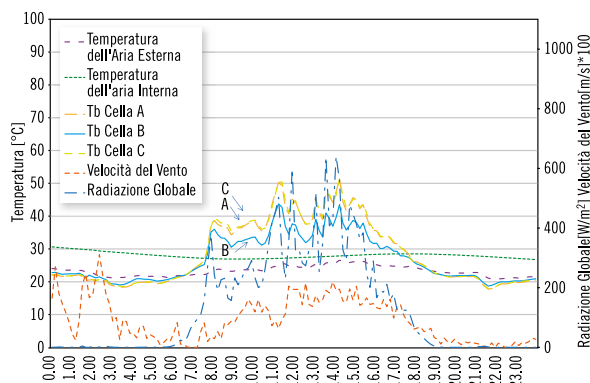
I risultati sperimentali

Nei grafici delle figg. 7,8 e 9, si riporta l'andamento delle temperature T_b in giornate estive caratterizzate da diverse condizioni climatiche esterne (soleggiata in assenza di vento, soleggiata con vento, nuvolosa). Volutamente si è limitata l'analisi al periodo estivo, nel corso del quale si presentano le condizioni più sfavorevoli per l'efficienza dei pannelli in termini di elevate temperature esterne.

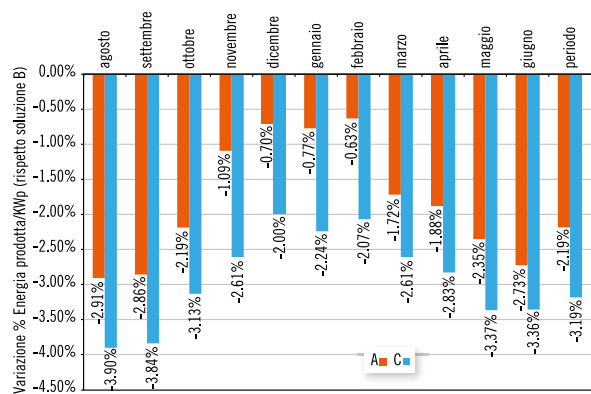
Dai grafici si può osservare come la soluzione parzialmente integrata B, in virtù della presenza di una elevata intercapedine di ventilazione, mantenga sempre le temperature di intradosso delle celle a livelli inferiori rispetto alle soluzioni totalmente integrate A e C (fig.7). Il sistema A, con intercapedine ventilata, riesce comunque a garantire temperature T_b più basse rispetto alla soluzione C, con intercapedine non ventilata, soprattutto nella giornata più ventosa (fig.8). Le differenze tra i sistemi si appianano nel caso di cielo coperto e scarso irraggiamento solare (fig.9). Si riporta in fig.10 la variazione percentuale di energia prodotta mensilmente dai sistemi e per l'intero periodo di monitoraggio. Dal grafico si osserva come l'energia prodotta dai sistemi integrati A e C, rispetto al sistema parzialmente integrato B, è sempre inferiore; inoltre, la differenza di produzione si acutizza nei mesi a maggiore radiazione e più elevate temperature esterne (mesi estivi). Rispetto al sistema B, il sistema A, dotato di ventilazione sul retro del pannello, determina un abbattimento di energia prodotta, nel bilancio annuale, del 2,19%; il sistema C, non ventilato, arriva fino al 3,19%.

Le perdite di efficienza in relazione all'inclinazione della copertura ed alla zona climatica

Ottenuti i risultati sperimentali e verificata la congruenza con i dati ricavati da modelli analitici, si è passati ad analizzare la perdita di efficienza di un sistema fotovoltaico in funzione della zona climatica, della pendenza della copertura e dell'orientamento. La tab. 1 riporta la sintesi dei dati ottenuti. Si dimostra pertanto che, a seconda della tipologia di installazione dell'impianto, la totale integrazione in copertura provoca un abbattimento della produzione elettrica del 2-3% circa, rispetto all'integrazione parziale, e del 5-6% rispetto al montaggio a terra, dovuto al surriscaldamento del retro dei moduli a contatto con il solaio di



9. Andamento delle temperature T_b nei sistemi analizzati A,B,C rispetto alle grandezze climatiche durante una giornata estiva con cielo coperto (30/08/2009).



10. Variazione percentuale di energia per kWp installato prodotta da A e C rispetto alla soluzione B.

copertura. Tali perdite tendono ad aumentare soprattutto nel periodo estivo a causa degli alti valori ambientali di temperatura e d'irraggiamento. Risulta peraltro evidente come la presenza di coperture in laterizio contribuisca, grazie alla discontinuità del manto, a raffreddare il pannello fotovoltaico aumentandone il rendimento.

Conclusioni

In definitiva, le analisi effettuate dimostrano che la totale integrazione di un modulo fotovoltaico in copertura, in

presenza di una minima intercapedine di ventilazione sottomanto, non risente, se non limitatamente, degli effetti dell'integrazione stessa, garantendo perdite di efficienza estremamente limitate.

Pertanto i sistemi fotovoltaici architettonicamente integrati, posati su coperture in laterizio, riescono a coniugare buoni risultati estetici, incentivati anche economicamente dalla attuale normativa, con una soddisfacente prestazione energetica. ¶

*Università Politecnica delle Marche (AN)

ZONA CLIMATICA	ORIENTAMENTO					
	PENDENZA (%)	SUD (o)	± 15	± 30	± 45	EST - OVEST (± 90)
ZONA CLIMATICA A	100% (1490)					
	35 - 45 %	98,0%	97,0%	96,5%	94,5%	86,5%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	96,5%	96,5%	95,0%	94,0%	87,0%
	30 % Pendenza minima	96,0%	96,0%	95,0%	94,0%	88,0%
ZONA CLIMATICA B	100% (1430)					
	35 - 45 %	98,0%	98,0%	96,5%	94,0%	87,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	97,0%	96,5%	96,0%	94,0%	87,5%
	30 % Pendenza minima	96,5%	96,0%	95,0%	93,5%	88,0%
ZONA CLIMATICA C	100% (1380)					
	35 - 45 %	97,0%	97,0%	95,0%	94,0%	85,5%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	96,0%	95,0%	94,5%	93,0%	86,0%
	30 % Pendenza minima	95,0%	94,5%	94,0%	92,5%	87,0%
ZONA CLIMATICA D	100% (1290)					
	35 - 45 %	97,5%	97,0%	96,0%	94,0%	86,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	97,0%	96,0%	95,0%	94,0%	86,0%
	30 % Pendenza minima	95,0%	95,0%	94,5%	93,0%	87,0%
ZONA CLIMATICA E	100% (1140)					
	35 - 45 %	97,0%	97,0%	95,5%	93,5%	85,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	95,5%	95,5%	95,0%	93,0%	85,0%
	30 % Pendenza minima	95,0%	95,0%	94,0%	92,5%	85,5%
ZONA CLIMATICA F	100% (1080)					
	35 - 45 %	96,0%	96,0%	95,0%	93,5%	85,0%
	35 % Pendenza minima marsigliesi	95,0%	95,0%	94,0%	92,5%	85,0%
	30 % Pendenza minima	94,0%	94,0%	93,5%	92,0%	85,5%

Tab.1. Produzione di energia elettrica fotovoltaica annua di un impianto di potenza massima pari a 1 kWp in funzione di zona climatica, orientamento e pendenza dei pannelli. Tra parentesi sono riportati i valori espressi in kWh/anno di un impianto di potenza massima 1 kWp (kWh a/1kWp). I valori % rappresentano la percentuale di energia prodotta rispetto al massimo (100%).

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 pubblicità 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.

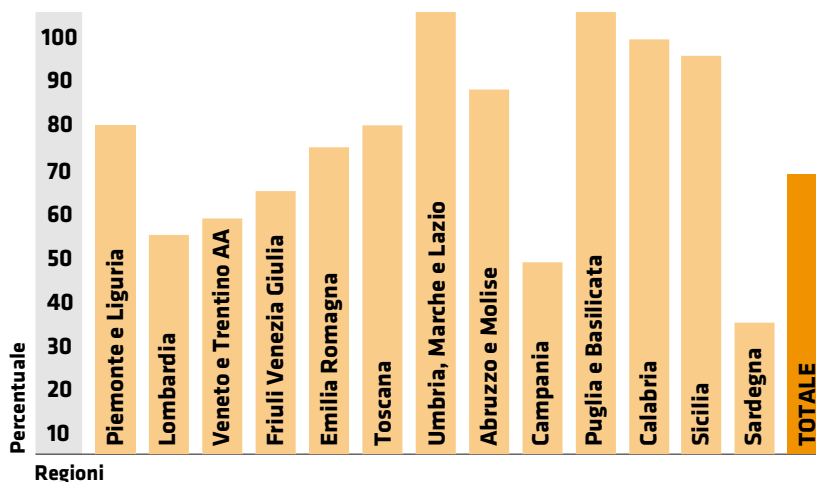


Fig 1. Percentuale di aziende che hanno le cave per l'approvvigionamento dell'argilla ad una distanza inferiore ai 10,0 km. Il ricorso a fonti di approvvigionamento dell'argilla distanti dalle fornaci può comportare un forte impatto ambientale, oltre che economico, dovuto al trasporto di materie prime.

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⁻¹ (ceneri volanti) ad un massimo di 4.500 kcal·kg⁻¹ (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 split;
- 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 dei 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 CO₂ 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 inquadrare 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'Universität 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).

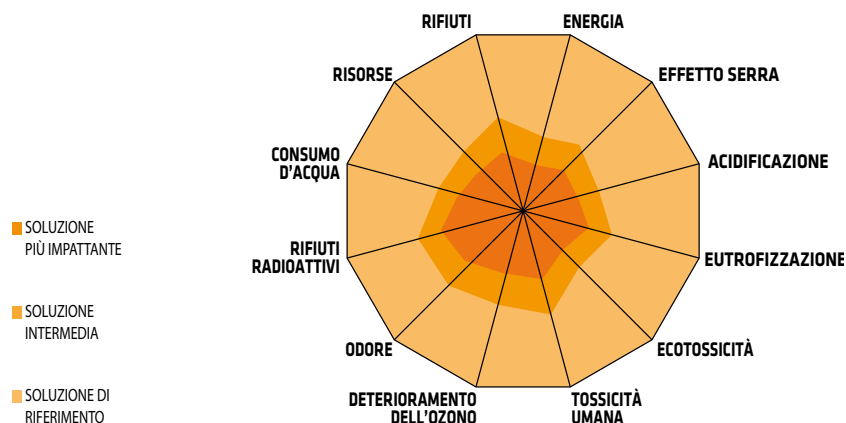
Valutazioni ambientali sulla fase di posa in opera

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'Institut 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'emanazione 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/m² 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, Refrigeration 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 ₂	Anidride carbonica	6,3x(10 ⁶) µg/m ³	Media annuale (b)
CO	Ossido di carbonio	≤10x(10 ³) µg/m ³	8 ore (c, e)
NO ₂	Biossido di azoto	100 µg/m ³	Media annuale (b, d, e)
		150 µg/m ³	24 ore (c)
SO ₃	Biossido di zolfo	≤50 µg/m ³	Media annuale (b)
O ₃	Ozono	240 µg/m ³	1 ora (b)
VOC	Composti Organici Volatili	30-50 µg/m ³	Continua (d)
HCHO	Formaldeide	120 µg/m ³ (1)	Media annuale (b)
		60 µg/m ³ (2)	Media annuale (b)
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici	160 µg/m ³	3 ore (d)
Pb	Piombo	1,5 µg/m ³	3 mesi continuativi (d)
Rn	Radon	400 µg/ m ³	Media annuale (a)
		200 µg/m ³	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.

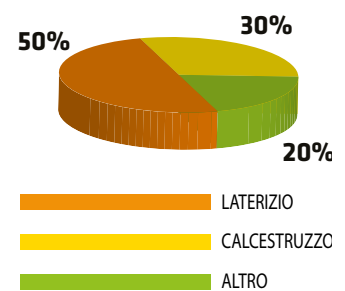


Fig 6. La quantità di macerie miste contenenti laterizio è pari al 50% del totale.

Valutazioni ambientali sulla fase di dismissione



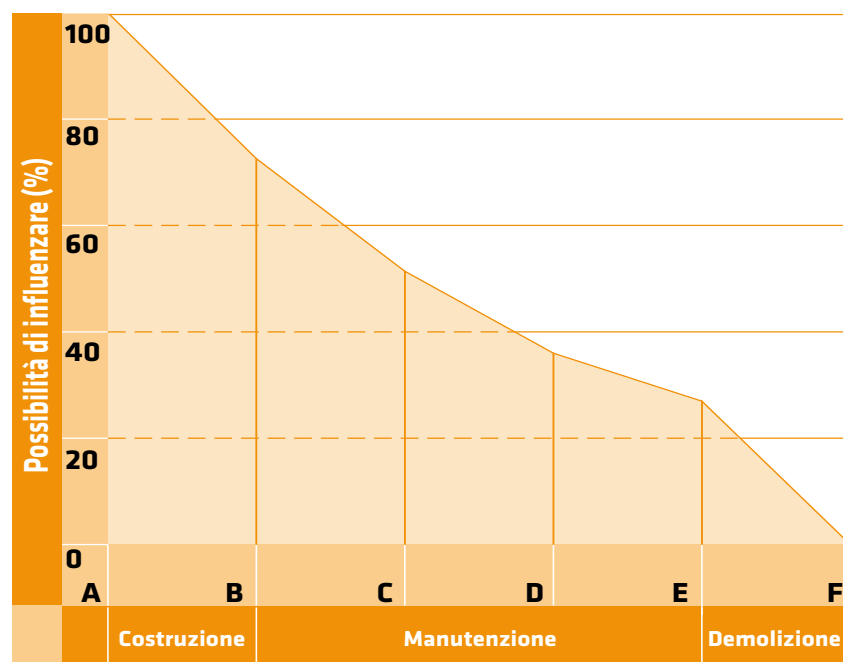
Fig 7. Complesso residenziale Taviel a Saint-Omer (F).
Nel dettaglio, immagine dei mattoni recuperati e accatastati in attesa del reimpiego.

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.

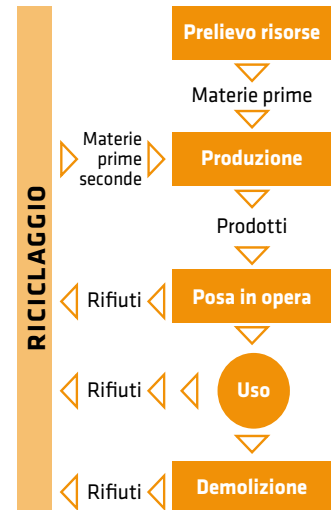


Fig 9. Ciclo di vita ideale di un prodotto in laterizio.

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. *Verdeaureo 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".

Il profilo ambientale delle coperture in laterizio

Le “dichiarazioni ambientali di prodotto” (EPD), elaborate con il metodo del *Life Cycle Assessment* (LCA), costituiscono un utile strumento per la scelta di materiali e componenti sostenibili, a patto di valutarne con cautela i contenuti, dal momento che non sono ancora disponibili modalità di calcolo univoche e condivise. La ricerca sul profilo ambientale delle tegole in laterizio, condotta dal Dip. TAeD dell’Università di Firenze, si propone come riferimento nazionale nell’applicazione dei modelli di valutazione ancora in corso di definizione a livello europeo

La direttiva europea sui prodotti da costruzione, *Construction Products Directive* (CPD) 89/106/CEE, recepita in Italia con il DPR 246/93, è stata emanata con l’obiettivo di assicurare la libera circolazione dei prodotti stessi per il superamento di qualsiasi barriera protezionistica nazionale nei Paesi della Comunità Europea attraverso la condivisione e accettazione dei relativi requisiti nell’ambito di prescrizioni tecniche armonizzate.

A tale proposito, la marcatura CE aiuta il consumatore ad identificare prodotti ad alte prestazioni generati all’interno di un processo controllato, permettendo di compiere scelte sicure e informate. Nell’ambito del programma triennale di semplificazione, la Commissione Europea ha varato, nel maggio 2008, una proposta per un “Regolamento dei prodotti da costruzione” (*Construction Products Regulation, CPR*)⁽¹⁾ che andrà a sostituire nel 2011 la CPD, modificandola sostanzialmente.

Oltre all’introduzione di un sistema flessibile di certificazione, il CPR prevede, in aggiunta agli esistenti, distinto dal requisito sul risparmio energetico, un settimo “parametro” base relativo agli aspetti di sostenibilità delle opere nel loro ciclo di vita, e più precisamente: “uso sostenibile delle risorse naturali”: [...] *Gli edifici devono essere [...] progettati e costruiti in modo tale che l’uso di risorse naturali sia sostenibile e assicurati:*

- la durata delle opere;
- la riciclabilità delle opere, dei materiali e delle loro parti dopo la loro demolizione;
- l’impiego di materie prime e seconde eco-compatibili.

L’aver incluso questo settimo requisito base tra i requisiti essenziali della marcatura CE presuppone l’esistenza di metodi armonizzati per la valutazione della sostenibilità delle opere edilizie, e per questo la Commissione ha, quindi, previsto una rilettura di tutti i

mandati affidati al CEN, *European Committee for Standardization*, affinché la “sostenibilità” sia inclusa in tutti i pertinenti progetti di norma EN attualmente in corso di elaborazione, integrandone i contenuti e le specifiche tecniche.

Lo standard prEN 15804 Il gruppo di lavoro del TC 350 WG4, *Product level*⁽²⁾, si sta occupando, avendo ricevuto uno specifico incarico, di redigere lo standard prEN 15804, *Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products*.

Esso definisce i metodi di calcolo e la struttura delle “dichiarazioni ambientali” dei prodotti da costruzione (EPD), individuando le regole di calcolo secondo la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*), i criteri per la raccolta e l’elaborazione dei dati di inventario, i contenuti obbligatori dell’EPD, le indicazioni addizionali che possono essere descritte quali informazioni tecniche aggiuntive, nonché le procedure per la verifica e validazione dell’EPD da parte di soggetti indipendenti.

Lo standard costituisce, pertanto, il documento guida per ogni esperto LCA, in grado di assicurare quella riproducibilità e misurabilità dei risultati che oggi di fatto manca e che rende difficile l’interpretazione e l’uso dei diversi certificati/dichiarazioni ambientali, comunque già disponibili sul mercato europeo per diverse categorie di prodotto.

Chiarisce, quindi, quali sono i “dati obbligatori”, derivati dalla valutazione LCA, che l’EPD deve riportare, e secondo quali criteri e forme tali informazioni debbano essere fornite in modo che diverse EPD, relative a prodotti concorrenti, possano essere correttamente impiegate e comparate all’interno di una procedura di valutazione dell’impatto ambientale di una costruzione.

La comparazione dei profili ambientali dei materiali da costruzione Come definito nella prEN 15804, scopo di un'EPD, nel settore delle costruzioni, è quello di fornire le informazioni di base per la valutazione della *performance* di un edificio e l'identificazione della soluzione progettuale e costruttiva che comporta un minore impatto sull'ambiente. In quest'ottica, quindi, lo standard si pone l'obiettivo di garantire la confrontabilità tra prodotti da costruzione analoghi, ma esclusivamente all'interno del contesto della loro applicazione nell'edificio. In linea di principio, infatti, il confronto di prodotti⁽³⁾, condotto sulla base della loro EPD, è consentito esclusivamente in relazione al loro specifico contributo alla prestazione ambientale complessiva dell'edificio, valutato nell'intero ciclo di vita di quest'ultimo.

Ciò nonostante, sul mercato europeo, in cui l'ambiente non è più considerato come un vincolo alla crescita, ma un elemento di valorizzazione della responsabilità sociale d'impresa, si è sviluppata la tendenza ad impiegare gli studi LCA non solo come strumento di informazione ed educazione del consumatore, volto a influenzare favorevolmente la percezione del *brand* attraverso messaggi ambientali quantificati, ma anche come fattore diretto di *marketing*.

Profili ambientali dei prodotti in laterizio: gli elementi per copertura

Non sorprende, quindi, trovare prodotti da costruzione già provvisti di certificazione ambientale EPD, materiali e componenti (polveri di calcestruzzo e di cemento, elementi per muratura e copertura, pannelli isolanti, infissi e sistemi impiantistici) corredati di una etichetta, in linea con le norme ISO 14020 e ISO 14025⁽⁴⁾, ma niente affatto allineati tra loro per qualità e quantità di informazioni: è questo il caso degli elementi per copertura. A tale proposito, la bibliografia internazionale disponibile consente un'analisi tra almeno quattro EPD propriamente dette e due certificazioni ambientali di prodotto redatte in base a schemi di certificazione nazionale derivati dal recepimento delle ISO della serie 14020.

L'analisi dei dati dichiarati nei certificati ambientali evidenzia chiaramente quella difficoltà interpretativa e di comunicazione, sottolineata precedentemente, rendendone difficile, ad oggi, anche l'impiego in una valutazione di sostenibilità di progetti a confronto.

La tabella 1 riporta i dati desumibili dalla lettura delle certificazioni ambientali relative ad elementi per coperture in laterizio e in cemento: sono più che evidenti le significative discrepanze tra le informazioni disponibili. La difficoltà nella corretta ed utile inter-

1 Profili a confronto di tegole in laterizio ed in cemento, derivati dalle "dichiarazioni ambientali di prodotto" (EPD) fornite dal produttore o dall'Associazione di riferimento. Sono riportati dati elaborati dal TAeD all'interno della ricerca ANDIL sul "profilo ambientale" di elementi per copertura in laterizio.

Profilo ambientale di tegole in laterizio (panorama europeo)

sviluppatore	riferimento	nazione	riferimento normativo	unità funzionale	durata di vita (anni)	peso (kg/m ²)	fasi del ciclo di vita considerata	scenari	energia primaria (M)	emissione CO ₂ (kg)
Declaration environnementale et sanitaire de tuile terre cuite	Fédération Française des Tuiles et Briques	francese	NF P 01-010	1 m ²	100	46,20	produzione + trasporto + fine vita	trasporto medio 200 km	184,59	9,30
Dichiarazione ambientale di prodotto del coppo in "cotto"	produttore	italiana	ISO 14025/TR, EPD:2008	1 t	230	56,23	produzione +imballaggio +trasporto	trasporto medio 480 km	5.421,40	513,20
Umweltproduktdeklaration dachziegel	produttore	tedesca	ISO 14025/TR	1 t	-	46,9	produzione +imballaggio	-	6.661,00	410,86
Valutazione ambientale di tegole in laterizio	ANDIL	italiana	prN15804	1 t	100	43,5	produzione +imballaggio +trasporto	trasporto medio 100 km	3.393,61	188,39

Profilo ambientale di tegole in cemento (panorama europeo)

sviluppatore	riferimento	nazione	riferimento normativo	unità funzionale	durata di vita (anni)	peso (kg/m ²)	fasi del ciclo di vita considerata	scenari	energia primaria (M)	emissione CO ₂ (kg)
Declaration environnementale et sanitaire de tuile beton	Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton	francese	NF P 01-010	1 m ²	100	42,00	produzione + trasporto + fine vita	trasporto medio 100 km	120,14	10,50
Dichiarazione ambientale di prodotto della tegola in calcestruzzo	produttore	italiana	ISO 14025/TR, EPD:2008	1 t	80-100	50,00	produzione +imballaggio +trasporto	trasporto medio 100 km	8,21 kg di risorse con contenuto energetico	341,30
Umweltproduktdeklaration dachsteine	produttore	tedesca	ISO 14025/TR	1 t	-	43,68	produzione +imballaggio	-	1.892,00	217,00

pretazione dei valori sta appunto nella impossibilità, da parte dell'utente che abbia a disposizione il solo documento EPD, di comprendere il contributo che le diverse scelte di metodo e di impostazione di calcolo apportano al valore finale di ogni singolo indicatore messo a sua disposizione.

Come è possibile quantificare e confrontare la prestazione ambientale di prodotti simili (le tegole in laterizio, ad esempio) caratterizzati da scenari diversi di produzione (unità funzionale), trasporto e durata di vita utile? E anche nell'ipotetico raffronto con prodotti simili, caratterizzati da profili LCA completi ed elaborati secondo le medesime regole operative, per funzione e impiego, come operare, ignorando il diverso contributo che ogni singolo prodotto può apportare in termini positivi o negativi alla sostenibilità del progetto, senza la definizione di uno scenario di messa in opera, di uso, senza la definizione di cicli di manutenzione e sostituzione degli elementi danneggiati o ammalorati, senza la descrizione di scenari di demolizione, fine vita, riciclo/riuso, tutti inscindibilmente legati alla composizione esecutiva di un progetto d'architettura?

La ricerca TAeD sulle tegole in laterizio Quale membro esperto italiano del CEN/TC 350, il gruppo LCA del Dipartimento TAeD dell'Università degli Studi di Firenze sta conducendo da tempo, nell'ambito di ricerche svolte in convenzione con ANDIL, valutazioni LCA dei prodotti nazionali in laterizio al fine non solo di determinare il profilo di sostenibilità della produzione italiana, ma

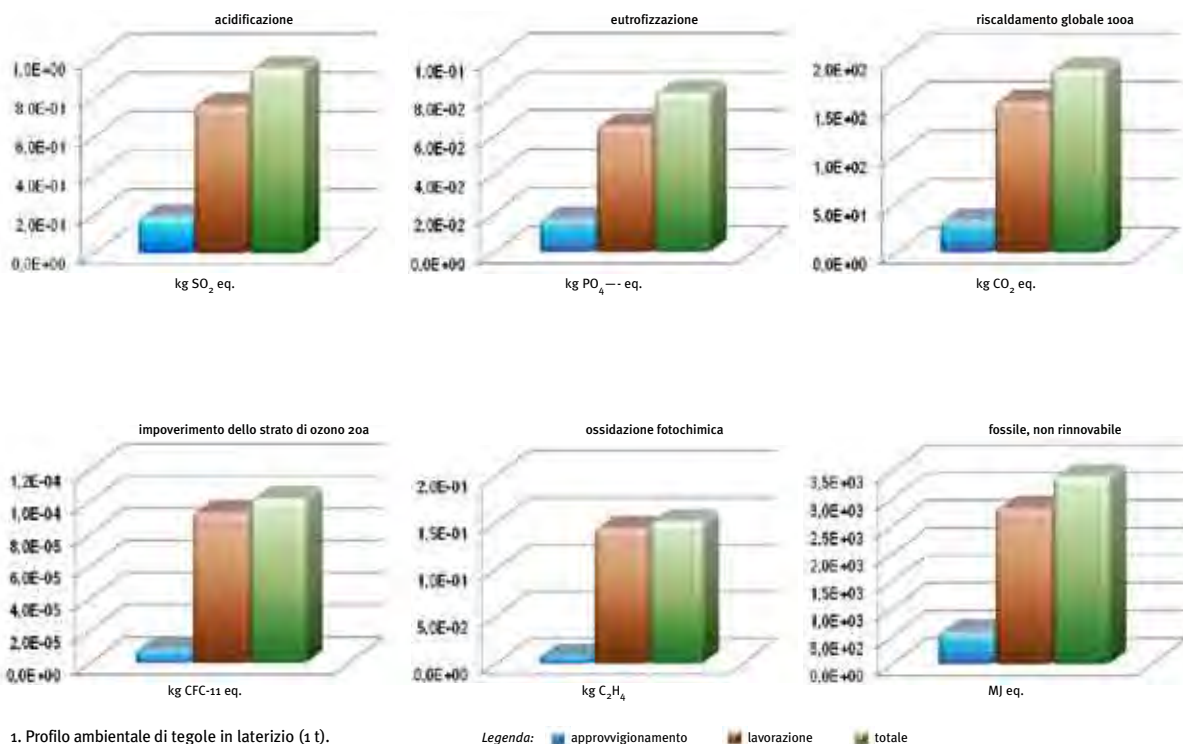
di contribuire anche, con i risultati del lavoro applicativo, all'aggiornamento normativo delle PCR europee per prodotti in laterizio che seguirà la pubblicazione dei lavori del CEN/TC 350.

Tali valutazioni sono state condotte sulla base di uno studio completo, "dalla culla alla tomba", realizzato elaborando le informazioni relative alla fase di produzione di 1 m² di manto in laterizio (unità funzionale) in scenari plausibili e rappresentativi della produzione media italiana, definiti per ognuna delle fasi successive alla fabbricazione (trasporto, costruzione, uso, manutenzione, fine vita, riciclo). Tra la vasta gamma di prodotti in laterizio per manti di copertura, la ricerca è stata applicata alle tegole denominate "portoghesi", che rappresentano, insieme alle tipologie "marsigliesi", "olandesi" ed "embrici", il 78% (in peso) della produzione nazionale⁽⁵⁾.

Produzione

La ricerca ha affrontato un primo studio *cradle to gate*, relativo alla fase di produzione (estrazione, approvvigionamento, produzione, confezionamento), sulla base dell'unità dichiarata, ossia la tonnellata di materiale (1 t). Questa prima analisi ha definito il profilo ambientale del prodotto (fig. 1, tab. 2)⁽⁶⁾, da cui è possibile risalire ad 1 m² di manto in laterizio, conoscendo il suo peso a m².

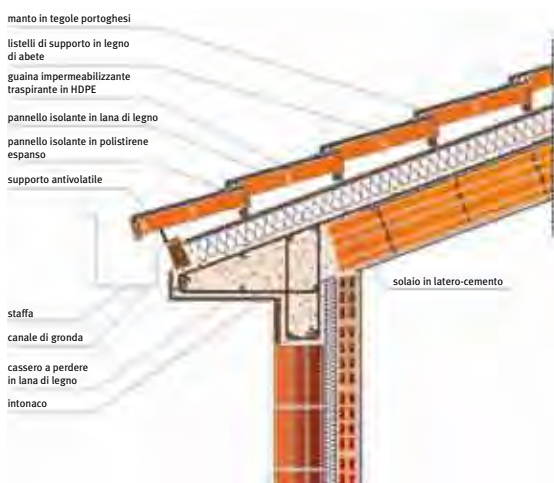
Successivamente, in riferimento all'unità funzionale, sono stati delineati gli scenari climatico, economico, geografico, di durabilità e riciclaggio per l'elaborazione delle informazioni tecniche aggiuntive relative alle fasi di trasporto, messa in opera, uso, durata e fine vita.



2 Profilo ambientale *cradle to gate* di 1 t di tegole in laterizio.

acidificazione	eutrofizzazione	riscaldamento globale 100a	impoverimento dello strato di ozono 20a	ossidazione fotochimica	fossile, non ritrovabile
kg SO ₂ eq.	kg PO ₄ - - eq.	kg CO ₂ eq.	kg CFC-11 eq.	kg C ₂ H ₄	MJ eq.
9,48E-01	8,24E-02	1,88E+02	1,02E-04	1,51E-01	3,39E+03

Unità funzionale L'unità funzionale, definita in questo studio ai fini della valutazione LCA, è rappresentata da 1 m² di copertura isolata, microventilata⁽⁷⁾, realizzata con manto discontinuo in laterizio, idonea per posa in opera su solaio inclinato in latero-cemento⁽⁸⁾. La stratigrafia della soluzione tecnica impiegata come scenario è riportata in fig. 2. Sono state considerate tre aree climatiche diverse, per cui gli spessori ed il tipo di isolante sono stati scelti al fine di soddisfare i requisiti energetici delle zone climatiche: B (Reggio Calabria), D (Firenze) ed E (Bolzano), definiti in base al D.Lsg. 311 del 2006, tenuto anche conto dell'obiettivo di limitare i consumi energetici in periodo estivo grazie al contributo della massa di prodotti ad alta densità (tab. 3).



2. La soluzione di copertura analizzata, microventilata, prevede l'applicazione del manto in tegole su listelli lignei e la presenza di due strati isolanti (uno leggero in polistirene espanso ed uno di maggiore densità in lana di legno mineralizzata).

La fase d'uso: trasporto e manutenzione La definizione dei possibili scenari geografici ha consentito di elaborare utili informazioni circa gli impatti relativi alla distribuzione del prodotto, a partire dall'uscita dai cancelli della fornace. Per quanto riguarda la valutazione ambientale della fase di trasporto dei prodotti impiegati nella soluzione scelta, è stato delineato uno scenario con trasporto su gomma, con un raggio medio di distribuzione di 100 km.

A conferma della buona pratica ambientale di impiegare materiali reperibili localmente, la comparazione dei dati elaborati per ognuno dei tre scenari climatici presi in considerazione dimostra come gli impatti relativi alla fase di trasporto risultino debolmente incisivi sul bilancio ambientale complessivo in caso di raggi di azione medi (per distanze tra i 200 e i 300 km, l'incidenza della fase di trasporto sul bilancio globale è circa del 2-3%), ma possono invece crescere sensibilmente in caso di distanze più consistenti.

La fase d'uso, come noto, comprende anche le fasi di costruzione e manutenzione della soluzione in esame. Ai fini dell'impiego dell'EPD del prodotto, all'interno di una valutazione del profilo LCA di edificio, occorre quindi fornire indicazioni circa le prestazioni dell'elemento tecnico, correlate alla durata di vita prevista dal progetto (*design life*), ipotizzata pari a 100 anni. Tali indicazioni non si limitano alle sole prestazioni termiche, igrometriche, acustiche, di protezione al fuoco e di sicurezza, ecc., ma includono anche informazioni circa la durata di vita utile (*service life*) dell'elemento, espressione dei cicli di manutenzione necessari a garantire il mantenimento delle prestazioni suddette per l'intera *design life* dell'edificio. Attraverso l'impiego del *software* Laterlife⁽⁹⁾, sono stati calcolati i profili prestazionali termoigrometrici e gli impatti ambientali relativi alla fase di produzione ed uso dei materiali costituenti il "pacchetto" di copertura selezionato, relativamente ad ognuno dei tre scenari climatici considerati. Se da un lato la legislazione nazionale fornisce indicazioni quantitative in merito ai requisiti minimi di

3 Quantità di materiali presenti in un metro quadrato della soluzione tecnica scelta: copertura inclinata discontinua microventilata.

Quantità di materiali per metro quadrato di copertura	ρ (kg/m ³)	zona climatica E		zona climatica D		zona climatica B	
		spessore (m)	peso su 1 m ² di copertura (kg)	spessore (m)	peso su 1 m ² di copertura (kg)	spessore (m)	peso su 1 m ² di copertura (kg)
1 manto di copertura in tegole portoghesi	-	-	43,50	-	43,50	-	43,50
2 listelli in legno di abete di supporto per microventilazione sotto tegola	500	0,040	0,80	0,04	0,80	0,04	0,80
3 guaina impermeabilizzante traspirante in HDPE	0,13	0,004	0,11	0,004	0,11	0,004	0,11
4 isolante in lana di legno mineralizzata	533	0,015	8,00	0,02	10,66	0,02	21,32
5 isolante in polistirene espanso	32	0,090	2,84	0,08	2,52	0,05	1,58

strutture ed edifici in materia di risparmio energetico, consentendo un calcolo puntuale dei parametri di controllo della prestazione, ad oggi non esistono documenti completi, elaborati a livello nazionale (e sono ancora scarsi i dati a livello europeo), sulla *service life* di prodotti e di elementi tecnici. Nel caso in questione, il profilo LCA dell'unità funzionale, in fase d'uso, è stato definito sulla base della metodologia indicata nella *Guidance paper F (concerning the Construction Products Directive, 89/106/EEC) - Durability and the construction products directive*⁽¹⁰⁾.

Tale metodologia, definita come la *working life* di una soluzione tecnica, ovvero il periodo di tempo durante il quale la prestazione di un prodotto deve essere mantenuta ad un livello che metta in grado un componente (correttamente progettato ed eseguito) di soddisfare i "requisiti essenziali", indica la durata di vita minima del prodotto stesso, in funzione delle caratteristiche di riparabilità dei sistemi in cui esso viene inserito ("facile", "con alcuni sforzi" o "difficoltoso"). Sulla base delle indicazioni della citata *Guidance paper*, quindi, i materiali che costituiscono la soluzione di copertura oggetto di studio, essendo sostituibili con semplici operazioni, devono garantire una durata di vita superiore ai 25 anni. I dati sulle durate di vita dei singoli materiali, presenti nel database del *software Laterlife*, sono stati elaborati a partire da dichiarazioni ambientali di prodotti europei disponibili, in particolare, nella banca dati francese INIES⁽¹¹⁾, da documentazioni tecniche quali la *Guideline for sustainable building* pubblicata dal Bundesministerium für Verkehr, Bau-und Wohnungswesen (D), nonché dalla letteratura scientifica. Secondo queste informazioni, il *software Laterlife* è in grado di elaborare lo scenario di manutenzione associato alla soluzione tecnica definita, individuando, per ogni materiale, il numero di sostituzioni nella *design life* necessarie a garantire la prestazione complessiva della soluzione stessa.

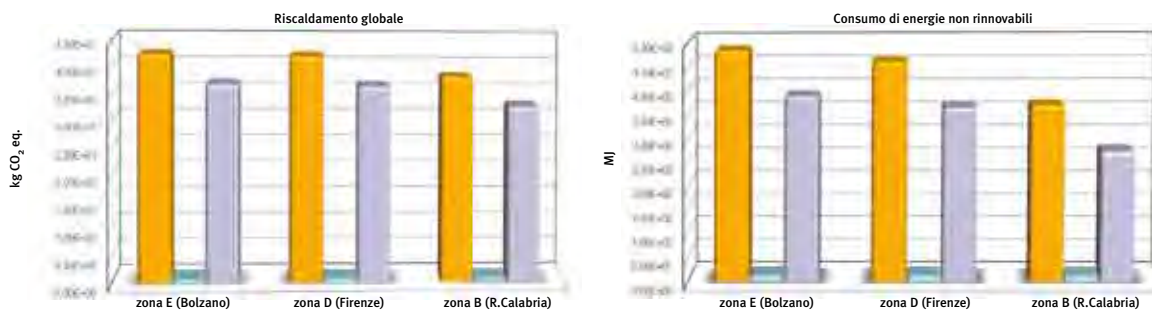
I grafici di fig. 3 evidenziano la rilevanza della fase d'uso nella definizione di un profilo LCA "*cradle to grave*" (dalla "culla alla tomba"): gli impatti associati all'uso della soluzione tecnica nell'edificio, infatti, derivano dalla necessità tecnica di sostituire almeno 1 volta, nei 100 anni della *design life*, tutti gli strati del pacchetto, ad esclusione del manto di copertura in laterizio, per il quale si prevede la

sostituzione solo del 30% degli elementi posati in opera. Nei grafici di fig. 4 sono riportati i valori totali (fase di produzione, trasporto ed uso) degli impatti per i due più importanti indicatori (riscaldamento globale e consumo di energie non rinnovabili) per le tre zone climatiche, confrontati con l'impatto annuo che tiene conto della durata di vita della soluzione tecnica prevista (100 anni).

Nei grafici di fig. 5, per gli stessi indicatori e le stesse fasi, è evidenziata l'incidenza percentuale del manto in laterizio rispetto agli altri strati di copertura.

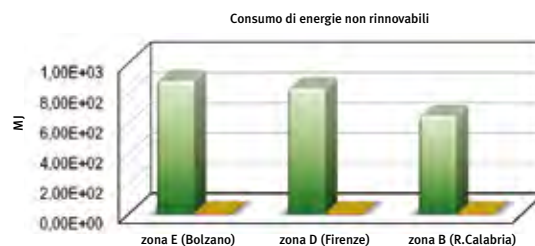
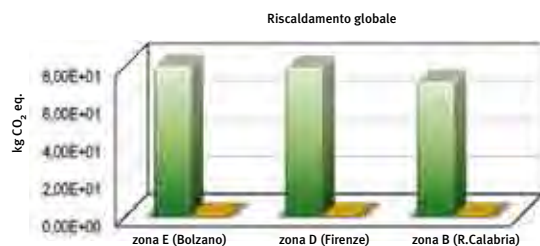
Il fine-vita

In una valutazione globale di compatibilità ambientale di prodotti ed edifici, l'analisi non può prescindere da una verifica degli impatti relativi alle fasi di trattamento dei rifiuti e dei sottoprodotti del processo di demolizione. Per gli elementi di copertura in laterizio, il riutilizzo di elementi integri, reimpiegati per la realizzazione di nuovi manti, costituisce un indubbio valore aggiunto quantificabile in termini economici ed ambientali. Analoghe considerazioni valgono per tutti i materiali caratterizzati da una durata di vita lunga, nel corso della quale mantengono pressoché inalterate le proprie prestazioni, purché siano messi in opera attraverso tecnologie che non ne compromettano le caratteristiche e ne rendano possibile lo smontaggio e il successivo reimpiego. Tuttavia, a fronte di una crescente espansione della filiera di trattamento e riuso dei rifiuti inerti di demolizione, la valutazione del loro contributo ambientale, associato a cicli di vita successivi, rimane a tutt'oggi di difficile elaborazione, a causa della scarsità di informazioni sulla reale fattibilità e sulle tecniche di riciclaggio disponibili, nonché sulle possibili conseguenze ambientali derivate dall'impiego di scarti come materie prime secondarie, da valutare mediante analisi di laboratorio specifiche (ad esempio, attraverso il "test di cessione" previsto dall'articolo 9 del DM 5/02/98 e s.m.i.). In merito, uno studio condotto dal laboratorio Ri.cert⁽¹²⁾ sul comportamento in fase di dismissione di tegole in cemento proprio rispetto al "test di cessione", evidenziando il superamento di una soglia di allarme circa i parametri limite previsti dalla norma per quanto riguarda gli anioni "solfati" e



3. Profilo ambientale del "pacchetto" di copertura preso in considerazione nelle fasi di produzione, trasporto e uso.

	zona E (Bolzano)	zona D (Firenze)	zona B (R. Calabria)		zona E (Bolzano)	zona D (Firenze)	zona B (R. Calabria)
■ produzione	4,2355E+01	4,2005E+01	3,8274E+01	■ produzione	4,8329E+02	4,5940E+02	3,6733E+02
■ trasporto	6,4543E-01	6,6337E-01	6,5360E-01	■ trasporto	1,0598E+01	1,0893E+01	1,0732E+01
■ fase d'uso	3,6866E+01	3,6516E+01	3,2785E+01	■ fase d'uso	3,8842E+02	3,6453E+02	2,7246E+02



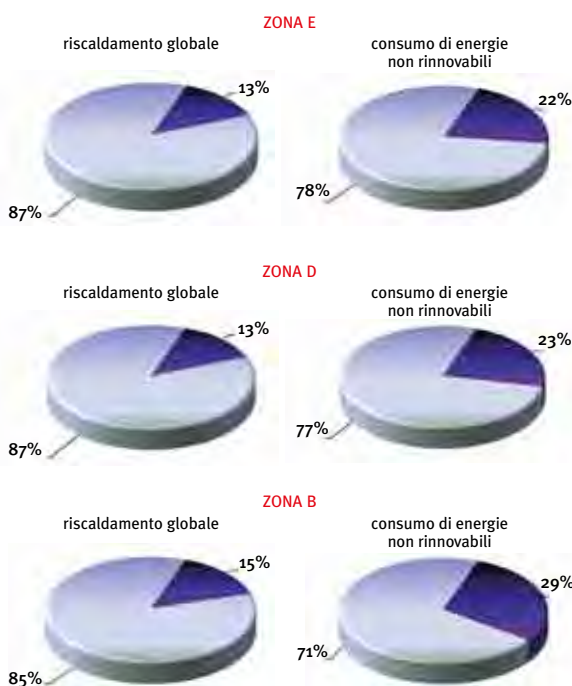
4. Impatti ambientali del “pacchetto” di copertura preso in considerazione nell’intera vita utile e per anno.

	zona E (Bolzano)	zona D (Firenze)	zona B (R. Calabria)		zona E (Bolzano)	zona D (Firenze)	zona B (R. Calabria)
■ totale	7,9866E+01	7,9184E+01	7,1712E+01	■ totale	8,8231E+02	8,3483E+02	6,5052E+02
■ impatto annuo	7,6847E-01	7,6147E-01	5,8685E-01	■ impatto annuo	8,3029E+00	7,8252E+00	5,9837E+00

“cloruri”. Secondo gli autori, lo studio, pur non essendo rappresentativo – per il numero ridotto di campioni – di un’analisi comparativa estendibile all’intera categoria di prodotti, costituisce comunque un utile spunto di riflessione per avviare una analisi sistematica sulle problematiche connesse al fine ciclo di vita di tali materiali. Ciò considerato, ai fini della valutazione del profilo ambientale, lo standard stesso indica come opzionali ed escluse dall’analisi *full life cycle* tutte le considerazioni relative alla fase di riciclaggio e riuso, proprio per la difficoltà scientifica ed operativa di individuare specifici modelli di calcolo e di definire scenari concreti e tecnicamente realizzabili, limitando la comunicazione ad informazioni sulla quantità di prodotto potenzialmente destinabile a raccolta differenziata, a riciclo per la produzione di materie seconde o di energia, a riuso o a smaltimento.

Conclusioni Stante l’impossibilità di elaborare un giudizio comparativo sui profili ambientali di elementi simili, in mancanza di un modello univoco e condiviso di calcolo e restituzione dei dati, “i risultati della ricerca costituiscono in ogni caso un aggiornamento migliorativo, oltre che più aderente alla realtà produttiva, dei valori relativi agli impatti ambientali delle tegole italiane in laterizio”.

In seconda battuta, i dati della valutazione del profilo ambientale della copertura esaminata consentono di apprezzare la rilevanza di una lettura *full life cycle* rispetto alle valutazioni su singole fasi. Diversamente da quanto ipotizzabile, infatti, la soluzione ambientalmente più sostenibile risulta essere quella più pesante (358,23 kg/m² è la massa superficiale del “pacchetto” di copertura realizzato per lo scenario di Reggio Calabria, contro i 346,23 kg/m² della soluzione relativa a Bolzano). Lo studio, in definitiva, evidenzia come, nell’ambito di una valutazione LCA a scala di edificio, il profilo ambientale globale sia sicuramente condizionato da diversi fattori, quali la natura dei materiali che compongono gli strati complementari, la durata di vita dei componenti, la loro riciclabilità, gli scenari tecnologici e climatici, in totale sintonia con la linea di sviluppo degli edifici sostenibili, secondo il “settimo” requisito base. ¶



5. Impatti ambientali percentuali del manto di copertura e degli altri materiali costituenti la stratigrafia a confronto nelle tre zone climatiche considerate.

■ manto in laterizio

Note

- Il Regolamento Europeo, a differenza della Direttiva, sarà immediatamente attivo senza necessità di recepimento da parte degli Stati Membri.
- La Commissione Europea ha affidato ad una commissione tecnica internazionale il mandato *TC350 Sustainability of Construction Works4*, per la definizione degli standard volontari per l’elaborazione di “dichiarazioni ambientali di prodotto” (EPD) e dei metodi per l’aggregazione di queste informazioni all’interno di una valutazione della sostenibilità complessiva di edifici nuovi ed esistenti.
- prEN 15804: punto 5.3, *Comparability of EPD of construction products*.
- ISO 14020 (2000), *Environmental labels and declarations - Principles and guidelines*; ISO/TR 14025 (2000), *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations*.
- Dato fornito da ANDIL, Associazione Nazionale Degli Industriali dei Laterizi.
- Le valutazioni LCA relative alla fase di produzione e trasporto sono state effettuate impiegando il software Simapro.
- Come definita dalla UNI 9460 del 2008.
- Lo studio è stato condotto sul “pacchetto” di copertura composto da manto, sottomanto aerato, guaina impermeabilizzante, strato isolante, escludendo dai calcoli ambientali gli impatti relativi al solaio in latero-cemento.
- Torricelli, M.C., Gargari, C., Palumbo, E., *Valutazione di soluzioni tecniche ad alte prestazioni ambientali*, Costruire in Laterizio n. 136, pp. 48-53.
- European Commission Enterprise and Industry Directorate-general, *Guidance paper F (concerning the Construction Products Directive - 89/106/EEC) - Durability and the construction products directive*, dicembre 2004.
- Elaborata dal centro di ricerca CSTB, contiene più di 300 dichiarazioni ambientali e sanitarie di prodotti da costruzione.
- A. Camporese, *La gestione dei rifiuti in edilizia: i materiali da costruzione*, L’industria dei Laterizi, n. 122 marzo-aprile 2010, pp. 92-94.

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, 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⁽¹⁾ e che sta portando ad una ormai prossima revisione della Direttiva Prodotti da Costruzione (89/106/EEC) che diventerà Regolamento (CPR)⁽²⁾. 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:

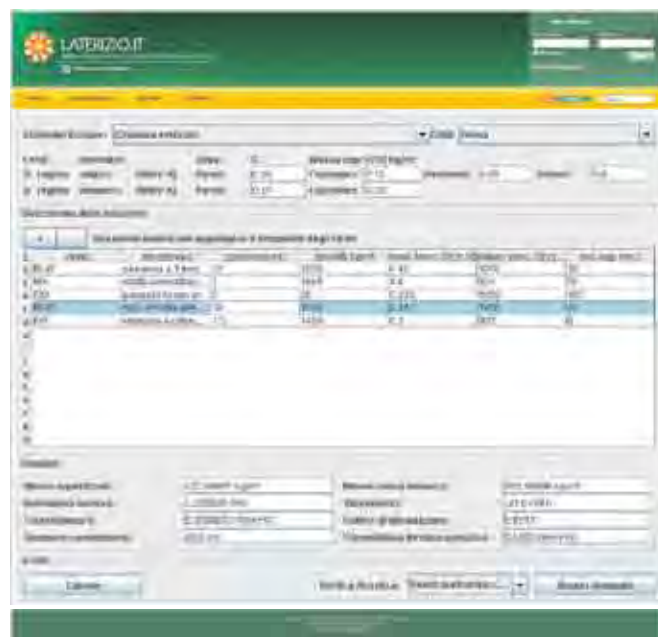
- l'efficienza energetica degli edifici;
- la protezione contro il rumore;
- la riduzione delle emissioni dannose e, *in primis*, dei “gas a effetto serra” (CO₂equivalenti) imputabili alle costruzioni e al loro utilizzo e dismissione;

- 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⁽³⁾. 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⁽⁴⁾, 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⁽⁵⁾, per il rispetto delle prestazioni energetiche, e di edifici a “zero energia e zero CO₂”.

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⁽⁶⁾. 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"⁽⁷⁾. 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 ²]
	DPR 59/2009	Trasmittanza termica U	[W/m ² K]
	DPR 59/2009	Trasmittanza termica periodica Y_{IE}	[W/m ² 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 ₂ eq]
		Eutrofizzazione	[kg PO ₄ --- eq]
		Riscaldamento globale (GWP100)	[kg CO ₂ eq]
		Riduzione dello strato di ozono (ODP)	[kg CFC ⁻¹² eq]
		Ossidazione fotochimica	[kg C ₂ H ₄ eq]
		Uso di risorse energetiche in produzione	[MJ eq]

2 Stratigrafia verificata della soluzione tecnica 1.

codice		spessore [cm]	densità [kg/m ³]	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, 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⁽⁸⁾.

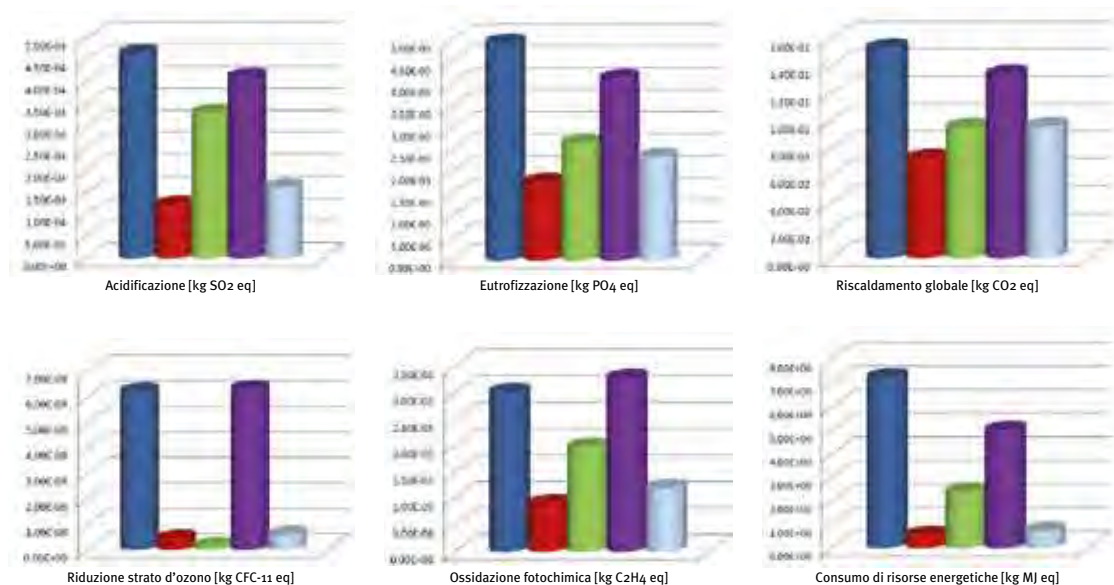
L'architettura del software è strutturata su apposito *database*, che l'utente può consultare al fine di comporre le diverse soluzioni tecniche specifiche, articolato in quattro distinte sezioni: dati geografici, dati climatici, normativa e materiali.

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 ²]
Massa superficiale senza intonaco	505,70 [kg/m ²]
Spessore totale	49,50 [cm]
Resistenza termica	3,236 [m ² K/W]
Trasmittanza termica	0,309 [W/m ² K]
Trasmittanza termica periodica	0,007 [W/m ² 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 ■ MUTI ■ PFT

riizzazione 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), 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.

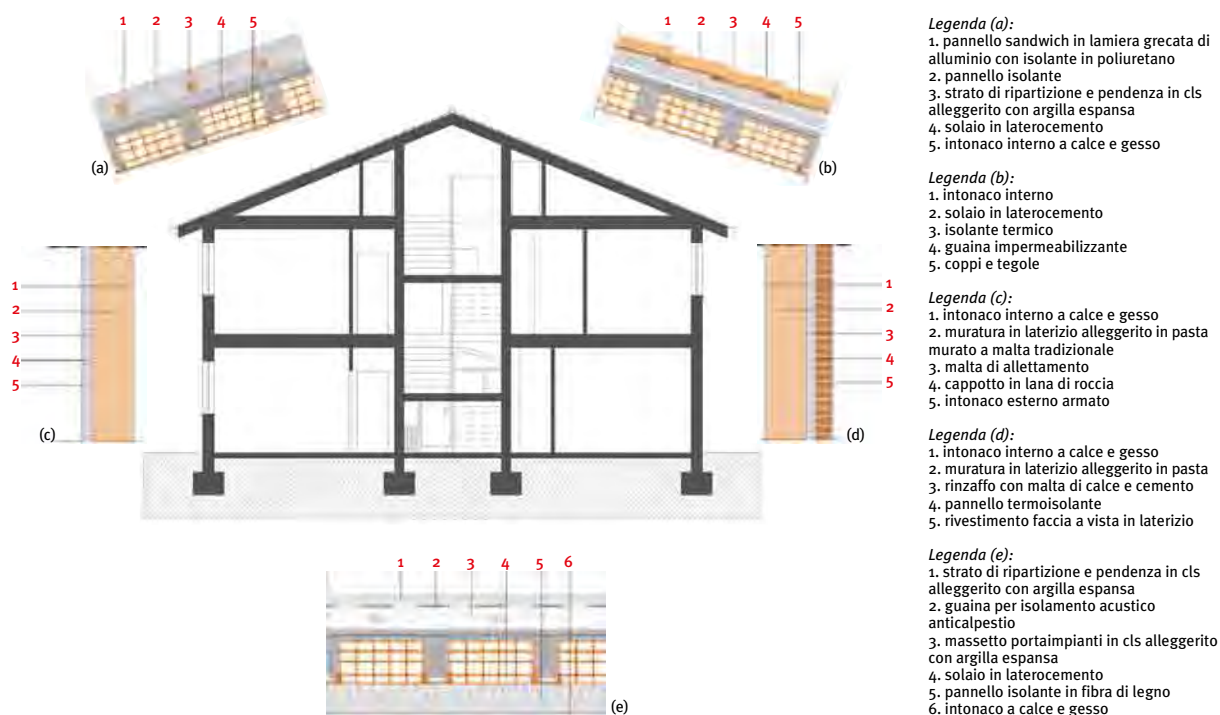
Una volta inseriti correttamente tutti gli strati, il software calcolerà in maniera automatica i valori di massa superficiale M_s , trasmittanza termica U , trasmittanza termica periodica Y_{IE} , sfasamento s e fattore di attenuazione f_a .

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 rielaborati 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



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 murato 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 murato a malta di calce e cemento
 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 antialpestio
 3. massetto portaimpianti in cls alleggerito con argilla espansa
 4. solaio in laterocemento
 5. pannello isolante in fibra di legno
 6. intonaco a calce e gesso

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 $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$:

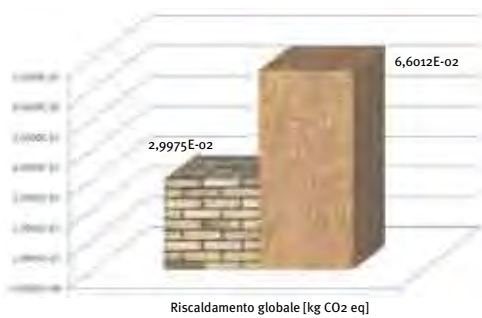
- tamponamento in laterizio alleggerito con rivestimento in laterizio faccia a vista
- tamponamento in laterizio alleggerito con cappotto esterno e due diverse soluzioni di copertura (valutate anch'esse a parità di trasmittanza termica $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$):
- copertura ventilata isolata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



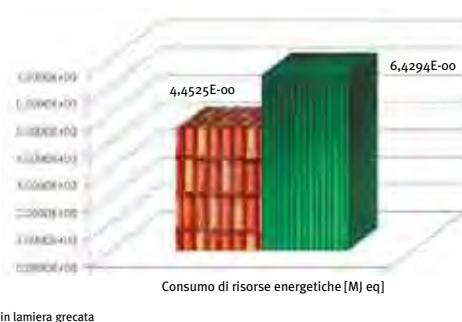
4. Soluzioni di muratura a confronto: *riscaldamento globale*.



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



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 fornitura 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. Direttiva 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".

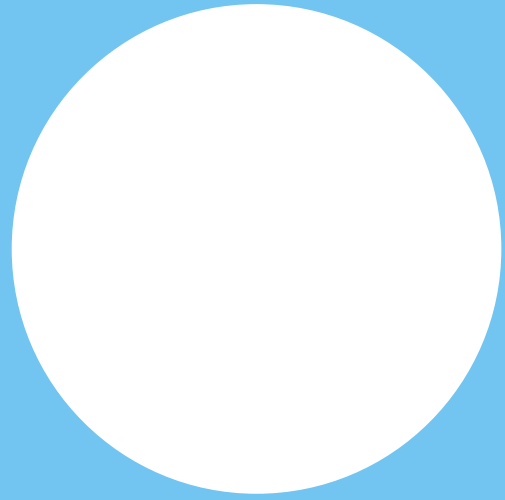
7. European Commission: Standardization Mandate to CEN - M/350 EN, *Development of horizontal standardized methods for the assessment of the integrated environmental performance of buildings*, marzo 2004.

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, UNEPTURIN, 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

La forma del tetto e la durabilità

R. Gulino, ANDIL, Associazione Nazionale Degli Industriali dei Laterizi

La forma del tetto al di là delle mode contemporanee e dalle tendenze effimere è legata non solo al territorio, per colore e clima, ma anche alla durabilità del “sistema” tetto. L’esperienza costruttiva ha portato all’elaborazione, nel tempo, delle più svariate forme, dove la falda costituisce a tutt’oggi una soluzione ottimale.



Alcuni “tetti” a falda.

La forma del tetto al di là delle mode contemporanee e dalle tendenze effimere è legata non solo al territorio, dove il colore, ad esempio quello del “cotto”, caratterizza cromaticamente il paesaggio, e le condizioni climatiche, a cui a maggiore piovosità ed altitudine in genere corrispondono coperture più o meno inclinate -mentre in clima mediterraneo è più tipico l’uso delle coperture piane-, ma anche alla durabilità del “sistema” tetto, l’esperienza costruttiva ha portato all’elaborazione delle più svariate forme, dove la falda costituisce a tutt’oggi una soluzione ottimale. Si rammenta poi la crescente sensibilità in questi ultimi anni nei confronti del risparmio energetico, dell’isolamento acustico, del comfort abitativo, del rispetto dell’ambiente, in poche parole dell’efficienza dell’ “organismo tetto”, che ne ha determinato una inevitabile rilettura, dando luogo ad una sua attenta e puntuale rivalutazione. A tale riguardo la copertura a falda permette di sfruttare gli ambienti sottostanti, sempre più per abitarci e non come semplice “ripostiglio” e costituisce così una importante risorsa per contenere lo sfruttamento del suolo.

Lunga è la diatriba tra estimatori e/o detrattori del tetto a falda e quelli del tetto piano, la scelta della geometria della copertura si ripercuote spesso, probabilmente favorita da mancate manutenzioni o errori progettuali, su contenziosi e difettosità. Si ricorda, a tale proposito, una indagine^[1] sui contenziosi giudiziari per difetti costruttivi svoltisi negli anni '90 in edifici nelle province di Livorno, Luc-



NEWSLETTER DELLE COPERTURE
Mensile di informazione tecnica sulle Coperture in Laterizio

1

Maggio 2013 - Numero 50

ca e Pisa. La classificazione di 138 sentenze, su circa 200 cause inoltrate presso i competenti tribunali, ha consentito la formulazione di un quadro statisticamente significativo circa i più frequenti difetti costruttivi degli edifici. Nell'indagine si rilevava tra gli altri che "...il fenomeno dell'infiltrazione appare di gran lunga il più comune ed interessa ogni parte degli edifici innescando non infrequentemente dissesti di altra natura. L'incidenza parziale per ciascuna provincia delle parti dell'edificio interessate da infiltrazione restituisce chiaramente che la copertura a terrazza (40,6%) è quella più vulnerabile, cui fa seguito il tetto a falde (19,0%), le pareti in elevato (18,2%), gli interrati e le fondazioni (15,2%), le infiltrazioni da terzi (7,0%)."

Nell'articolo, si rilevava anche il ruolo degli aggetti "... Eclatante appare il caso dei moderni edifici del tutto privi di aggetto di gronda, la cui linea estetica ripercorre quelle di Paesi a bassa piovosità, completamente estranea alla tradizione costruttiva dei luoghi toscani e di buona parte del territorio italiano.

In realtà è noto che il ruolo dell'aggetto è duplice: proteggere le pareti perimetrali dalla percolazione idrica e costituire effetto "spoiler" in occasione di eventi piovosi con vento, evitando che la parete sommitale venga "bagnata" perdendo coibenza, cosicché con la successiva evaporazione, che sottrae calore alla parete, si favoriscano importanti condense nei vani dei piani alti."

Ma la forma del tetto nasce e si specifica nel complesso rapporto tra le azioni naturali - precipitazioni -, le condizioni al contorno e le componenti funzionali, formali e simboliche dell'architettura.

Le infinite configurazioni assunte dai tetti nel corso del tempo sono espressione e sintesi del rapporto tra i diversi fattori e del prevalere ora di uno ora di un altro.

Pioggia, pioggia battente, vento, neve e grandine rappresentano importanti agenti degenerativi; il consapevole sfruttamento della forza di gravità rappresenta l'adeguata contromisura nei loro confronti. Antonio Lauria^[3] nel suo manuale sulle coperture cita Vitruvio "...secondo il quale, avendo gli uomini primitivi constatato che le coperture piane in elementi vegetali non potevano reggere alla pioggia, "costruiti dei tetti a punta, spalmati di fango, coll'inclinazione del tetto determinarono lo scolo delle acque"..."

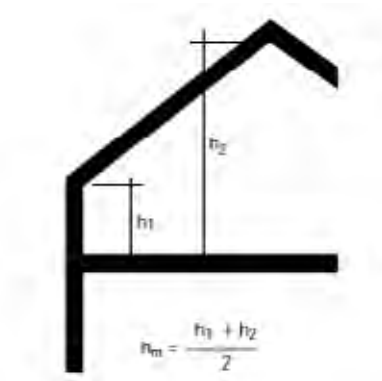
Lo stesso Lauria individua i seguenti fattori che influenzano le scelte inerenti la geometria del tetto:

- condizioni al contorno opportunità e i vincoli che il sito pone;
- componenti funzionali ovvero le modalità d'uso del sottotetto la cui abitabilità dipende da:
 - fattori geometrici quali l'altezza, l'inclinazione e conformazione delle falde;
 - fattori energetici e di comfort quali l'isolamento termoacustico;
 - fattori strutturali tipologia e disposizione delle strutture, verticali ed orizzontali;
 - fattori normativi.



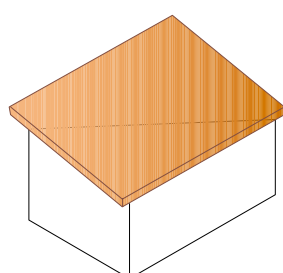
Intervenendo sulla pendenza o sulla conformazione delle falde, indipendentemente da altri fattori, è possibile migliorare la funzionalità del sottotetto.



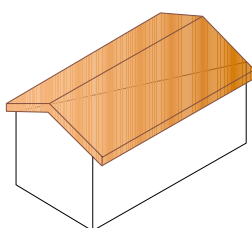


Formula per il calcolo dell'altezza media h_m secondo molti regolamenti edilizi.

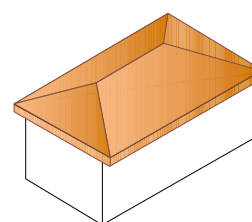
Infine, altrettanto importanti sono le “componenti formali” (sogettive del progettista) e quelle “simboliche” (influenzate dalle caratteristiche del ‘luogo’), che portano alla scelta geometrica finale.



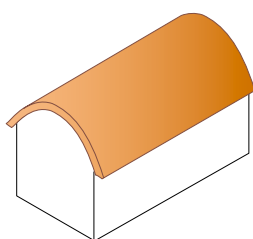
a falda unica



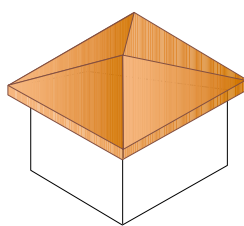
a due falde



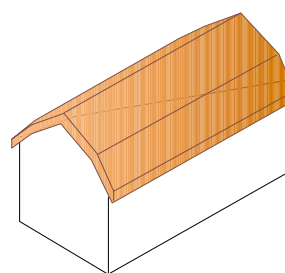
a due falde con teste a padiglione



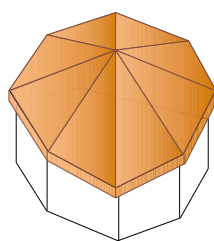
curva



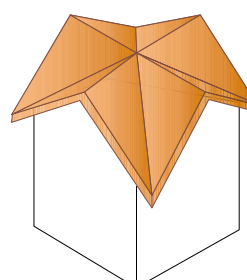
a padiglione su pianta quadrata



a mansarda



a padiglione su pianta ottagonale



a stella

Principali tipologie di tetti.

Riferimenti bibliografici

- [1] Indagine sui difetti costruttivi negli edifici della Toscana occidentale mediante lo studio dei contenziosi giudiziari, N. Gucci, P. Bartolo, M. Sassu, *Industria dei Laterizi* n. 99 del 2006.
- [2] La forma del tetto, Antonio Lauria, *Costruire in Laterizio* n. 91 del 2003
- [3] “I manti di copertura in laterizio”, di A. Lauria, Edizioni Laterservice, 2002.

Progettazione, esecuzione e manutenzione delle coperture discontinue

Le coperture da sempre proteggono gli edifici, e quindi l'uomo, dai fenomeni meteorologici. Con il passare del tempo, si sono trasformate in un elemento più complesso, adibito a molteplici funzioni, sia di tipo attivo che passivo. L'aggiornamento del Codice di Pratica per la progettazione, esecuzione e manutenzione delle coperture discontinue (UNI 9460) costituisce, per progettisti e costruttori, uno strumento efficace ed aggiornato per realizzazioni di qualità

Una copertura ben progettata, ed altrettanto ben realizzata, significa soddisfazione del committente/utilizzatore e risparmio di denaro, sia in termini di contenziosi che di riparazioni. Si tratta di considerazioni ovvie, ma spesso disattese.

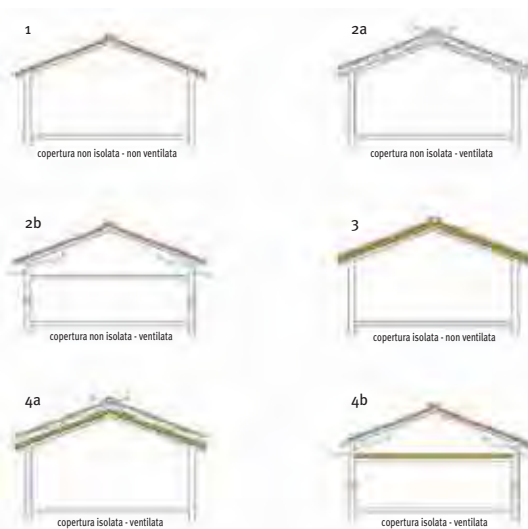
Nella progettazione delle coperture e dei relativi strati funzionali, il progettista, generalmente, si trova ad utilizzare le informazioni tecniche fornite dalle aziende produttrici o si lascia spesso condizionare dal *know how* dell'impresa esecutrice.

Pur non tralasciando questi apporti conoscitivi importanti, il "tecnico" deve comunque maturare un'autonoma consapevolezza progettuale e costruttiva. A questo fine, è fondamentale l'apporto delle norme UNI che rappresentano la "buona regola del costruire".

Nel campo delle coperture, viene in aiuto la UNI 9460⁽¹⁾ sulla progettazione, esecuzione e manutenzione a regola d'arte delle coperture realizzate con manti di laterizio (tegole e coppi), recentemente aggiornata: si tratta di uno strumento di lavoro assolutamente chiaro ed efficace e, soprattutto, aggiornato per dare risposte esaurienti ed affidabili per "costruire in qualità", valorizzando prodotti e soluzioni tecnologicamente avanzate.

La norma UNI 9460 La norma è strutturata in 11 paragrafi (più tre appendici ed una bibliografia), ciascuno suddiviso in vari sotto paragrafi, e precisamente:

1. scopo e campo di applicazione;
2. riferimenti normativi;
3. termini e definizioni;
4. requisiti;
5. istruzioni per la progettazione;
6. composizione del sistema;



1. Schemi funzionali dei tetti in base al loro comportamento termoigrometrico.

7. documentazione di progetto;
8. materiali e componenti utilizzati per ogni elemento o strato funzionale;
9. istruzioni per l'esecuzione;
10. controlli dell'esecuzione;
11. interventi di manutenzione ed ispezione.

Di seguito, si descrivono brevemente alcuni aspetti toccati dalla UNI 9460, senza voler dare, tuttavia, criteri di priorità e lasciando al lettore l'approfondimento puntuale dei vari argomenti.

1 Specifiche previste per tegole e coppi in laterizio.

Caratteristica	Requisiti tegole e coppi di laterizio	Norma di riferimento	
Aspetto	Difettosità ammessa < 5%	UNI EN 1304	
Marchatura	Almeno il 50% delle tegole deve presentare una marchatura indelebile (codificata o meno) che identifichi i principali dati produttivi	UNI EN 1304	
Dimensioni individuali	Tolleranza = ± 2%	UNI EN 1024	
Dimensioni di ricoprimento	Tolleranza = ± 2%	UNI EN 1024	
Rettilinearità R	R ≤ 1,5% (per tegole la cui lunghezza totale dichiarata è maggiore di 300 mm)	UNI EN 1024	
	R ≤ 2% (per tegole la cui lunghezza totale dichiarata è minore o uguale di 300 mm)		
Uniformità profilo trasversale (solo coppi)	Scostamenti della larghezza misurata sulla parte stretta e larga della tegola:	UNI EN 1024	
	$\Delta E_1 \leq 15 \text{ mm}$		
	$\Delta E_2 \leq 15 \text{ mm}$		
Coefficiente di planarità C	C ≤ 1,5% (per tegole la cui lunghezza totale dichiarata è maggiore di 300 mm)	UNI EN 1024	
	C ≤ 2% (per tegole la cui lunghezza totale dichiarata è minore o uguale di 300 mm)		
Carico di rottura a flessione	Tegole piatte F ≥ 600 N	UNI EN 538	
	Tegole con incastrò laterale F ≥ 900 N		
	Tegole convesse (coppi ed embrici) F ≥ 1000 N		
	Altre tegole (marsigliesi, portoghesi, olandesi) F ≥ 1200 N		
Impermeabilità	Categoria 1	metodo di verifica 1 (fattore di impermeabilità)	UNI EN 539-1
		$IF_{\min}(\text{singolo}) \leq 0,6 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \text{ gg}$	
		$IF_{\min}(\text{medio}) \leq 0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \text{ gg}$	
		metodo di verifica 2 (coefficiente di impermeabilità)	
	$IC_{\min}(\text{singolo}) \leq 0,85$		
	$IC_{\min}(\text{medio}) \leq 0,80$		
Categoria 2	metodo di verifica 1 (fattore di impermeabilità)		
	$IF_{\min}(\text{singolo}) \leq 0,9 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \text{ gg}$		
	$IF_{\min}(\text{medio}) \leq 0,8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \text{ gg}$		
	metodo di verifica 2 (coefficiente di impermeabilità)		
$IC_{\min}(\text{singolo}) \leq 0,95$			
$IC_{\min}(\text{medio}) \leq 0,925$			
Resistenza al gelo (ai fini della marchatura CE)	Preimmersione sottovuoto 50 cicli gelo/disgelo Analisi finale su aspetto e peso	UNI EN 539-2 metodo C	
Resistenza al gelo (solo per controllo in produzione)	90 cicli gelo/disgelo Analisi finale su aspetto e peso	UNI EN 539-2 metodo E	

Innanzitutto, la nuova edizione della norma definisce i requisiti delle coperture discontinue, così come previsto dalla Direttiva europea 89/106/CEE⁽²⁾; in particolare, affronta e definisce i requisiti relativi al comportamento agli agenti atmosferici (impermeabilità; protezione contro neve, sabbia e pulviscolo con azione del vento; protezione dalla penetrazione del vento), i requisiti meccanici (per contrastare i carichi da neve e ghiaccio, del vento, dovuti alla presenza di persone, alla grandine) ed i requisiti chimici e fisici (resistenza agli stress termici; prestazioni di isolamento termico e acustico; comportamento al fuoco; resistenza all'azione dei raggi UV e di atmosfere aggressive; compatibilità con gli altri materiali costituenti la "stratificazione"; aspetto esterno).

Passando alla progettazione della copertura, la norma prevede specifiche istruzioni per quanto concerne le sue dimensioni massime

e le pendenze minime delle falde, in funzione del tipo di tegola installata e della zona climatica. In relazione al controllo del comportamento termoigrometrico di una copertura, vengono individuati quattro schemi funzionali: copertura non isolata e non ventilata, copertura non isolata e ventilata, copertura isolata e non ventilata, ed infine copertura isolata e ventilata (fig. 1).

Sono, inoltre, fornite dettagliate indicazioni sulla documentazione di progetto, che deve comprendere, tra l'altro, i particolari costruttivi relativi a colmo, gronda e parte corrente.

La norma definisce in maniera puntuale tutti i materiali utilizzati per ogni strato funzionale. Nello specifico, prende in considerazione i materiali per lo strato di tenuta, per l'elemento di supporto, per i dispositivi di collegamento, per lo strato di irrigidimento, per lo strato di tenuta all'aria, schermo e barriera al vapore, strato imper-

2 Schema dei controlli in fase di posa per il piano di falda.

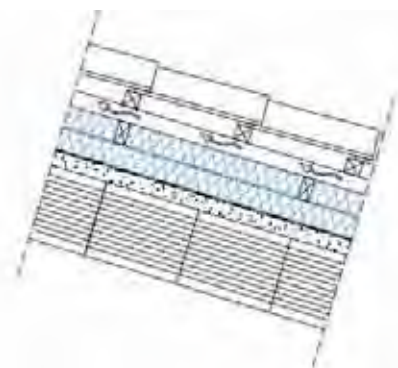
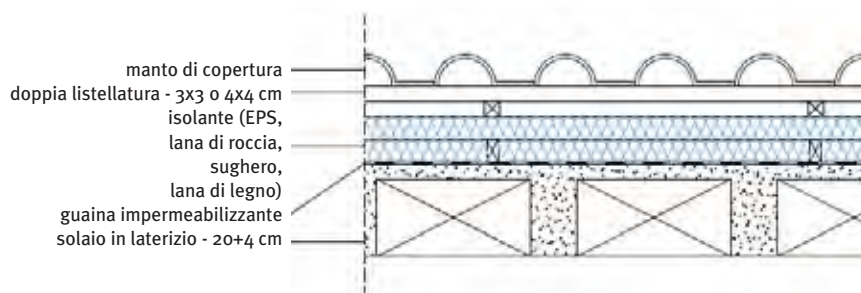
Elemento da verificare	Caratteristiche da verificare	Criteri di accettazione
Strato di tenuta all'aria, schermo al vapore, barriera al vapore, strato impermeabilizzante traspirante	Sormonti	Da prevedere almeno 10 cm di sormonto
	Raccordi	In caso di interruzioni di falda (sfiati, camini, ecc.), i raccordi devono essere accuratamente risolti
Listelli o cordoli	Interasse (oppure dima per posizione listelli)	Valore uguale al passo delle tegole
	Allineamento	Orizzontalità dei listelli o dei cordoli di malta*
	Interruzione	10 – 20 mm almeno ogni 4 m (listelli di legno), ogni 2 m (cordoli in malta*)
	Consistenza dei cordoli di malta prima della posa delle tegole*	Cordolo perfettamente asciutto*
Elementi di supporto in pannelli isolanti presagomati	Complanarità	Ortogonalità rispetto all'allineamento delle tegole (coppi) nella direzione della falda
	Ortogonalità	
	Incastri tra i pannelli	
	Coincidenza dei canali di ventilazione con l'allineamento delle tegole (coppi) nella direzione della falda	
Strato di tenuta	Aggancio tegole	Piedini di aggancio in battuta su listello (o cordolo di malta*) e corretto accoppiamento tegola-tegola. Le tegole devono essere serrate per evitare problemi di capillarità che favoriscano infiltrazioni d'acqua (distanza teorica di incastro tra le tegole di 1,5 mm)
	Asse (allineamento) tegole/coppi	Ortogonalità rispetto all'asse dei listelli (o cordoli di malta*)
	Sovrapposizione per strato ottenuto con coppi	Lunghezza di sovrapposizione maggiore (o uguale) di quella consigliata dal produttore
	Fissaggio delle tegole/coppi (se previsto)	Fissaggio delle tegole/coppi poste lungo le linee di gronda e di bordo. Fissaggio di almeno una tegola/coppo su 5 per ciascuna fila orizzontale

* L'uso dei cordoli in malta è sconsigliato. In ogni caso, gli stessi devono presentarsi perfettamente asciutti prima della posa del manto. Per quanto riguarda la composizione, si usano malta di calce e malta bastarda; non sono ammesse, invece, quelle di solo cemento.

meabilizzante traspirante e per lo strato di isolamento termico. Lasciando al progettista l'approfondimento dei vari strati, in questa sede ci si soffermerà brevemente sullo strato di tenuta in tegole di laterizio, in relazione al quale la norma è puntualmente allineata con le nuove⁽³⁾ disposizioni UNI che definiscono le specifiche di prodotto (UNI EN 1304)⁽⁴⁾ ed i relativi metodi di prova (UNI EN 1024, UNI EN 538, UNI EN 539-1, UNI EN 539-2)⁽⁵⁾. In particolare, vale la pena sottolineare che, oltre alla definizione e alle modalità di misura delle caratteristiche fisiche del prodotto, la

UNI EN 1304 stabilisce che almeno il 50% delle tegole debba presentare una marcatura indelebile, in cui sia possibile identificare (in forma codificata o meno) l'azienda produttrice, la nazione di origine, l'anno ed il mese di produzione ed eventualmente il tipo di prodotto. Tale requisito si conforma anche alle necessità di identificazione e rintracciabilità previste dalla norma UNI EN ISO 9001⁽⁶⁾ sui sistemi di gestione per la qualità.

Nella tabella 1 sono riassunte le specifiche previste per le tegole in laterizio.



2. Possibile stratigrafia di tetto ventilato con copertura in laterizio.

Un ampio paragrafo è dedicato, naturalmente, alle istruzioni per l'esecuzione di una copertura, con numerosi esempi grafici e fotografici. In esso, la UNI 9460 ritorna sui concetti di ventilazione e microventilazione sottotegola. La prima ha lo scopo di migliorare il comportamento termoigrometrico della copertura e può essere ottenuta mediante uno spazio sottotetto libero e ventilato, oppure mediante un'intercapedine lungo la falda. La norma demanda al progettista la valutazione delle soluzioni più efficaci di ventilazione in relazione al caso specifico. Tuttavia, fornisce alcune indicazioni numeriche sugli spessori dello strato di ventilazione, in relazione al fatto che si intenda ottenere la massima riduzione del flusso termico in clima estivo, oppure che si voglia garantire un adeguato smaltimento di eventuale vapore d'acqua accumulatosi nella copertura, sia nelle stagioni intermedie che durante l'inverno.

Per quanto riguarda lo strato di microventilazione, esso ha lo scopo di evitare persistenza di umidità, formazione di condensazioni e garantire la durata nel tempo delle tegole. La microventilazione è ottenuta semplicemente montando le tegole sulla prevista listellatura di supporto, in merito alla quale la norma UNI definisce alcune delle possibili soluzioni conformi (fig. 2).

Tra gli argomenti interamente nuovi previsti dalla UNI 9460, vi è quello relativo ai controlli dell'esecuzione. La norma prevede verifiche iniziali sui materiali, in fase di posa e finali (a posa completata). Tali controlli sono previsti per il piano di falda, per la linea di gronda e per la linea di colmo. Per questo, viene riportata una serie di prospetti che indicano, per ogni elemento da verificare, i controlli ed i criteri di accettazione: si tratta di vere e proprie liste di controllo che possono diventare degli utili strumenti per il direttore dei lavori, ma anche per le aziende installatrici.

A titolo esemplificativo, nella tabella 2 è indicato lo schema dei controlli da effettuare in fase di posa per il piano di falda.

Altro importante aspetto, preso in considerazione dalla norma, riguarda gli interventi di manutenzione ed ispezione. Pur riconoscendo la durabilità dei manti di copertura in tegole e coppi di laterizio, la norma consiglia un'ispezione iniziale dopo i lavori (cosiddetta di "collaudo"), per verificare che sulla copertura non siano stati abbandonati materiali che ne impediscano il corretto funzionamento. Successivamente, sono previste ispezioni con frequenza generalmente annuale, per il controllo dell'integrità e dell'efficienza dei vari elementi di copertura.

Per la periodicità della manutenzione, la norma rimanda alle istruzioni fornite dal fabbricante e, in ogni caso, ai risultati delle ispezioni periodiche. In generale, la manutenzione potrà riguardare la rimozione di depositi, la sostituzione di prodotti danneggiati, il riposizionamento di elementi spostati, ecc.

Particolare attenzione viene dedicata alla sicurezza delle attività di ispezione e manutenzione. A tale proposito, numerose sono le indicazioni, grafiche e fotografiche, relative ai dispositivi di sicurezza da adottare per tali operazioni (fig. 3).

In definitiva, con la norma UNI 9460, i progettisti, i direttori dei lavori e le imprese dispongono oggi più che mai di uno strumento valido ed aggiornato per progettare e far realizzare tetti di qualità. ¶



3. Esempio di dispositivo di sicurezza per l'ispezione della copertura.

Note

1. UNI 9460:2008, "Coperture discontinue. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio o calcestruzzo".
2. 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".
3. Vengono definite "nuove" rispetto alle norme UNI 8626 ("Prodotti per coperture discontinue. Caratteristiche, piani di campionamento e limiti di accettazione") e UNI 8635 ("Prove dei prodotti per coperture discontinue"), ritirate in quanto obsolete.
4. UNI EN 1304:2005, "Tegole di laterizio e relativi accessori. Definizioni e specifiche di prodotto".
5. UNI EN 1024:1998, "Tegole di laterizio per coperture discontinue. Determinazione delle caratteristiche geometriche".
- UNI EN 538:1997, "Tegole di laterizio per coperture discontinue. Prova di resistenza alla flessione".
- UNI EN 539-1:2006, "Tegole di laterizio per coperture discontinue. Determinazione delle caratteristiche fisiche. Parte 1: prova di impermeabilità".
- UNI EN 539-2:2006, "Tegole di laterizio per coperture discontinue. Determinazione delle caratteristiche fisiche. Parte 2: prova di resistenza al gelo".
6. UNI EN ISO 9001:2008, "Sistemi di gestione per la qualità. Requisiti".

Bibliografia

- Luca Agostini, *La nuova normativa europea sulle coperture in laterizio*, in *Costruire in Laterizio*, n. 77/2000, Gruppo Editoriale Faenza Editrice.
- Riccardo Nelva, *L'aggiornamento del codice di pratica UNI sulle coperture in tegole*, in *Costruire in Laterizio*, n. 77/2000, Gruppo Editoriale Faenza Editrice.
- Carlo Crosato, *Prove, controlli e collaudi nell'esecuzione di una copertura in tegole di laterizio*, in *Costruire in Laterizio*, n. 73/2000, Gruppo Editoriale Faenza Editrice.

Alessandra Zanelli*

Laterizio e contrasti cromatici

Sulle aree un tempo occupate dagli stabilimenti Fiat di Novoli (FI) sorgono quattro blocchi residenziali articolati attorno ad una piazza dalla forma irregolare, e con funzioni commerciali e terziarie inserite nei piani terra. Il complesso di nuova costruzione è stato completato nel 2011, sotto la direzione artistica di Aimaro Isola e Flavio Bruna, in collaborazione con Isolarchitetti (progetto architettonico) e Bruna - Mellano e Maire Engineering (progetto esecutivo)

nuovi edifici residenziali progettati da Isolarchitetti si situano sul lato est di una più ampia area che, nell'ultimo decennio, è stata oggetto di un importante intervento di riqualificazione urbana: si tratta dell'intera zona sulla quale, a partire dal 1935, la Fiat aveva collocato le proprie attività produttive per il settore aeronautico.

A seguito della dismissione del sito produttivo iniziata negli anni Ottanta, fu elaborato un piano di rilancio di quei luoghi con l'idea di farne un nuovo polo di riconnessione tra centro storico e aree periferiche, inserendo al suo interno non solo nuovi edifici residenziali, ma anche funzioni strategiche quali un parco pubblico, l'università, un museo, il palazzo di Giustizia, un albergo e un centro commerciale. La memoria della passata matrice produttiva dell'area è affidata alla ex-centrale termica Fiat di via Novoli, riconvertita in spazio museale, mentre sui restanti 36 lotti si è intervenuti con nuove costruzioni, affidate a diversi progettisti, tra i quali Isolarchitetti.

Se lo scopo del disegno urbano era quello di proiettare sulla rinnovata area quella molteplicità di possibilità d'uso e quella vivacità che solitamente caratterizzano la città storica, i nuovi blocchi residenziali progettati da Isolarchitetti sono una coerente interpretazione del piano complessivo. Con volumi e altezze differenti, gli edifici denominati G13, G16, G17 e G18 organizzano una piazza interna piantumata con file parallele di *quercus ilex*, mentre le loro forme planimetriche irregolari disegnano la viabilità secondaria che si irradia fino alle strade principali – via Guidoni a nord, via Novoli a sud, via Forlanini a est – poste sul perimetro del vecchio sito industriale fiorentino. La piazza, al centro dei quattro diversi blocchi residenziali,

ha una forma a sua volta irregolare che si allunga a cercare una connessione visiva con il verde del parco pubblico più a ovest, offrendo spazi di relazione per i negozi e gli uffici situati ai piani terra dei corpi residenziali.

L'intenzione progettuale complessiva si legge nell'articolazione dei volumi, anch'essi espressione della variabilità rintracciabile nel tessuto della città, ma anche nelle scelte materiche improntate sulla valorizzazione di un materiale, *il cotto*, tipico della tradizione fiorentina. L'insieme appare infatti caratterizzato da un articolato gioco di colori caldi e freddi, dove il contrasto cromatico principale si gioca sull'accostamento del rosso mattone con il verde del rame preossidato.

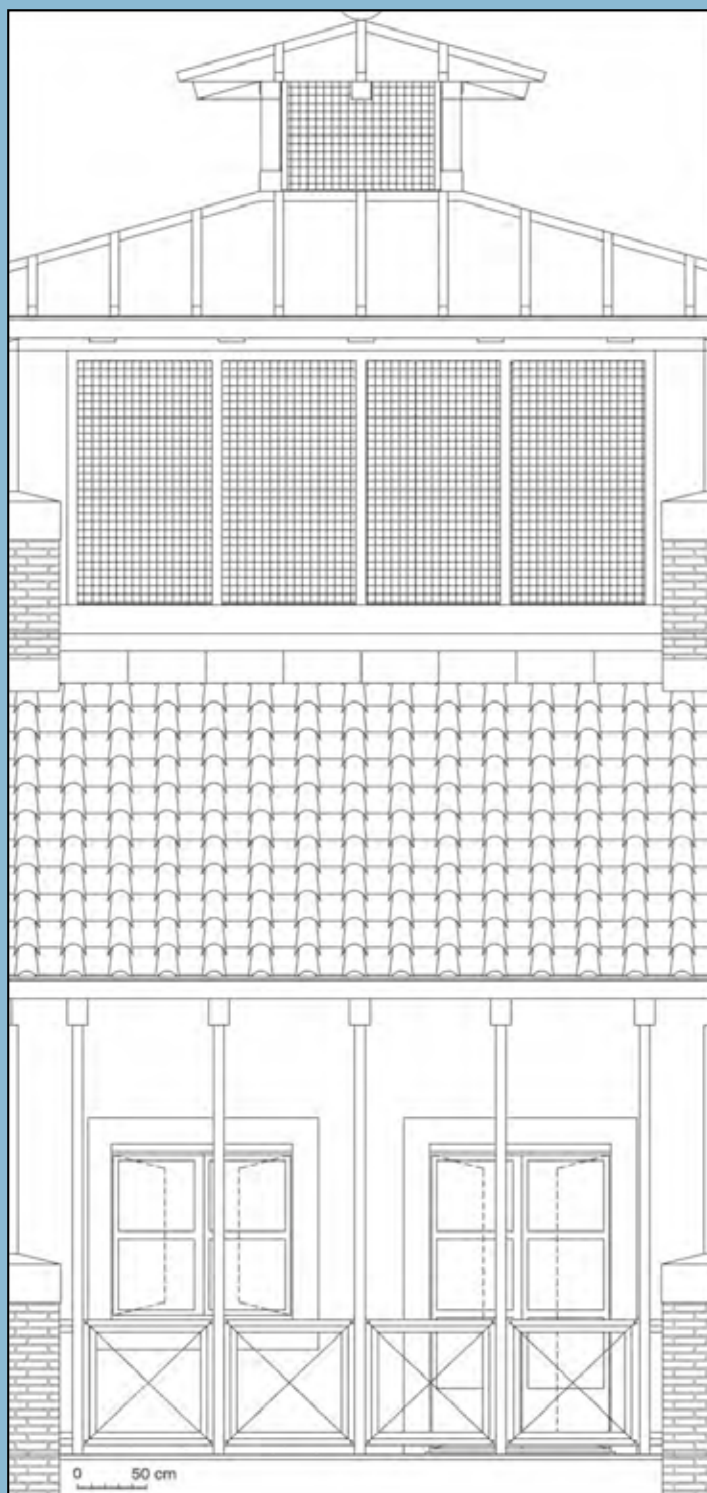
Le lisce superfici delle pareti verticali intonacate e trattate con pittura di colore chiaro prendono profondità, grazie ai porticati a doppia altezza ai piani terra e alle ampie logge ricavate sotto le falde delle coperture, e acquistano spessore con le lesene in laterizio a vista. Queste ultime costituiscono il rivestimento dei pilastri in calcestruzzo armato del telaio strutturale degli edifici; di larghezza pari a 84 cm, accennano un'ombra sulle superfici intonacate, sporgendo di 23 cm dal filo esterno dei pilastri. Per renderle solidali alle murature verticali, sono state progettate su misura staffe in acciaio inox che consentono l'aggancio del paramento in laterizio (con spessore 6,5 cm) alla retrostante struttura, garantendo la formazione di una ampia intercapedine, entro la quale vengono innervate le reti impiantistiche principali. Le lesene corrono fino al penultimo piano delle residenze, oltre il quale si trasformano in ritti di sostegno della struttura aerea in acciaio delle coperture delle logge e di collegamento dei parapetti delle logge stesse: tutti questi elementi più leggeri sono di colore verde.

Da questo livello in su, verso il cielo, il cromatismo è affidato alle superfici orizzontali: le grandi falde in coppi ed embrici di laterizio sono infatti contornate dal verde rame delle gronde e delle scossaline di colmo. Oltre i tetti rossi sveltano altane anch'esse in rame, elemento architettonico distintivo e connotante l'intero isolato urbano. ¶

* Ricercatore, Politecnico di Milano

In the areas formerly occupied by the Fiat Novoli plants, four residential blocks rise articulated around an irregular shaped square and with commercial and tertiary functions inserted in the lower floors. The new building was completed in 2011, under the artistic direction of Aimaro Isola and Flavio Bruna, with the architectural design of Isolarchitetti studio and the executive project of Bruna - Mellano and Maire Engineering

Studio Isolarchitetti, Edifici residenziali nel quartiere San Donato a Novoli, Firenze



Dettaglio 1

Prospetto ovest dell'edificio G18 che affaccia su una strada secondaria e guarda verso il parco pubblico.

Descrizione

Le ampie falde di rame preossidato di copertura degli spazi commerciali al piano terra e delle altane che svettano in cima alle residenze si alternano ai tetti rossi di coppi ed embrici in laterizio di copertura dei piani residenziali.

Il contrasto tra i colori e anche tra i diversi piani di ombra e di luce creati dalle logge delle residenze e dai corpi aggettanti più bassi offre nell'insieme un'idea di ricchezza di visuali che prelude alla vivacità abitativa e alla fruibilità delle diverse funzioni non residenziali insediate nell'isolato.



Planimetria generale dell'intervento.



Scorcio notturno dell'area verde attorno alla quale si articolano i blocchi di residenze.

Bruno Cattani

Studio Isolarchitetti, Edifici residenziali nel quartiere San Donato a Novoli, Firenze

Dettaglio 2

Prospetto est dell'edificio G18.

Descrizione

I fronti che affacciano sulla viabilità secondaria e verso gli spazi semi-privati interni ai blocchi residenziali sono privi di logge o aggetti. Le superfici intonacate sono scandite soltanto dalle finestre e dalle lesene in laterizio faccia a vista che corrono da terra fino ai manti di copertura. Tra il rivestimento in laterizio e il retrostante pilastro in c.a. è stata ricavata un'intercapedine per gli impianti, mentre i pluviali in rame preossidato corrono esterni, sovrapposti alle lesene stesse, creando un accentuato contrasto cromatico.

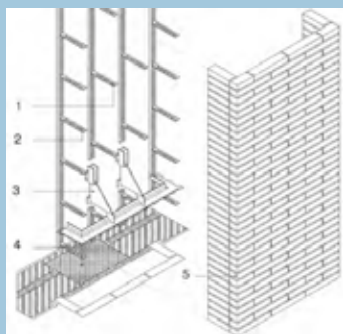
Legenda:

1. baionetta in acciaio zincato tassellata al pilastro in c.a.
2. baionetta tassellata alla muratura perimetrale
3. mensola in acciaio inox di collegamento tra il pilastro e il paramento murario della lesena
4. pilastro in cemento armato
5. lesena in mattoni faccia a vista con retrostante intercapedine impiantistica

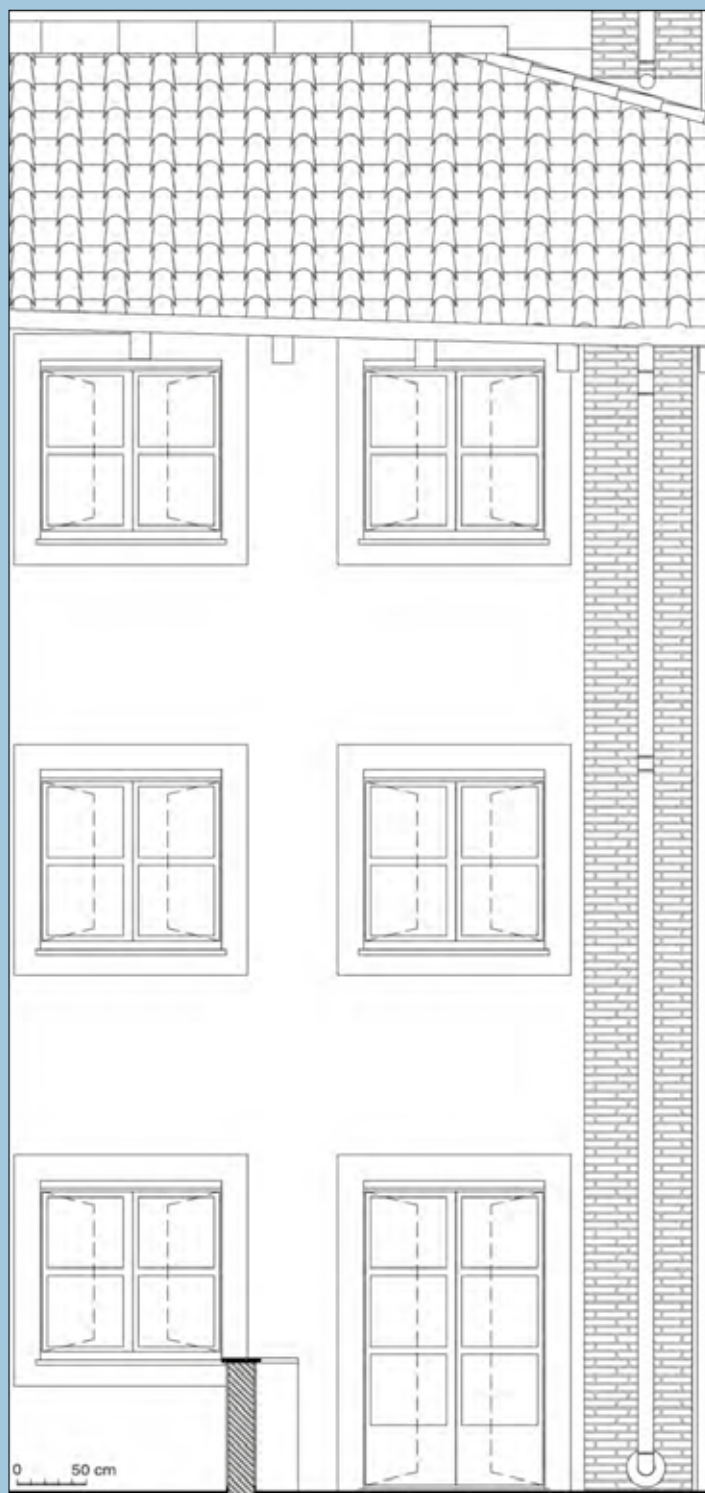


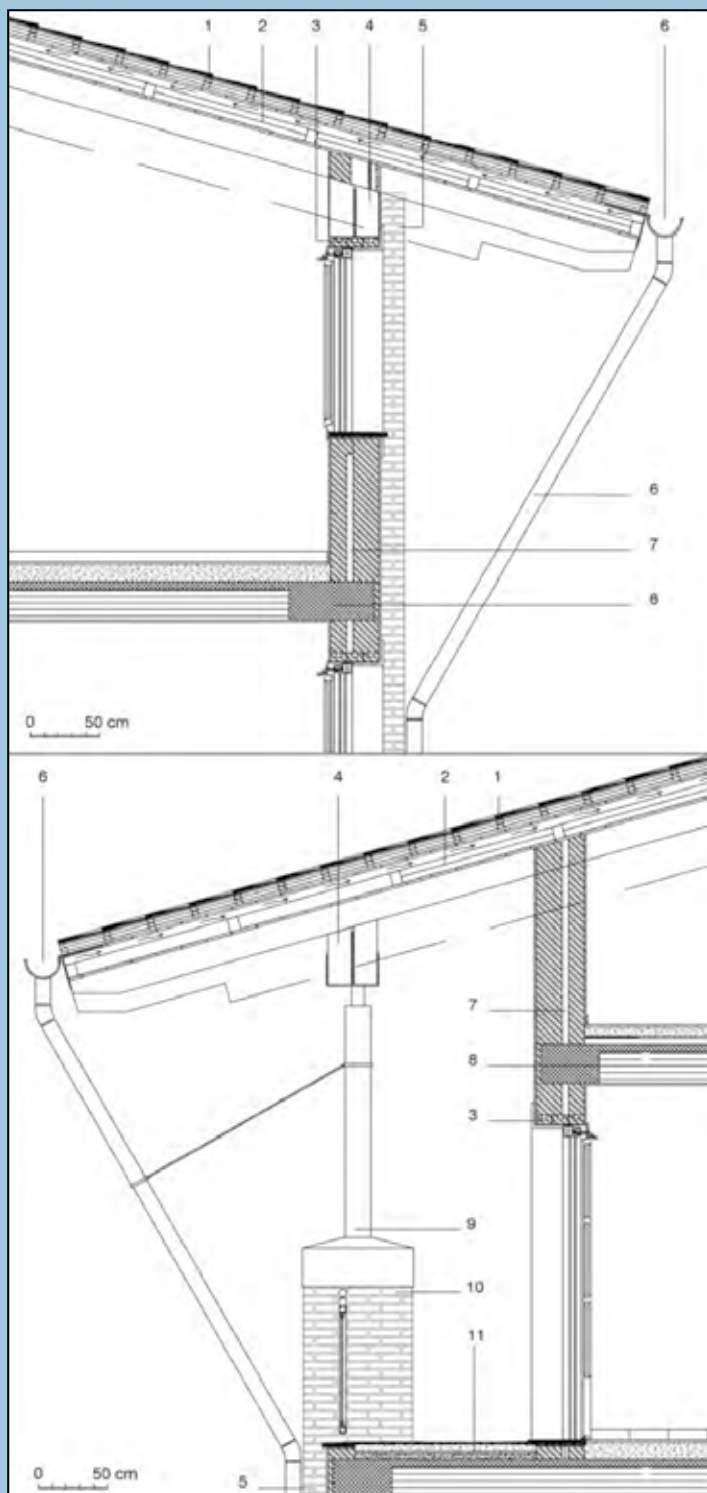
Saverio Lombardi Vallauri

Da sinistra a destra, i blocchi residenziali G18, G16 e G13.



Schema assonometrico di assemblaggio delle lesene in laterizio.





Dettaglio 3

Sezioni verticali di connessione tra il sistema di copertura in laterizio e le chiusure verticali.

Descrizione

Si descrivono le due diverse modalità con cui, nei diversi prospetti dell'edificato, la copertura con manto in laterizio si interfaccia con le chiusure verticali: con la muratura intonacata (*dettaglio in alto*); con una loggia di pertinenza di un appartamento (*dettaglio in basso*). In corrispondenza delle ampie logge all'ultimo piano, la copertura in coppi ed embrici trova sostegno in ritzi in acciaio verniciati di verde che si estendono oltre le lesene in laterizio, in un processo di alleggerimento, anche visivo, del piano sottotetto.

Legenda:

1. manto di copertura in coppi ed embrici posati su orditura di listelli di legno chiodati su tavolato
2. strati di chiusura superiore con isolamento termico di 5 cm e intercapedine di ventilazione di 6 cm
3. travetti per architrave in laterizio e serramento in legno
4. struttura in legno della copertura
5. mattoni faccia a vista della lesena di rivestimento del pilastro in c.a.
6. canale di gronda e pluviale in rame preossidato
7. muratura a cassa vuota in blocchi di laterizio alveolare e intonaco esterno
8. solaio in laterocemento spessore 30 cm, con massetto di sottofondo di 13 cm, tappetino anticalpestio e pavimento in legno
9. profili in acciaio di sostegno della parte di copertura della loggia
10. dritto in continuità con le lesene, con falda in rame
11. massetto di pendenza, spessore 5 cm per pavimento esterno della loggia



Saverio Lombardi Vallauri

In primo piano, la copertura in corrispondenza di due ampi spazi loggiati.



Saverio Lombardi Vallauri

Scorcio tra i tetti in laterizio e le altane con copertura in rame.

Alessandra Zanelli

Una copertura tra innovazione e tradizione

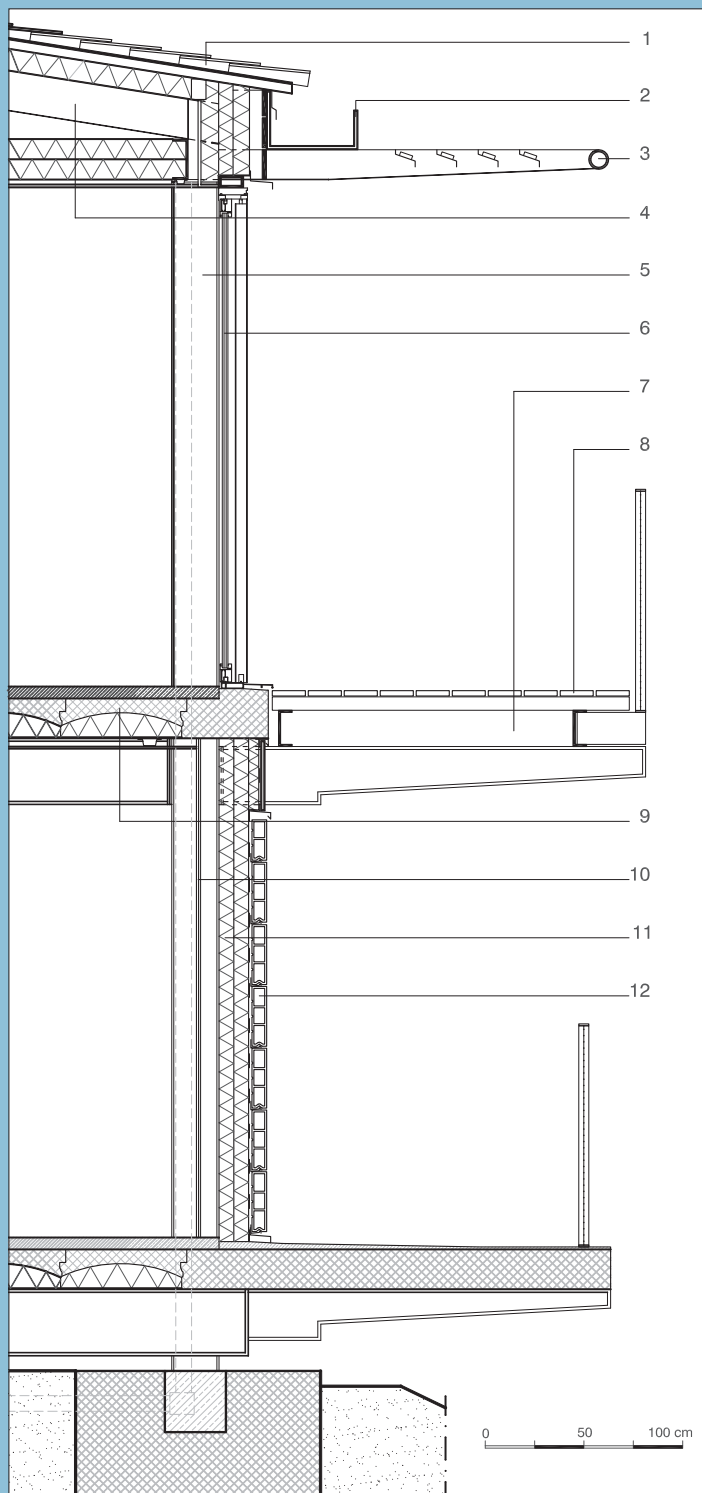
La villa privata a Villeneuve Lès Avignon, progettata nel 2005 dallo studio francese di architettura e ingegneria Patriarche & Co., impiega il laterizio come elemento di mediazione tra la nuova costruzione e le rade tradizionali preesistenze presenti nel paesaggio circostante

Villa Bourrier è una casa di villeggiatura situata nelle vicinanze della città di Avignone, affacciata verso la valle del Rodano e appoggiata su uno dei tipici terrazzamenti creati in passato per la coltura dei vigneti.

Per espresso desiderio della committenza, i progettisti dello studio di architettura e ingegneria Patriarche & Co. sono intervenuti nel modo più lieve possibile sul paesaggio circostante, operando in due direzioni. Da un lato hanno limitato la riconfigurazione dei terreni, appoggiandosi ai terrazzamenti esistenti e adattando, piuttosto, l'impianto distributivo ai dislivelli e alle visuali di volta in volta offerte dalle diverse quote altimetriche dell'intorno. Dall'altro hanno disegnato una forma architettonica semplice, che rendesse possibile distinguere in modo netto ciò che c'era e ciò che si va ad aggiungere, proponendo una costruzione assemblabile a secco, con strutture in acciaio e rivestimenti in "cotto" leggeri; così da far intuire che tale nuova costruzione è fatta per essere un giorno smontata, in modo da recuperare il paesaggio primigenio e ripensare, eventualmente, l'utilizzo dell'intero sito. L'impianto è di forma allungata, regolare e sfrutta al meglio le dimensioni del terreno terrazzato, mentre la configurazione compatta della planimetria dà vita ad un articolato gioco di volumi che si protendono verso la visuale della "città dei papi" e al tempo stesso arretrano per creare spazi all'aperto, in continuità con l'intorno verde. Nella relazione di progetto, l'architetto Jean-Loup Patriarche commenta che, recandosi sul posto, il visitatore che arriva dal terrazzamento più alto, e guarda verso la città di Avignone, potrà apprezzare come "il sito resti più forte della casa". Mentre ad un primo sguardo la casa sembra svilupparsi su un solo piano, connotata dal grande tetto di terracotta rossa, dalla tradizionale forma a padiglione e dalla tipica inclinazione di circa il 16%, i due livelli abitabili si percepiscono un po' per volta, scendendo lungo i camminamenti del giardino digradante verso la piscina. Tra i verdi terrazzamenti preesistenti si inserisce la nuova costruzione, caratterizzata da ampi balconi, lunghi 11 metri sui fronti principali, a monte (verso nord) e valle (verso sud), e da profonde terrazze laterali a sbalzo. Se nel trattamento delle superfici orizzontali predominano i colori della tradi-

zione, quali il legno e il laterizio, così da stabilire un legame con le antiche case rurali ancora presenti nell'intorno, nelle facciate predomina invece un gusto contemporaneo, lievemente *high-tech*, in cui prevalgono i toni dello zinco, dell'alluminio e del vetro, mentre il colore rosso delle terracotte avignonesi viene rivisitato nei rivestimenti in tavelle con sezione battentata (300x700 mm), assemblabili a secco su supporti metallici. Se tutti gli elementi di acciaio a vista – come gli sporti di gronda, le mensole di sostegno dei balconi, i parapetti e i corrimano – sono trattati mediante zincatura, assicurando nel tempo non solo un'efficace protezione alla corrosione, ma anche una tonalità di colore argento che rimarrà invariabile negli anni, per i coppi in laterizio del tetto i progettisti hanno scelto di accelerare il lavoro del tempo proponendo una finitura anticata, assicurando così fin da subito un delicato inserimento del nuovo tetto nel paesaggio. L'articolazione degli spazi interni della villa Bourrier – così differente al piano terra "aggrappato" al terreno, rispetto al piano primo proteso nell'aria verso la valle – si fonda su un rigoroso schema strutturale a telaio. I due piani liberi sono organizzati con le camere per gli ospiti e per i bambini al piano terra e con gli spazi a giorno e le camere padronali al piano primo. Al piano terra, ampie zone all'aperto, protette dal volume aggettante del piano primo, stabiliscono un collegamento diretto tra la casa e il giardino circostante, mentre le grandi terrazze, le vetrate e le balconate continue sul fronte principale, rivolto verso la città di Avignone, offrono una continuità visiva tra il paesaggio e gli ambienti del primo piano. In particolare, le grandi vetrate scorrevoli trasformano, all'occorrenza, il primo piano in un unico spazio coperto all'aperto, immerso nell'aria e nel verde della valle, con molteplici possibilità di circolazione tra una stanza e l'altra, anche passando esternamente lungo i balconi e le terrazze in doghe di legno; lungo questi percorsi, si trovano aree di sosta dalle quali si può fruire una calma contemplazione del paesaggio: alle spalle, il caldo rivestimento delle tavelle *high-tech* in laterizio; davanti, il verde della valle, interrotto qua e là da qualche punto di rosso che va intensificandosi sempre più verso la città di Avignone. ¶

Patriarce & Co., Villa Bourrier, Villeneuve Lès Avignon, Francia, 2005



Dettaglio 1

Sezione verticale del fronte sud-est, rivolto verso valle.

Descrizione

Il fronte principale si affaccia verso la valle del Rodano e sulla più lontana città di Avignone. Le ampie vetrate scorrevoli, i pannelli di rivestimento in "cotto" forato e i balconi di doghe di legno con balaustre e sporti di gronda in acciaio zincato sono gli elementi tecnici ricorrenti su tutte le facciate, ma con modulazioni diverse, in relazione alla funzionalità degli spazi.

Legenda:

1. manto di copertura in coppi di laterizio con finitura anticata
2. gronda in lamiera di acciaio zincato
3. *brise soleil* fisso in lamelle di acciaio galvanizzato con terminale in tubolare 100 mm
4. orditura principale del tetto in profili UPN 200 e IPE 400, con 200 mm di isolante all'intradosso e controsoffitto in cartongesso 15 mm
5. pilastri in acciaio lasciati a vista
6. vetrate scorrevoli in alluminio e vetrocamera 4/12/4 mm
7. balconata a sbalzo realizzata con mensole a sezione variabile e balaustre in acciaio
8. pavimento in doghe di legno 150x27 mm
9. solaio in elementi prefabbricati in cls armato e lana di roccia di spessore 200 mm con soprastante strato di massetto in cemento spessore 60 mm, con superficie levigata
10. doppia lastra di cartongesso
11. doppio strato isolante 150 mm
12. tavole di rivestimento in "cotto" forato



Il grande tetto in laterizio stempera il nuovo intervento nel paesaggio della valle.



Scorcio notturno della balconata del primo piano.

Patriarche & Co., Villa Bourrier, Villeneuve Lès Avignon, Francia, 2005

Dettaglio 2

Prospetto e sezione orizzontale della facciata sud-est.

Descrizione

Il primo piano è interamente giocato sull'alternanza tra vetrate scorrevoli e balconi in legno e acciaio, mentre al piano inferiore prevalgono i toni delle rosse terrecotte dei pannelli di rivestimento modulari e assemblati a secco, sui cui si stagliano più piccole aperture vetrate e porte a battente.

Legenda:

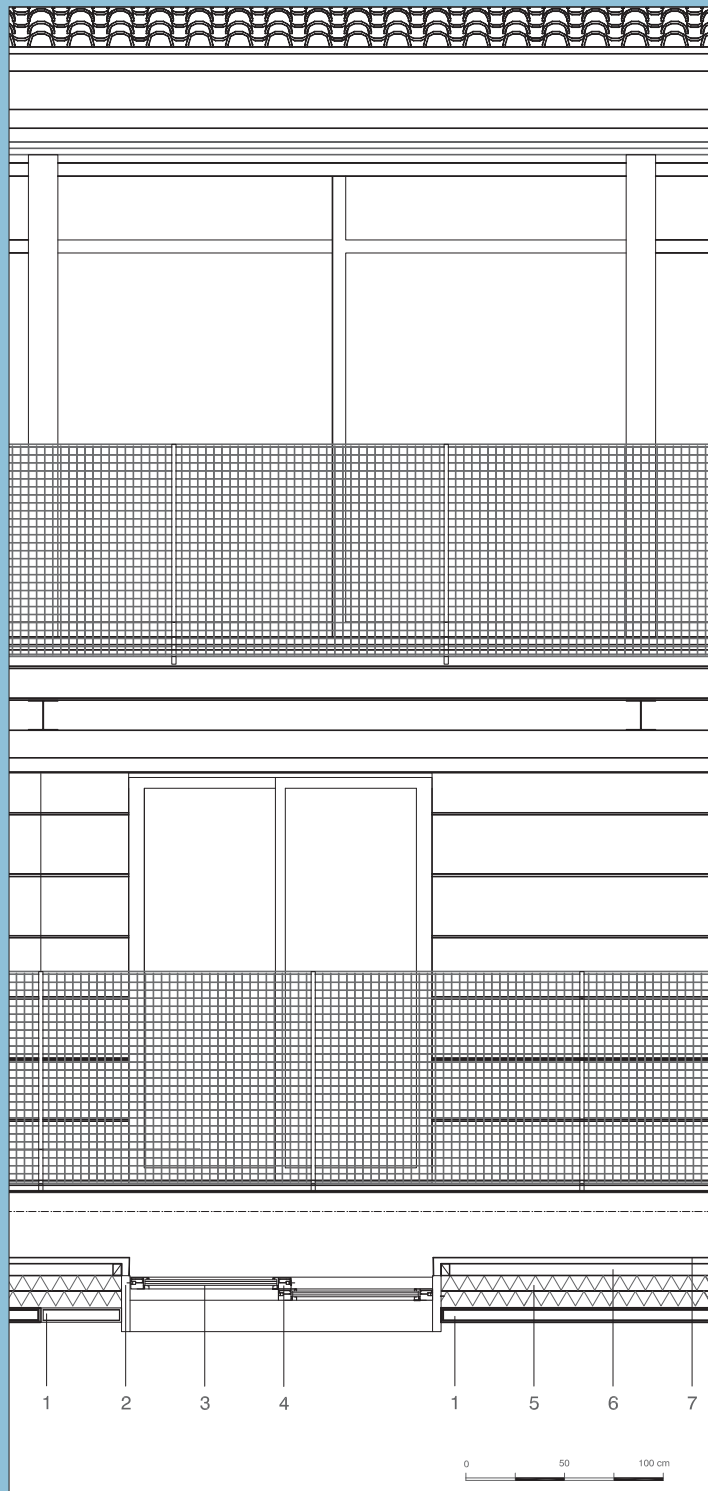
1. tavelle di rivestimento esterno in "cotto" forato, con sezione battentata 300x70 mm
2. profilo in alluminio a vista di cornice del vano della porta-finestra
3. vetrocamera 4/12/4 mm
4. telaio mobile della porta-finestra con due ante scorrevoli
5. doppio strato isolante, spessore 150 mm
6. intercapedine
7. doppia lastra di cartongesso con rasatura a gesso di finitura interna



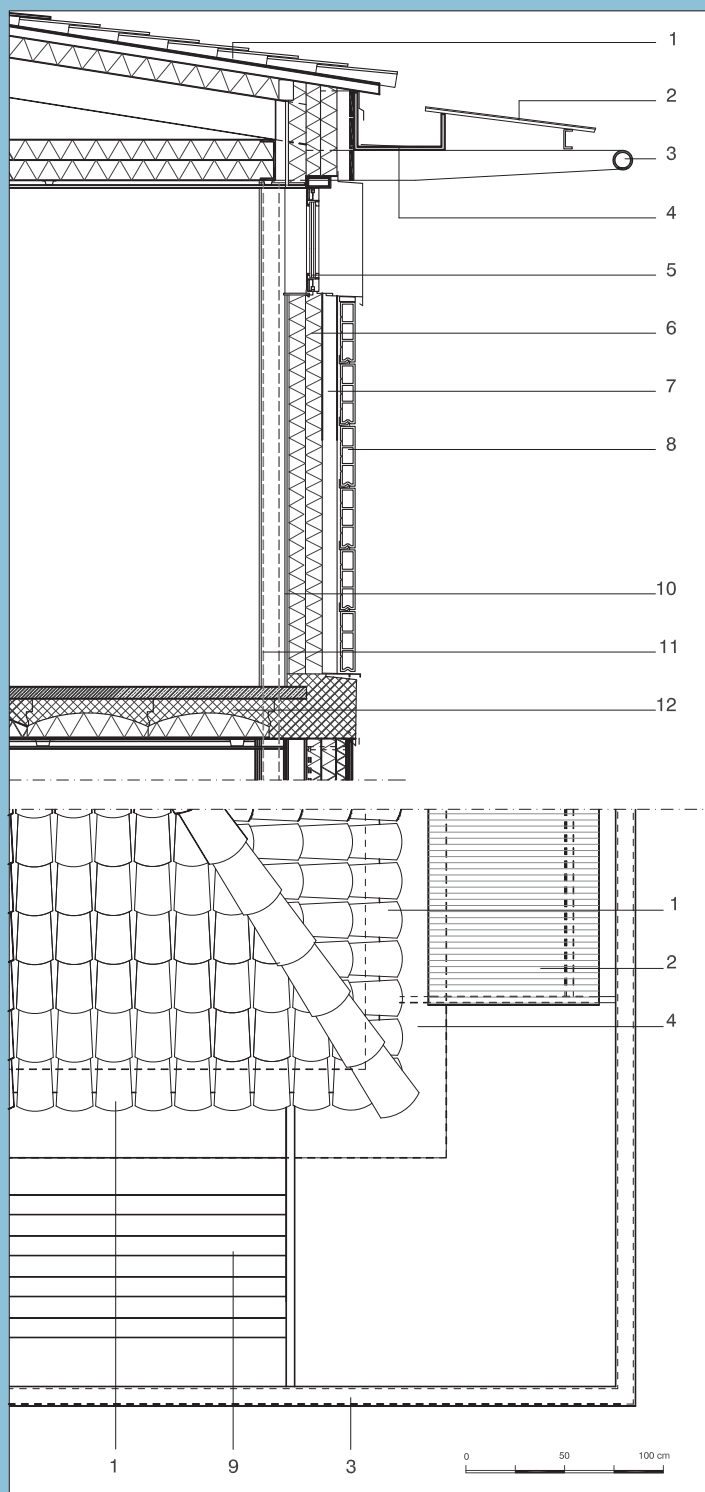
Sezione nord-sud della casa.



Dettaglio dell'angolo, in corrispondenza delle grandi terrazze.



Patriarche & Co., Villa Bourrier, Villeneuve Lès Avignon, Francia, 2005



Dettaglio 3

Sezione sul fronte nord-ovest, verso monte, e pianta della copertura in coppi anticati.

Descrizione

Due differenti sistemi di sporto di gronda sono impostati a caratterizzare i vari lati della casa. Se sul fronte sud-est le balconate raggiungono una profondità di quasi 2 metri e sono presenti per tutta la lunghezza della facciata, sia al primo piano che al piano terra, sugli altri fronti della casa i balconi sono di circa 1,5 metri e in alcuni tratti sono presenti solo al piano inferiore. Similmente, gli sporti di gronda presentano una dimensione di aggetto di 2 m sul fronte principale e 1,2 m sugli altri lati. In tutti i casi, la grondaia in acciaio incornicia il tetto in laterizio e segna l'inizio delle diverse superfici orizzontali periferiche: il *brise soleil* in alluminio sul lato sud-est e le lamiere corrugate sugli altri tre lati. In corrispondenza dei quattro vertici del tetto, il disegno di dettaglio cambia ancora: in questo caso, è il cielo a predominare, incorniciato tra il tubolare più esterno in acciaio e la prima fila di coppi in laterizio.

Legenda:

1. manto di copertura in coppi anticati, posato su lastra ondulata sottotegola in cemento fibrorinforzato
2. sporto di gronda in lamiera grecata
3. mensole di sostegno
4. gronda
5. finestra a nastro
6. doppio strato isolante
7. intercapedine ventilata presente sui fronti verso monte
8. tavelle di rivestimento esterno in "cotto" forato, con sezione battentata 300x70 mm, fissate a secco su profili di alluminio e montanti verticali a "Z" in acciaio zincato 160 mm
9. *brise soleil* fisso
10. doppia lastra di cartongesso
11. pilastri in acciaio
12. solaio in elementi prefabbricati in cls armato e lana di roccia, spessore 200 mm, e soprastante massetto di cemento



Vista dall'alto del tetto a padiglione.

Adolfo F. L. Baratta*

Pixel di laterizio per comunicazioni mediatiche in copertura

In una società che attribuisce una grande importanza all'informazione e all'immagine, anche l'architettura, e in particolare l'involucro, diventa uno strumento di comunicazione. La fotografa austriaca Barbara Krobath ha realizzato un progetto di grande effetto creando in copertura delle immagini con l'impiego di tegole in laterizio, con coda di castoreo a taglio tondo, con l'obiettivo di sensibilizzare le persone su alcuni temi di attualità

Superfici architettoniche mediatiche

Il termine «Comunicazione» deriva dal latino «communico» ovvero mettere in comune, far partecipe, condividere. In generale comunicare significa quindi interagire, mettere in comune o creare una relazione tra due oggetti o persone. La comunicazione ha origini antiche ma la coscienza del potere dei mass-media è più recente e si afferma con la diffusione delle pubblicazioni stampate prima e della televisione poi. Negli ultimi anni i mass-media si sono rapidamente moltiplicati ed hanno fatto proprie numerose innovazioni tecnologiche, modificando strumenti e supporti, arricchendosi di simboli e significati che tendono a connettersi tra loro creando reti complesse e spesso inestricabili. In una società che attribuisce una grande importanza all'informazione e all'immagine, anche l'architettura, proprio per il suo carattere di rappresentazione del contesto contemporaneo, non può esimersi dall'uso della comunicazione come strumento per creare «nuovi tipi di azioni e interazioni e nuove forme di relazioni sociali» e determinare «una complessa riorganizzazione dello spazio e del tempo» [Thompson 1998]. L'architettura si carica, quindi, sempre più di messaggi congruentemente con le pulsioni del tipo di società che intende rappresentare. Per farlo utilizza sia i materiali tipici della tradizione costruttiva, sia quelli mutuati da altri settori produttivi. Poiché l'osservazione di un edificio avviene oggi prevalentemente attraverso l'involucro ecco spiegato perché questo è divenuto l'oggetto più curato tra tutti gli

elementi che costituiscono un fabbricato, tanto che per colpire l'immaginario collettivo è proprio in questa parte dell'edificio che si concentrano le soluzioni innovative più interessanti. Si moltiplicano infatti le architetture che affidano immagine e significato al proprio involucro, piuttosto che alla spazialità interna, facendo emergere una nuova strategia di comunicazione, nuovi significati e nuove «narrazioni». Sulle superfici architettoniche si concentra una notevole quantità di intelligenza, diventando «una membrana interattiva responsabile dello scambio di energia e informazioni con l'intorno» [Zennaro 2008]. In altri termini l'involucro non consiste solo in un diaframma che separa l'interno dell'edificio dal contesto in cui è inserito, ma può diventare interattivo con l'intorno fino al punto da caratterizzarsi visivamente per le immagini fisse o temporanee che possono essere portate o proiettate sulle pareti sia di giorno che di notte. Il risultato sono sistemi di comunicazione, finalizzati principalmente a conferire un significato a un edificio, capaci di impreziosire ma anche di volgarizzare l'architettura su cui si trovano: basti pensare ai grandi schermi che ricoprono alcuni grattacieli di Shanghai o di Hong Kong e che elaborano forme di comunicazione fulminee per fruitori distratti e disturbati dai flussi di traffico. In campo architettonico, relativamente alle immagini fisse, le tecniche che negli ultimi tempi hanno avuto la maggiore diffusione sono la serigrafia e la stampa digitale: la serigrafia consente di restituire delle immagini sui supporti più vari (ceramiche, vetri, metalli) facendo depositare l'inchiostro attraverso le aree libere di un tessuto, mentre la stampa digitale, avvalendosi dei programmi di grafica, consente di trasferire l'inchiostro su ogni supporto in grado di ricevere l'inchiostro dai plotter. L'involucro edilizio diventa quindi un «media» che dalle proprie superfici rivolge l'informazione anche a un pubblico distratto, coinvolto nelle faccende quotidiane, poco incline all'attenzione, tranne quando qualche stimolo inconsueto ne attira l'interesse. Non

In a society where information and image are regarded as vitally important, architecture (and more specifically the building envelope) becomes a major tool for communication. The Austrian photographer Barbara Krobath carried out a very impressive idea, using curved beaver tail tiles to create images on the roof covering, in order to awaken public opinion to some current issues



Sulla copertura della fattoria Himmelsreich a Engelsdorf sono rappresentati cinque adulti africani che soffrono di cataratta.



Sulla copertura dell'edificio spiccano i ritratti di giovani africani.



Una fase di posa in opera del manto di copertura.



Avvicinandosi alla copertura i «pixel» si sgranano e l'immagine appare meno nitida.

v'è dubbio che l'architettura, proprio per il suo carattere di rappresentazione del contesto contemporaneo, non può esimersi dall'uso della comunicazione all'interno dell'attuale società.

Le superfici delle costruzioni diventano un luogo privilegiato per trasmettere messaggi contemporanei.

Coperture in laterizio

Per soddisfare le esigenze dell'abitare, una copertura deve essere in grado di rispondere a una pluralità di richieste prestazionali: proteggere dal freddo nelle stagioni rigide e dal caldo in quelle estive, impedire le infiltrazioni e smaltire le acque meteoriche, resistere alla spinta del vento e al carico della neve, limitare il passaggio dei rumori, non presentare dispersioni termiche localizzate (ponti termici), durare e, quindi, essere facilmente manutenibile e ispezionabile.

Esiste però anche un requisito formale, simbolico, oggi ancor più «importante» poiché nella nostra epoca attuale l'immagine e la comunicazione hanno un ruolo predominante.

I manti di copertura in elementi di laterizio solitamente soddisfano tale requisito con soluzioni che prediligono il rispetto e l'integrazione con il paesaggio circostante; lo stesso laterizio

è però in grado anche di dare delle risposte più originali e innovative: basti pensare alle coperture che si caratterizzano visivamente per la colorazione o per la presenza di immagini. Le operazioni di coloritura nel contesto contemporaneo favoriscono soluzioni appariscenti e chiassose, coerenti con la società che rappresentano, che sovrastano i colori solitamente tenui e composti dell'architettura tradizionale. Relativamente alle immagini, generalmente in copertura vengono riportate delle composizioni astratte, decorazioni geometriche come quelle che caratterizzano, per esempio, la moschea di Kalyan a Bukhara, in Uzbekistan, in cui elementi in laterizio smaltati decorano cupole e minareti. Il tetto diventa quindi un piano testurizzato dagli elementi discontinui che lo costituiscono e in cui possono essere collocate comunicazioni più complesse. Esistono, per esempio, edifici in cui il colore in copertura viene utilizzato per rappresentare un'immagine e restituire un messaggio: basti pensare alla Cattedrale di Santo Stefano a Vienna, in cui 250.000 tegole in laterizio smaltato descrivono lo stemma dell'aquila bicefala degli Asburgo, o a Casa Batllò di Antoni Gaudì, in cui il tetto squamoso acquisisce sembianze zoomorfe di particolare effetto. In questo modo la copertura assume anche un «forte» valore sociale.

Il progetto artistico di Barbara Krobath

In computer grafica con il termine «pixel», contrazione di picture element, si indicano gli elementi puntiformi (quadrati o rettangolari) che compongono un'immagine digitale: solitamente tali punti sono così piccoli e numerosi da non essere distinguibili a occhio nudo. Più pixel vengono utilizzati per rappresentare un'immagine, più alta è la risoluzione e quindi la qualità della foto: per comprendere la tecnica di realizzazione di un'immagine digitale è sufficiente pensare al pixel come alla tessera di un mosaico.

È proprio la tecnica della scomposizione dell'immagine in piccoli elementi quella che impiega Barbara Krobath nelle sue opere più recenti: dopo aver studiato Comunicazione visiva a Essen ed essersi dedicata per anni alla fotografia, la Krobath ha scelto la strada della comunicazione «ricontestualizzata».

Proprio in quest'ottica per partecipare al Festival «ruhe.los», tenutosi nel 2006 nella Bassa Austria, ha realizzato un progetto artistico di grande effetto, visibile anche da considerevole distanza. In stretta collaborazione con un'industria produttrice di tegole in laterizio, sono state create in copertura delle imma-



L'installazione in copertura è visibile anche a notevole distanza.

gini, che l'artista ha raccolto durante un lungo viaggio, dando vita al progetto intitolato «Luce per il mondo».

L'obiettivo è quello di sensibilizzare le persone, su alcuni temi di attualità, attraverso immagini che non passano su uno schermo o sono fisse su una pagina di rivista ma che rimangono impresse nel paesaggio antropizzato. Si tratta di un'immagine allo stesso tempo statica, perché realizzata attraverso l'impiego di un materiale duraturo e permanente, e dinamica, in quanto visibile durante il tragitto in automobile e che quindi sparisce dopo pochi secondi.

«Queste coperture mostrano l'esistenza parallela di armonia e catastrofe in un mondo globalizzato che unisce irrevocabilmente noi e i nostri vicini» dice Martin Olbrich, direttore del marketing dell'azienda produttrice degli elementi in laterizio. Per le sue installazioni Barbara Krobath utilizza tegole, a coda di castoreo a taglio tondo, in laterizio smaltato favorendo l'integrazione tra la tradizione artigianale manifatturiera e le esperienze dell'era digitale. Le quantità di tegole richieste per ognuno dei toni di colore, per esempio, sono state esattamente stimate utilizzando un software appositamente ideato.

Particolare attenzione è stata dedicata anche alla possibile deformazione dell'immagine: infatti, essendo la figura ricostruita con tegole-pixel non quadrate, ovvero di 16x19 cm, su una superficie, la falda, inclinata e non ortogonale al piano in cui si colloca colui che la guarda, è stato necessario apportare opportuni accorgimenti, quali il calcolo e l'applicazione di un fattore di lunghezza laterale di 1:1,87, che ne impedissero l'alterazione. Il «Ritratto di persone della Somalia» si trova sulla copertura della fattoria Himmelsreich a Engelsdorf e mostra cinque adulti africani colpiti dallo stesso destino ovvero con i sintomi della cataratta. Per risolvere il problema dell'opacizzazione del cristallino, che impedisce alle radiazioni luminose di penetrare nell'occhio e porta alla progressiva perdita della vista, è sufficiente un breve (15 minuti) intervento chirurgico che viene eseguito di routine in occidente ma che invece nei paesi più poveri, quale appunto la Somalia, affligge molte persone, soprattutto anziane. La Krobath ha quindi voluto attirare l'attenzione, anche se per i pochi secondi, su questo tema sociale. Per la copertura di proprietà del signor Hermann Klampfer sono state impiegate 6.500 tegole con colorazioni differenti.

Ad Unterthurnau, sempre in Bassa Austria, sul tetto di un mulino a vento, è stato riprodotto il motivo del filo spinato, richiamando alla memoria di molti abitanti i tempi prece-



Il mulino con la riproduzione del filo spinato è un richiamo alla caduta della «cortina di ferro».



Il completamento della copertura.

denti alla caduta della «cortina di ferro» che separava l'Europa in due zone politicamente influenzate/controllate da Stati Uniti e Unione Sovietica. Situato nelle immediate vicinanze del confine con la Repubblica Ceca, il contesto rispecchia le esperienze di una rigida cultura di confine che ha influenzato la percezione che le persone hanno di loro stesse e delle loro vite. Per la realizzazione di questa installazione sono state posate in opera circa 5.500 tegole colorate. Le differenze tra le tegole opache e quelle lucide creano un particolare effetto «mosso», determinato dall'inclinazione dei raggi solari e dalle condizioni meteorologiche in genere. Comunicare qualcosa di assolutamente prezioso non è azione semplice ma l'opera della Krobath risulta al contempo singolare ed efficace. ¶

*Adolfo F. L. Baratta

Ricercatore, Università Roma Tre

Bibliografia

- Bianchetti, F. (2010), «Involucro tra tecnologia e architettura», *Frames*, pp. 2-3.
Fantone, C.R. (2000), «Le coperture di Gaudi», *Costruire in Laterizio*, n. 77, pp. 38-45.
Kapitzki, C. (2010), «When Roofs become screens» in aa.vv. Brick'10, Callwey, München (D).
Lauria, A. (2002), «I manti di copertura in laterizio», Edizioni Laterservice, Roma.
Thompson, J.B. (1998), «Mezzi di comunicazione e modernità», *il Mulino*, Bologna.
Zennaro, P. (2008), «Inconsapevole colore», *Materia*, n. 60, pp. 146-155.



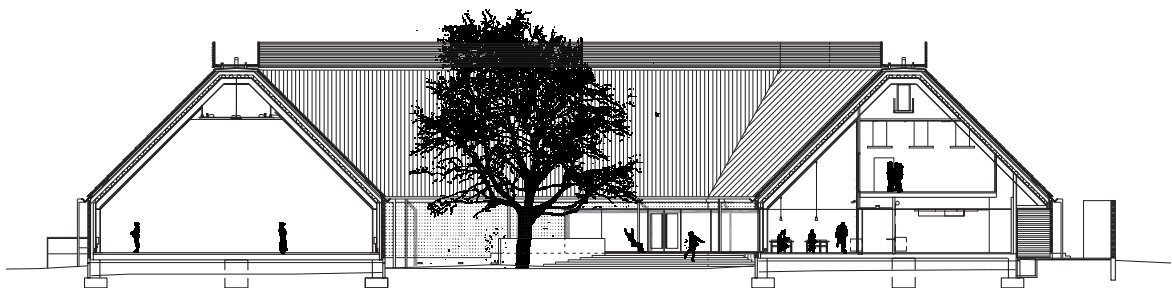




Architettura

Museo dell'agricoltura finlandese, Loimaa

SARC ARCHITECTS





Scheda tecnica

Progetto: SARC Architects, Sarlotta Narjus,
Antti-Matti Siikala, Sasu Marila,
Katriina Sewón, Ville Hara

Volume: 17.380 m³

Cronologia: 2005, fine lavori

Centro per la documentazione del Parco del Tevere, Terni

INSULA ARCHITETTURA E INGEGNERIA





Scheda tecnica

Progetto: Insula Architettura e Ingegneria:
Eugenio Cipollone, Paolo Orsini,
Roberto Lorenzotti
con Francesco Cellini
D.L.: Roberto Lorenzotti, Icaria srl
Collaboratori: Milena Farina, Marco Burrascano,
Renzo Candidi, Alexandra von
Bassewitz, Laura Cambellotti
Restauro: Vanessa Squadroni
Paesaggio: Luca Catalano, Annalisa Metta
Impianti: Quinto Proietti, Marco Luchetti
Imp. fitodep.: Iridra Srl
Importo: 554.993,929 euro
Cronologia: 2007, fine lavori

Langerak housing, Utrecht

MACCREANOR LAVINGTON





Scheda tecnica

Progetto: Maccreevor Lavington
Dimensione: 139 abitazioni monofamiliari
Cronologia: 2001-06, progetto - fine lavori



Insediamiento residenziale, Sestri Levante

ISOLARCHITETTI





Scheda tecnica

Progetto architettonico: Gabetti & Isola,
F. Bruna (1996-2000);
A. Isola, F. Bruna,
S. Isola, V. Morbidelli
(2000-2005)

Progetto urbanistico: FOA Associati
Committente: GEPCO Spa, Genova
(fino al 1999); Sestri
Sviluppo Immobiliare
Srl, Genova

Cronologia:
1996, progetto;
2001, inizio lavori;
2005, realizzazione



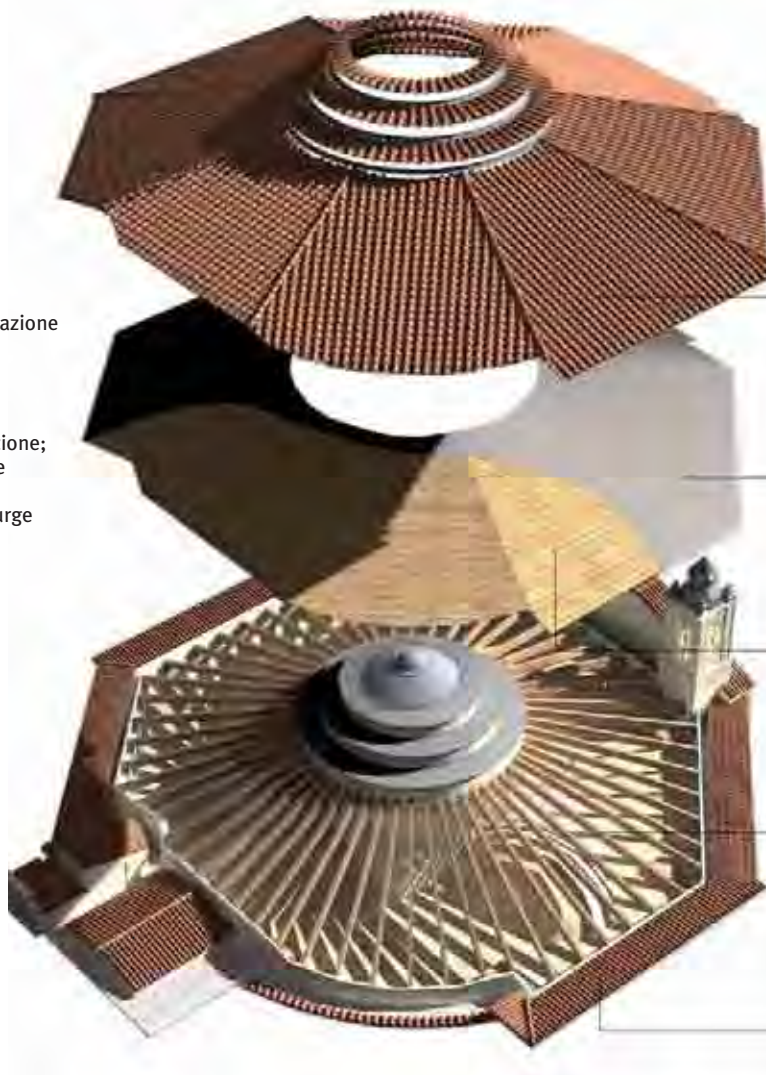
Chiesa di San Michele Arcangelo, Bari

FABIO ARMILLOTTA



Scheda tecnica

Progetto: Fabio Armillotta, in collaborazione con N. Marco Santomauro
 Consulenza: Claudio Varagnoli, aspetti conservativi
 D.L.: Fabio Armillotta
 Sicurezza: Carmela Palmieri, progettazione; Fabio Armillotta, esecuzione
 Dir. cantiere: Pietro dell'Erba
 Impresa: Edil Verde srl, Minervino Murge (Bari)
 Cronologia: 2007, inizio-fine lavori



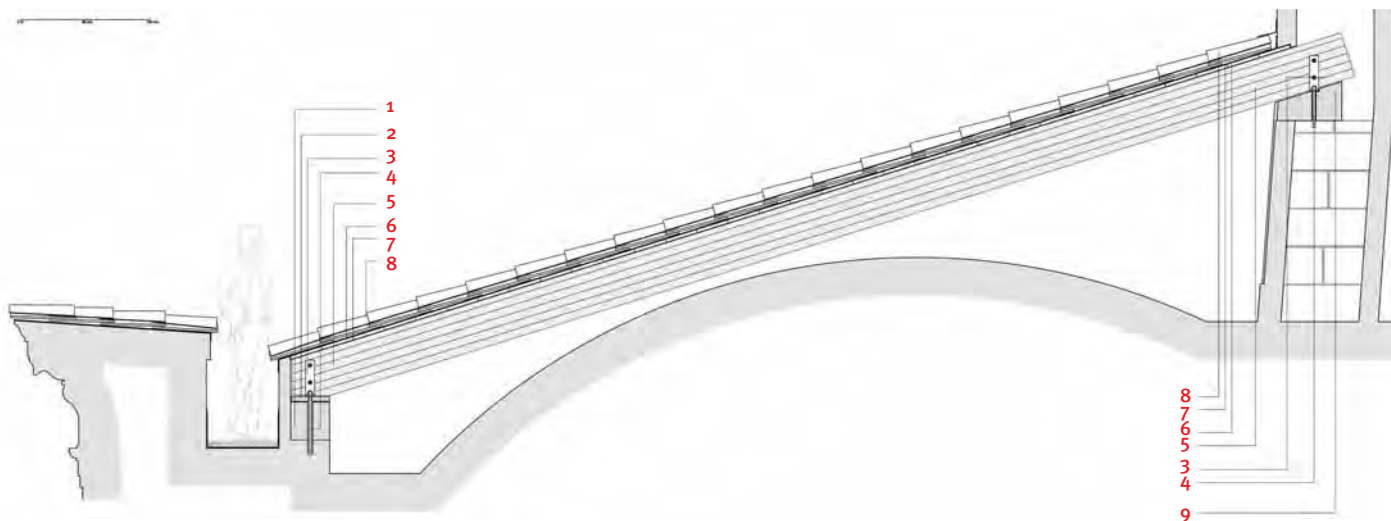
copertura del tetto con coppi alla romana effettuata in parte con materiale di recupero

manto impermeabile con membrana traspirante

tavole in legno di prima scelta con spessore 25 mm

strutture portanti in legno lamellare, rispondenti alle norme DIN 4074

copertura dei cornicioni con coppi alla romana



Sezione di dettaglio della nuova struttura di copertura.

Legenda:

- 1. cordolo di c.a. (sez. 30 x 30 cm)
- 2. tavola di quercia 340 x 300 x 40 cm

- 3. squadretta fissata con $\varnothing 28 \times 180$
- 4. barra filettata M20 (600 mm) fissata con malta cementizia fluida
- 5. travi in legno lamellare (sez. 160 x 360 x 9.000 mm)

- 6. tavolato in abete da 25 mm
- 7. membrana impermeabilizzante traspirante
- 8. manto di copertura in tegole di laterizio
- 9. cordolo in c.a.

Casa Giacomelli, Senigallia

STUDIO ARCHITETTURA CECCARELLI





Scheda tecnica

Oggetto: Casa Giacomelli, risanamento e ricomposizione volumetrica di edifici ex-agricoli
 Località: Senigallia, località Gabriella
 Committente: Fam. Giacomelli
 Progettazione strutturale: Ceccarelli Architettura Desig
 Studio: Fabio Maria Ceccarelli, Marco Maria Ceccarelli, con Sonia Bernacconi, Enrico Quagliarini
 Progetto e realizzazione: 2002-2007
 Dati dimensionali: edifici m² 750/corte m² 50
 Fotografie: Paolo Semprucci (Pesaro)



Piante.





Elementi per coperture



TEGOLE E COPPI

I laterizi per coperture sono particolarmente indicati per proteggere dagli agenti atmosferici i tetti a falde inclinate. In Italia se ne producono di due categorie: le “tegole curve” (o coppi) e le “tegole piane”, che prendono varie denominazioni a seconda della loro conformazione: marsigliese, portoghese, romana (o embrice), olandese. La ricerca aziendale ha portato allo sviluppo di elementi innovativi dando vita a nuove tipologie come la cosiddetta tegola-coppo, la tegola con doppio canale di coperta, quelle di “grandi dimensioni”, ecc. La differenza sostanziale tra le due categorie citate, oltre naturalmente alla forma, è rappresentata dal tipo di giunzione tra elemento ed elemento: mentre per i coppi la tenuta agli agenti atmosferici (che è uno dei requisiti essenziali delle coperture) è affidata alla semplice sovrapposizione dei singoli pezzi, le tegole piane presentano una serie di incastri e risalti sui quattro lati in gradi di assicurare la completa tenuta all’acqua. Grazie alle loro dimensioni ridotte questi prodotti possono adattarsi anche a forme complesse di copertura, consentendo risultati architettonici di tutto rispetto. Si possono produrre in varie colorazioni, sia miscelando opportune diverse qualità di argilla, sia aggiungendo sostanze coloranti, per lo più ossidi naturali, all’impasto, ottenendo in tal modo colori che vanno dal giallo al rosso al testa di moro. Vengono inoltre prodotti tegole e coppi smaltati in vari colori, e tipi “antichizzati”, ai quali cioè viene dato artificialmente quell’aspetto che normalmente il tempo e l’azione di sole, vento e pioggia conferiscono alle coperture. Quest’ultimo tipo di produzione trova sempre più largo impiego negli interventi di restauro e ristrutturazione.



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: Museo dell'agricoltura finlandese, Loimaa, SARC ARCHITECTS.

In seconda di copertina: House LT, Meerhout, Belgio, (broekx-schiepers architects) schizzi della copertura.

Indagine sui difetti costruttivi negli edifici della Toscana occidentale mediante lo studio dei contenziosi giudiziari, N. Gucci, P. Bartolo, M. Sassu, L'industria dei Laterizi n. 99, maggio-giugno 2006.

Prestazioni termiche estive: confronto tra tetti a falda e coperture piane", Giovanni Zannoni, Marco Bortoloni, Michele Bottarelli, Costruire in Laterizio n. 158, giugno 2014.

Manti di copertura in laterizio: soluzioni per il comfort termo igrometrico, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna, Emanuele Recanatini, Edizioni Laterservice 2010.

Manti permeabili per tetti "traspiranti", Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, Costruire in Laterizio n. 158, giugno 2014.

Influenza delle proprietà radiative del manto sul comportamento termico di sistemi di copertura, Elisa Di Giuseppe, Angela Orciari, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna, Costruire in Laterizio n. 130, Luglio/Agosto 2009.

Laterizi ed «isola di calore»: strategie cool nella tradizione, Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, Costruire in Laterizio n. 150, Dicembre 2012.

Isola di calore e surriscaldamento estivo: cool colors in laterizio", Chiara Ferrari, Antonio Libbra, Alberto Muscio, Cristina Siligardi, Costruire in Laterizio n. 158, giugno 2014.

Impianti fotovoltaici:produttività ed applicazioni, M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, S.Basile,Newsletter delle Coperture n. 37, febbraio 2012 (http://www.copertureinlaterizio.it/COP/newsletter/n037/NEWS_1.pdf).

Energia dal tetto in laterizio: i sistemi solari in copertura, M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, S.Basile, Newsletter delle Coperture n. 35, novembre 2011 (http://www.copertureinlaterizio.it/COP/newsletter/n035/NEWS_2.pdf).

Energia dal tetto con i sistemi solari: valutazione sperimentale delle prestazioni, Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna, Costruire in Laterizio n. 150, Dicembre 2012.

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.

Il profilo ambientale delle coperture in laterizio, Caterina Gargari, Elisa Innocenti, Elisabetta Palumbo, Costruire in Laterizio n. 138, nov./dic. 2010.

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

La forma del tetto e la durabilità , Newsletter delle Coperture n. 50, Maggio 2013 (http://www.copertureinlaterizio.it/COP/newsletter/n050/NEWS_2.pdf).

Una copertura tra innovazione e tradizione, Alessandra Zanelli, Costruire in Laterizio n. 138, nov./dic. 2010.

Pixel di laterizio per comunicazioni mediatiche in copertura, Adolfo F. L. Baratta, Costruire in Laterizio n. 153, Giugno 2013.

Sarc Architects - SARKA, museo dell'agricoltura finlandese a Loimaa, Finlandia, Alberto Ferraresi, Costruire in Laterizio n. 138, nov./dic. 2010.

Insula Architettura e Ingegneria - Centro per la documentazione del Parco del Tevere, Terni, Roberto Gamba, Costruire in Laterizio n. 138, nov./dic. 2010.

Maccreeanor Lavington - Langerak housing, Utrecht, Olanda, Alberto Ferraresi, Costruire in Laterizio n. 138, nov./dic. 2010.

Isolarchitetti Insediamiento residenziale a Sestri Levante (Ge), Laura Guglielmi, Costruire in Laterizio n. 116, mar./apr. 2007.

Restauro della chiesa di San Michele Arcangelo a Minervino Murge (Bari), Cristina Santacroce, Costruire in Laterizio n. 138, Novembre/Dicembre 2010.

Studio Architettura Ceccarelli - Casa Giacomelli a Senigallia, Veronica Dal Buono, Costruire in Laterizio n. 150, Dicembre 2012.



LATERIZIO.it

**COSTRUIRE
IN LATERIZIO**

