

L’affidabilità estetica dei manti di copertura

L’elemento che domina il paesaggio italiano è indubbiamente il “rosso laterizio” delle coperture. Per questo motivo, molti materiali alternativi cercano di imitarle riproducendone colore e fattezze. Tra questi vi sono le tegole in cemento, in merito alle quali un’indagine sperimentale pone alcune questioni in relazione alla durabilità del rivestimento superficiale e quindi alla loro affidabilità estetica

centri storici italiani e, più in generale, il paesaggio di molte zone del Paese sono fortemente caratterizzati, in termini di immagine, dal rosso del “cotto” utilizzato per le coperture. Proprio la consapevolezza delle conseguenze che una eventuale sostituzione di tale materiale potrebbe comportare sul paesaggio ha portato allo sviluppo di regolamentazioni che impongono il mantenimento di determinate tipologie di manto.

Questo tipo di orientamento culturale, il fatto cioè che l’elemento dominante, in termini paesaggistici, sia principalmente il colore rosso, con diverse gradazioni, del manto, ha spinto molte aziende a proporre prodotti alternativi al laterizio. Oggi sono infatti presenti sul mercato numerose tipologie di coppi e tegole apparentemente simili a quelle in “cotto”, ma realizzate con materiali diversi: cemento, leghe metalliche, materiali plastici.

Le tegole in cemento, in particolare, sono quelle che hanno avuto sino ad oggi la maggiore diffusione. Si tratta di prodotti (prevalentemente impiegati in Francia e Germania) realizzati per stampaggio di una miscela costituita da leganti di natura cementizia, inerti e pigmenti. Mentre nel passato questa particolare tipologia di elementi per copertura manteneva al suo interno la tipica colorazione grigia del cemento e veniva cromaticamente trattata solo in superficie, oggi è quasi sempre colorata anche in pasta. L’effetto cromatico superficiale viene ottenuto con ossidi fissati con trattamenti termici al substrato o con pigmenti di varia natura connessi con leganti organici al supporto. Oltre alle tegole in cemento, vengono proposti anche altri prodotti quali le leghe metalliche ed i materiali plastici. Le prime, in realtà, tendono ad imitare solo la forma del manto visto che, a livello di immagine, mantengono comunque un aspetto estetico molto differente dal “cotto”, presentandosi sotto forma di lastre sagomate a imitazione dell’andamento “a onde” del



1. Copertura degli anni '70 e '80 realizzata con tegole in cemento colorate superficialmente, che, a distanza di anni, presenta zone nelle quali risulta visibile il colore di base sotto lo strato pigmentato.

manto. I secondi sono, invece, utilizzati solitamente come complemento per la realizzazione di parti di raccordo, nelle coperture a falde, di accessori tecnici, quali pannelli solari, fotovoltaici, ecc.

L’effetto immagine e il risultato cromatico vengono ricercati da questi materiali grazie a trattamenti superficiali, spesso di spessori molto modesti (decisamente inferiori al millimetro), aspetto, questo, che pone alcune questioni in merito alla durabilità dei rivestimenti stessi (fig. 1).

Sulla scorta di tali considerazioni, è stata condotta (presso il Dipartimento DACS dell’Università Politecnica delle Marche, Ancona) un’attività sperimentale che ha tentato di ricreare alcune delle possibili sollecitazioni ambientali cui può essere soggetto un manto di copertura. Superando il tradizionale concetto che porta a considerare la durabilità di quest’ultimo solo in termini di resistenza al gelo (che ovviamente non tiene conto delle variazioni cromatiche e/o estetiche dello strato di finitura), si è simulata l’esposizione di materiali di diversa natura (laterizio e cemento) a diverse

condizioni atmosferiche in modo da verificare eventuali cambi di aspetto degli stessi. In primo luogo, si è riprodotto l'effetto di una esposizione ciclica a *stress* termici, igrometrici ed a raggi UV, utile per valutare l'invecchiamento di eventuali componenti organici presenti (ad esempio, leganti per gli strati di finitura) e la possibile perdita degli ossidi di pigmentazione in essi contenuti.

Successivamente, sono state effettuate *thunder-shower*, atte a ricreare lo *stress* differenziale (in senso meccanico) a cui può essere soggetto un sistema di finitura quando viene esposto a temperature elevate (soleggiamento) e immediatamente raffreddato per l'effetto di una pioggia estiva (prova tipica eseguita su rivestimenti per il recupero di supporti cementizi). Infine, si è simulato l'effetto di una esposizione ciclica in ambiente umido e ricco di sali ("nebbia salina") ed a successive essiccazioni (ambiente marino soleggiato) con conseguenti fenomeni di cristallizzazione. I risultati hanno evidenziato come alcune delle sollecitazioni cui sono stati sottoposti i materiali indagati siano capaci di alterarne l'aspetto in modo significativo: per alcuni prodotti si sono registrate scoloriture e opacizzazioni, oltre che modifiche nelle prestazioni.

I materiali provati Rilevata la maggiore diffusione sul mercato dei prodotti a base di cemento, come possibile alternativa al laterizio, si è scelto di limitare il confronto tra le due tipologie alla verifica della durabilità dei sistemi di finitura superficiale utilizzati per tali prodotti. Sulla base di un'attenta analisi della letteratura tecnica, che ha permesso di evidenziare le diverse modalità con cui vengono realizzati gli strati di finitura superiore, si sono selezionati 8 prodotti. I primi 4 sono elementi in laterizio: una tipologia senza alcun trattamento superficiale (posta come confronto), due "anticati" con ingobbio a spruzzo ed uno "anticato" con ingobbio spruzzato e polveri solventi. Il secondo gruppo di 4 prodotti è costituito da tegole in cemento con diverse tipologie (sulla base di quanto dichiarato dalle aziende) di trattamenti superficiali. In tabella 1 è riportato il codice identificativo di ogni prodotto sottoposto ad analisi.

La metodologia adottata Generalmente, quando si parla di verifica di durabilità per le tegole (siano esse in cemento o in "cotto") ci si riferisce alla sola resistenza al gelo. Esiste su questo tema, infatti, una letteratura consolidata e vengono effettuati normalmente dalle aziende continui controlli qualitativi sui prodotti (anche in virtù delle norme per la marcatura CE) volti a verificarne l'idoneità. Meno consolidata è, invece, la letteratura relativa alla durabilità intesa come "affidabilità estetica" (mantenimento dei caratteri cromatici originari), in particolare dei sistemi di finitura superficiale adottati per le tegole. Esiste, invece, una ricca documentazione specifica su questa caratteristica per i rivestimenti, indipendentemente dal supporto di applicazione, al punto che risultano consolidate le tipologie di prova per invecchiamenti, sia naturali (esposizione al vero) che accelerati. Una rassegna significativa delle diverse metodiche è stata effettuata, tra gli altri, da [Lane, 1998].

Le metodiche di invecchiamento artificiale, ormai collaudate e accettate, per i rivestimenti tendono a ricreare due possibili condi-

1 Prodotti analizzati nel confronto, in termini di durabilità, tra coperture in laterizio ed in cemento.

tipo di prodotto	codice identificativo	classe
laterizio	1	laterizio non trattato
laterizio con ingobbio	2	ingobbio spruzzato
	3	ingobbio spruzzato
	4	ingobbio spruzzato e polveri solventi
cemento con diverse tipologie di trattamento superficiale	5	finitura in resina
	6, 8	finitura ceramicata
	7	finitura di vernice a fresco

zioni (anche combinate tra loro):

- *stress* ciclici che ripropongono, con maggiore velocità e diversa intensità, variazioni di stato (temperatura, umidità relativa, ecc.) che possono avvenire nell'ambiente reale;
- *stress* non ciclici che hanno lo scopo di fornire il "carico" massimo atteso per il periodo considerato (ad esempio, specifiche componenti della radiazione solare).

Sulla scorta della letteratura esistente, si è scelto di utilizzare, nello svolgimento dell'indagine, una combinazione di questi due metodi. In particolare, si sono prese a riferimento metodiche di invecchiamento volte a ricreare alcuni possibili *shock* ambientali:

- *thunder-shower*;
- cicli termoigrometrici + UV;
- prove in nebbia salina.

Il metodo di prova "*thunder-shower*" è un metodo di invecchiamento di tipo ciclico che permette di analizzare gli effetti di un improvviso *shock* termico di raffreddamento a seguito di un condizionamento ad alte temperature. La situazione reale di tale gravosa sollecitazione corrisponde agli intensi ed improvvisi temporali estivi in giornate particolarmente calde ed in luoghi nei quali la radiazione solare sia elevata (ad esempio, nel sud Italia). Il metodo di prova, indicato dalla UNI EN 13687-2: 2003, viene applicato generalmente nella valutazione della resistenza all'adesione al supporto dei sistemi protettivi per opere in cemento armato, ma più in generale laddove sia necessario imporre uno *stress* termico superficiale. Si è scelto di condurre la prova come indicato dalla UNI EN 13687-2: 2003, con un condizionamento a $60 \pm 5^\circ \text{C}$ intervallato da spruzzi di acqua alla temperatura di $12 \pm 3^\circ \text{C}$ con una differenza di $48 \pm 5^\circ \text{C}$ tra le due situazioni. Il ciclo di prova è stato ripetuto in modo da riprodurre l'effetto di circa 20 anni di esercizio in zone ad elevato irraggiamento.

La seconda tipologia di prova è consistita nell'esposizione dei provini ad un processo di invecchiamento artificiale in un'apparecchiatura dotata di lampade UV e in grado di produrre *stress* termici (gelo/disgelo) e condensazione (UNI EN ISO 11341: 2005). La prova, di tipo ciclico, in camera climatica, permette di simulare una porzione piccola, ma distruttiva, dello spettro solare (è trascurata la radiazione nel visibile e nell'infrarosso), senza surriscaldare il provino ad una temperatura maggiore di quella dell'aria circostante,



2. Posizione di una serie di provini nell'apparecchiatura per il test in nebbia salina.

simulando condizioni di invecchiamento artificiale e repentino. Per questo, si è utilizzata una camera Challenge CH250 Angelantoni con un ciclo di prova così articolato: 2 h e 33 m ($-20 \pm 2^\circ \text{C}$); 1 h ($55 \pm 2^\circ \text{C}$, 95% RH umidità relativa); 1 h e 18 m UV ($60 \pm 2^\circ \text{C}$, 20% RH). Sono stati eseguiti 150 cicli in conformità allo standard europeo della UNI EN 539-2: 2006 (metodo E), anche se esso si riferisce a studi di solo gelo e disgelo. Si sono create, in particolare, interruzioni ogni 30 cicli per le misure di rilievo.

L'ultima tipologia di prova condotta è stata quella in nebbia salina. Si tratta di una esposizione di provini in una camera (NSS) in cui viene atomizzata una soluzione di cloruro di sodio al 5% per un tempo di 650 ore circa (UNI EN ISO 9227:2006). Sebbene si tratti di una tipologia di prova tipicamente utilizzata per i rivestimenti pittorici su superfici metalliche, è stata scelta in quanto permette, con opportuni accorgimenti, di creare cicli di umidificazione ed essiccazione tali da ottenere l'assorbimento di acqua contenente sali da parte delle tegole e la successiva evaporazione della stessa con cristallizzazione salina sulla superficie del rivestimento o sotto di essa. I provini sono stati disposti nella camera su supporti metallici con angolazione compresa tra 15° e 25° dalla verticale (UNI EN ISO 9227:2006), in modo da permettere la libera circolazione della nebbia (fig. 2) ed evitare scollature per sovrapposizione.

Alla fine di ogni gruppo di cicli ed al termine delle prove di invecchiamento, si sono condotte valutazioni cromatiche, gravimetriche e di assorbimento d'acqua sui provini testati.

Per le variazioni cromatiche, sono state effettuate misure di riflettanza nell'intervallo 360-740 nm (con risoluzione 10 nm) per mezzo di spettrofotometro Konica Minolta CM2600D.

L'eventuale viraggio cromatico è stato calcolato utilizzando la grandezza ΔE^* in accordo con lo spazio colore CIE $L^*a^*b^*$ (L è la luminosità; "a" e "b" sono le coordinate nello spazio colore) definita da: $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$

La valutazione di ΔE^* è stata fatta seguendo la scala proposta dal CIE:

- $\Delta E^* < 2$ variazione minima - impercettibile
- $2 \leq \Delta E^* < 5$ variazione accettabile
- $\Delta E^* \geq 5$ variazione non accettabile.

Al fine di rilevare eventuali perdite in peso dei provini per l'intervento di danni meccanici, gli stessi sono stati pesati ad ogni *step* su una bilancia avente precisione pari a 0,001 g. Si sono effettuate anche misurazioni alle condizioni estreme, campione secco e saturo, dopo ciascuna serie di cicli di sollecitazione, avendo cura che, durante il rilievo, temperatura ed umidità dell'ambiente rimanesse costante in modo da evidenziare variazioni di massa riferibili solo allo stato igrometrico del campione. In aggiunta, si è ritenuto, al fine di valutare le modifiche intervenute sullo strato superficiale per quanto riguarda la capacità di assorbimento, di dover effettuare una procedura tipicamente impiegata per la valutazione del comportamento igrometrico della superficie dei materiali lapidei nel restauro (efficacia degli interventi di protezione), consistente nel misurare il tempo necessario ad una goccia di acqua da 6 μl per essere assorbita dal materiale. Si è operato, infine, un confronto dei tempi di assorbimento sui provini alla fine delle 3 prove di invecchiamento.

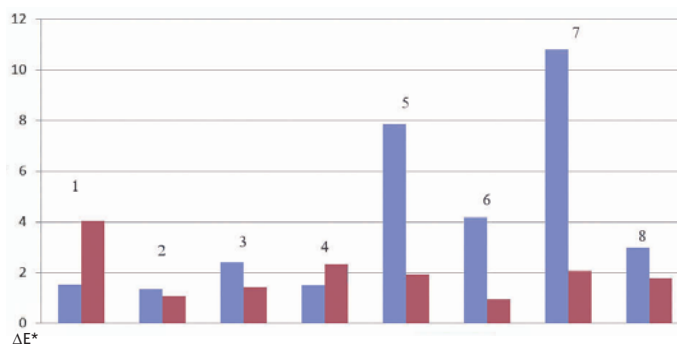
I risultati La fig. 3 illustra, per i diversi materiali, gli effetti, in termini di viraggio cromatico, generati dall'esposizione a cicli termogrametrici con raggi UV e dalla prova *thunder-shower*.

Si ricorda che un $\Delta E^* < 2$ significa impercettibilità all'occhio umano ed un $\Delta E^* \geq 5$ corrisponde, invece, al superamento del limite di accettabilità.

Osservando i risultati della prima tipologia di prova, si evidenzia una netta differenza di comportamento tra le tegole in laterizio e quelle in cemento. È evidente come queste ultime, tutte trattate in superficie, subiscano fortemente gli effetti di una esposizione combinata ai raggi UV e a cicli di gelo-disgelo: infatti i ΔE^* superano la soglia dell'accettabilità a causa di una evidente modifica della finitura.

Le variazioni maggiori (critiche) interessano, infatti, proprio i prodotti 5, 6 e 7.

La prova tipo *thunder-shower* non appare aver prodotto, invece, significative alterazioni cromatiche sulle superfici. I ΔE^* rilevati sono tutti modesti e, tranne in un caso (campione n. 1), inferiori alla soglia di visibilità dell'alterazione da parte dell'occhio umano.



3. Schema riepilogativo della variazione cromatiche al termine delle prove. I prodotti sono stati identificati con i numeri da 1 a 8. Il numero 1 (laterizio non trattato) è il primo a sinistra; i numeri 2, 3, 4 corrispondono a tegole in laterizio con ingobbio; gli ultimi 4 sono riferiti a tegole in cemento con diversa tipologia di trattamento superficiale.

■ camera stress termico ■ thunder shower

Per quanto riguarda le tegole in cemento, ciò presumibilmente è dovuto al fatto che il trattamento superficiale, atto a riprodurre la colorazione del laterizio, riduce la capacità di assorbimento di acqua da parte dei supporti e, pertanto, la prova è stata limitatamente invasiva. Anche per le tegole con ingobbio (in laterizio) si è manifestato lo stesso comportamento. Tuttavia, questa tipologia di prova ha evidenziato come uno *stress* termico prodotto da un temporale estivo sia capace di amplificare eventuali difetti superficiali originari presenti sui prodotti testati (ad esempio, inclusioni per impurità), tanto per le tegole in cemento che per gli elementi da copertura in laterizio. Un aspetto rilevante emerso durante le prove riguarda il fatto che un particolare tipo di tegole in cemento (campione n. 6), oltre a mostrare viraggi cromatici, ha manifestato anche una variazione nella capacità di assorbimento d'acqua.

La fig. 4 riporta per il campione 6A la forma di una goccia di acqua dopo 30 secondi dall'applicazione sul supporto, sia su un provino non invecchiato, sia su uno invecchiato. È evidente come la tegola, oltre a presentarsi di colore più chiaro, manifesti anche una significativa riduzione dell'impermeabilità superficiale causata dall'alterazione dello strato di rivestimento superiore.

Sui campioni sui quali si erano manifestate tali problematiche sono stati condotti *test* di permeabilità, con un battente idrostatico di 100 mm di acqua per 48 ore, come da norma UNI EN 539-1, i quali hanno confermato questo tipo di alterazione dello strato superficiale.

Conclusioni L'insieme delle prove condotte ha evidenziato comportamenti nettamente differenziati tra le varie tipologie di prodotti esaminati. I campioni in laterizio naturale (senza ingobbio) non hanno manifestato alterazioni di nessun tipo, ma solo, come ovvio, viraggi cromatici corrispondenti ai diversi stati di umidificazione durante le prove. Ad essiccamento effettuato, i ΔE^* rilevati per queste tipologie di prodotti sono sempre stati, comunque, modesti al punto da non essere rilevabili ad occhio nudo. Viceversa, i campioni trattati superiormente (ingobbio) e, soprattutto, alcune tipologie di tegole in cemento, dopo aver subito le sollecitazioni di laboratorio ed essere stati riportati nelle condizioni originarie per le misure, hanno manifestato variazioni cromatiche rilevabili anche ad occhio nudo e, in alcuni casi, al di sopra della soglia definita di accettabilità. In particolare, nel caso di esposizione in camera a *stress* termoigrometrico + raggi UV si sono riscontrati danni significativi al rivestimento superiore. Si sono registrati, in particolare, importanti schiarimenti della superficie, opacizzazione della stessa ed anche un cambio di morfologia. Un ulteriore aspetto osservato riguarda il fatto che, a tale cambiamento cromatico, è corrisposta anche una variazione della capacità di assorbimento superficiale per alcune tipologie di tegole in cemento. Quest'ultima criticità è particolarmente rilevante perché viene fondamentalmente alterato il comportamento del materiale da copertura in presenza di eventi piovosi. Ne deriva pertanto che, per alcuni prodotti, si pongono ancora problemi relativi alla possibile durata in opera ed alla capacità di mantenere inalterati nel tempo componente estetica e prestazioni. ¶



4. Prova di assorbimento su tegola di cemento (tipo 6A): a sinistra sul campione invecchiato, a destra, in alto (riquadro), su quello non invecchiato.

Bibliografia

- [1] M. Labanti, L. Agostini, M. Marsigli, *Sviluppo e validazione di un metodo unico a livello europeo per la valutazione della durabilità di prodotti per coperture in laterizio*, Architettura e tecnica delle coperture, Ancona, 2006.
- [2] M. Labanti, L. Agostini, M. Marsigli, *Prove di resistenza al gelo su prodotti per coperture in laterizio secondo la revisione della norma UNI EN 539-2*, L'Industria dei Laterizi, 2004.
- [3] M. Labanti, L. Agostini, M. Marsigli, *Verifica sperimentale della revisione della norma UNI EN 539-2 relativa alla prova di resistenza al gelo su prodotti di coperture in laterizio*, L'Industria dei Laterizi, 2004.
- [4] G. Wardeh, B. Perrin, *Freezing – thawing phenomena in fired clay materials and consequences on their durability*, Construction and building materials, 2007.
- [5] T. Marshall, R.F. Herzog, S.J. Morrison, S.R. Smith, *Hail damage to tile roofing*, Proceeding of 22nd Conference on Severe Local Storms, P9.2, Hyannis, MA, 2004.
- [6] A. Drechsler, *Multiple-layer extrusion gives high-quality roof tile surfaces*, Concrete pre-casting Plant-BFT, n. 7, pp. 44-48, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, Germany, 2004.
- [7] A.A. Almusallam, F.M. Khan, S.U. Dulaijan, O.S.B. Al-Almoudi, *Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability*, Cement and Concrete Composites 25, pp. 473-481, 2003.
- [8] D.C. Park, *Carbonation of concrete in relation to CO₂ permeability and degradation of coatings*, Construction and building materials, 2008.
- [9] S.G. Lane, *Real-Time Weathering as a Test for Evaluating Paint Coatings*, Metal Finishing, Volume 98, Issue 6, pp. 546-558, 2000.
- [10] F.X. Perrin, M. Irigoyen, E. Aragon, J.L. Vernet, *Evaluation of accelerated weathering tests for three paint systems: a comparative study of their ageing behaviour*, Polymer Degradation and Stability 72, pp. 115-124, 2001.
- [11] B.W. Johnson, R. McIntyre, *Analysis of test methods for UV durability predictions of Polymer coatings*, Progress in Organic Coatings 27, pp. 95-106, 1996.
- [12] L. Basheer, J. Kropp, D.J. Cleland, *Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review*, Construction and building materials 15, pp. 93-103, 2001.
- [13] G. Fagerlund, *The international cooperative test of the critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete*, Mater Struct 10, p. 58, 1977.
- [14] C. Egger, *Pigments for colouring building materials based on cement and/or lime*, Concrete Precasting Plant-BFT, n. 7, pp. 36-44, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, Germany, 2002.
- [15] G. Zannoni, *Superficialmente parlando*, Il tetto, n. 77, pp. 28-30, BE-MA, Milano, 2001.
- [16] A. Scarpa, *Il cemento: artificio o natura?*, Il tetto, n. 80, pp. 13-15, BE-MA, Milano, 2002.
- [17] G. Zannoni, *Tegole di cemento: specifiche di prodotto e metodi di prova*, Il tetto, n. 81, pp. 10-12, BE-MA, Milano, 2004.
- [18] V. Galimberti, *Coperture con manto in tegole*, Il tetto, n. 82, pp. 4-6, BE-MA, Milano, 2005.
- [19] A. Scarpa, *Naturale come le tegole in cemento*, Il tetto, n. 82, pp. 8-11, BE-MA, Milano, 2005.
- [20] J. Ranogajec, S. Radosavljević, R. Marinković-Nedućin, B. Zivanović, *Chemical Corrosion Phenomena of Roofing Tiles*, Ceramic International 23, 1997.
- [21] S.E. Chidiac, W.L. Repette, N.P. Mailvaganam, J.F. Masson, *Damage predictive model for coating on concrete*, Durability of Building Materials and components, 7 Volume One, Proceeding of the Seventh International Conference on Durability of Building Materials and Components, 7DBMC, Stockholm, Sweden, 1996.
- [22] H. Kuenzel, *Present-day strain on clay and concret roofing tiles for roofing purposes*, IBP-Mittelug, v. 27, n. 371, p. 2p, Fraunhofer-Istitut für bauphysik IBP, 2000.