

L'affidabilità estetica dei manti di copertura

DI/BY M. D'ORAZIO, I. PERSICO, K. PEPE
DACS, UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE (AN)

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.

INTRODUZIONE

I 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

THE AESTHETIC RELIABILITY OF ROOF COVERINGS

The element that dominates the Italian landscape is undoubtedly the "brick-red" colour of roofs. For this reason, many alternative materials try to imitate their colour and features.

Among these, are concrete tiles which are the object of experimental investigation in relation to the durability of the covering and hence, to its aesthetic reliability.

INTRODUCTION

Italian historical town centres and, more generally, the landscape of many parts of this country, are strongly characterized, in terms of image, by the red of the "cotto" tiles used to cover the roofs. And it is exactly the awareness of the consequences on the landscape of a possible replacement of such material, that have led to special regulations addressed to the maintenance of certain types of roof coverings.

This type of cultural orientation, the fact that the dominant element in the landscape, is mostly the red of the roofs, to varying degrees, has led many companies to propose alternatives to clay materials. Today, numerous types of roof tiles are present on the market which look similar to "cotto", but are made with different materials: concrete, metal alloys, plastics. Cement tiles in particular, are those that have become much more common. These products (mainly used in France and Germany) are made by moulding a mixture of cement binding agents, aggregates and pigments.

While in the past this type of roofing units were gray inside (the typical gray colour of cement) and were chromatically treated only on their surface, full-body coloured units are generally available today. The



Fig. 1 - Coperture degli anni '70 e '80 realizzate con tegole in cemento colorate superficialmente, che, a distanza di anni, presentano zone nelle quali risulta visibile il colore di base sotto lo strato pigmentato.
Roofs dating back to the '70s and '80s, made with tiles whose surface has been coloured: years later, these roofs show areas where the base colour is visible under the pigmented surface layer.

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. La colorazione superficiale viene ottenuta con ossidi legati 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 manto. I secondi sono, invece, utilizzati solitamente come complemento per la realizzazione di elementi 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 simulato l'effetto di una esposizione ciclica a stress termici, igrometrici ed a raggi UV, utile per valutare l'invecchiamento di eventuali componenti

surface colour is obtained using oxides which are heat-treated and applied to the substrate or with pigments of various kinds treated with organic binders.

In addition to concrete, other products are also proposed such as metal alloys and plastic materials. The first type, in fact, tends to imitate only the shape of the roof covering (slabs moulded to resemble the "waving" pattern of roof tiles after laid) seen that these tiles still maintain a very different aesthetics compared to "cotto" roof tiles. The second type of elements, however, are usually employed as a complement for the construction of connecting elements, in pitched roofs, architectural details and accessories, such as solar panels, photovoltaic systems, etc. The resulting appearance and colour are defined by treating the surface of these materials, often very small in thickness (much less than a millimetre), with some questions about the durability of the roof covering (fig. 1).

On the basis of these considerations, an experimental research was conducted (at the DACS Department of the Polytechnic University of Marche, Ancona) which aimed to recreate some of the possible environmental stresses a roof covering may be subject to. Going beyond the traditional concept that leads us to consider the durability of a roof covering only in terms of its resistance to frost (which obviously does not consider changes in colour and/or appearance of a finish layer), the exposure of materials of different nature (clay and cement) at different weather conditions, was simulated in order to assess changes in their appearance. First of all, the effect of cyclic exposure to heat stresses, hygrometry and UV rays was simulated, for assessing the aging of any organic components present (for example, binding agents for the finishing layers) and any loss of pigmentation oxides eventually present in the binding agents.

Subsequently, thunder-shower tests have been carried out, to recreate the (mechanical) differential stress that a finish

Tab. 1 - Prodotti analizzati nel confronto, in termini di durabilità, tra coperture in laterizio ed in cemento. Products analyzed in the comparison, in terms of durability, between clay and cement roof coverings.

Tipo di prodotto Product Type	Codice identificativo Identification Code	Classe Class
Laterizio Clay	1	laterizio non trattato untreated clay element
Laterizio con ingobbio Slip sprayed clay	2	ingobbio spruzzato spray slip
	3	ingobbio spruzzato spray slip
	4	ingobbio spruzzato e polveri solventi spray slip and powder solvents
Cemento con diverse tipologie di trattamento superficiale Cement with different surface finishes	5	finitura in resina resin finish
	6, 8	finitura ceramicata ceramic finish
	7	finitura di vernice a fresco paint finish

organici presenti (ad esempio, leganti per gli strati di finitura) e la possibile perdita degli ossidi di pigmentazione da questi trattenuti. Successivamente, si è simulato l'effetto di prove *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 evidenziano 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 e 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 (per 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 condizioni (anche combinate tra loro):

- *stress* ciclico che ripropone, con maggiore velocità e intensità variabile, variazioni di stato (temperatura, umidità relativa, ecc.) che possono avvenire nell'ambiente reale;
- *stress* non ciclici che hanno lo scopo di fornire il "carico"

layer may be subject to when exposed to high temperatures (sunlight) and then immediately cooled under the effect of a summer rain (test typically performed on roof covering products used to recover cement materials).

Finally, the effect of cyclic exposure to wet, salty environments has been simulated (salt spray test) followed by drying (sunny marine environment) and consequent crystallization phenomena.

The results show how some of the stresses which the materials being examined were subjected to, are capable of significantly altering the appearance: for some products, discoloration, opacification and changes in performance were registered.

MATERIALS TESTED

Considering that cement-based products are those most commonly offered on the market as a possible alternative to clay products, it was decided to limit the comparison between two types of products, to verify the durability of the surface finish adopted. Based on a careful analysis of the technical literature available, which has allowed the identification of different methods with which the surface finish layers are made, 8 products were selected. The first 4 are made of clay: one type with no surface treatment (used as reference for the comparison), two spray slip-aged types and one product subject to ageing with spray slip and powder solvents. The second group of 4 products contains cement tiles with different finish types (as declared by the manufacturers). Table 1 shows the identification code of each product analysed.

THE METHODOLOGY ADOPTED

Generally, durability testing of roofing tiles (whether concrete or "cotto") refers only to resistance to frost. A well-established literature exists on this subject and companies normally carry out continuous quality controls on their products, in order to check suitability (and also to comply with CE marking standards).

Less established is, however, literature on the durability intended as "aesthetic reliability" (maintenance of original colour characteristics), in particular that of the finishing systems for roofings. There is, on the contrary, a rich documentation on this feature when related to covering tiles in general, regardless of what support is used for laying them, to the point that ageing tests are well established, either for natural (exposure) and accelerated ageing. A significant review of the different methods was carried out, among others, by [Lane, 1998].

The methods for artificially age coverings, now consolidated, tend to create two possible conditions (also combined with each other):

- *cyclic stress, that reproduces the status variations that normally occur in a real environment (temperature, relative humidity, etc.) at a greater speed;*
- *non-cyclic stress that aim to provide the maximum expected "load" for the period in exam (for example, specific components of solar radiation).*

On the basis of existing literature, it has been decided to use in the test, a combination of these two methods.

In particular, ageing methods have been

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 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, simulando condizioni di invecchiamento artificiale e repentino. Si è utilizzata una camera Challenge CH250 Angelantoni (fig. 2) 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 con 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

taken as reference capable of recreating some possible environmental shocks:

- *thunder-shower*;
- thermo-hygrometric cycles + UV;
- salt spray tests.

The "*thunder-shower*" test method is a cyclic aging method that allows to analyze the effects of a sudden thermal shock due to cooling after a conditioning to high temperatures. The real situation for such hard stress state corresponds to the intense, sudden summer storms occurring in particularly hot days in places where solar radiation is high (eg, southern Italy). The test method, specified by the UNI EN 13687-2: 2003, is applied generally in the evaluation of the adhesion resistance of protective systems for concrete works, but more generally where it is necessary to impose a surface thermal stress. The test was conducted as specified by UNI EN 13687-2: 2003, with a conditioning at $60 \pm 5^\circ\text{C}$ spraying at regular intervals water at a temperature of $12 \pm 3^\circ\text{C}$ which is a difference of $48 \pm 5^\circ\text{C}$ between the two situations. The test cycle was repeated to simulate about 20 years of use of the product in areas with a high solar radiation. The second type of test consisted in exposing samples to a process of artificial aging, using a test apparatus fitted with UV lamps and able to produce thermal stress (freeze/thaw) and condensation [UNI EN ISO 11341: 2005]. The cyclic test carried out inside a climatic chamber, allows to simulate a small, yet destructive, portion of solar spectrum (radiation in the visible and infrared ranges was neglected), without overheating the sample to a temperature higher than the surrounding air, simulating conditions of artificial, sudden aging. An Angelantoni Challenge CH250 was used (fig. 2), with a test cycle that includes: 2 h 33 m ($-20 \pm 2^\circ\text{C}$); 1 h ($55 \pm 2^\circ\text{C}$, 95% RH (relative humidity)); 1 h 18 m UV ($60 \pm 2^\circ\text{C}$, 20% RH. 150 cycles were performed in accordance with



Fig. 2 - Camera Challenge CH250 per le prove di invecchiamento artificiale. Challenge CH250 chamber, for artificial aging test.

la libera circolazione della nebbia (figg. 3, 4) ed evitare scoloriture 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, uno strumento portatile con configurazione d/8 (la luce diffusa viene ricevuta in direzione 8° dalla verticale), ed elaborate con il software SpectraMagic NX. La calibrazione è stata effettuata su piatto da calibrazione bianco CM-A415; l'apertura di osservazione ha diametro 8 mm (MAV); sono stati acquisiti valori sia a componente speculare inclusa (SCI) che esclusa (SCE); UV 100%, illuminante D65, osservazione con angolo di 10° (fig. 5).

L'eventuale viraggio cromatico è stato calcolato utilizzando la grandezza ΔE^* in accordo con lo spazio colore CIE L*a*b* (L è la luminanza; "a" e "b" sono le coordinate nello spazio colore):

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

La valutazione di ΔE^* può essere 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'intervenire 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 rimanessero costanti in modo da evidenziare variazioni di massa riferibili solo allo stato igrometrico del campione.

UNI EN 539-2: 2006 (method E), even though it relates only to frost/thawing analyses. Measurements were taken by interrupting the test every 30 cycles. The last type of test conducted was the salt spray test. It consists in exposing samples in a chamber (NSS) in which a 5% sodium chloride solution is sprayed for a time of about 650 hours [UNI EN ISO 9227: 2006]. Although this is a type of test which is typically used for testing paint finishes of metal surfaces, it was chosen because it allows, with appropriate modifications, to create wetting/drying cycles to obtain the absorption of water with salts in the roof tiles and the subsequent evaporation of water and salt crystallization on or below the surface of the tile. The samples were placed on metal supports inside the chamber at an angle of between 15° and 25° from the vertical line [UNI EN ISO 9227: 2006], so as to allow free movement of the fog (figs. 3, 4) and avoid dripping due to overlapping. At the end of each set of cycles and at the end of the aging tests, measurements were taken of colour, gravity and water absorption.

Reflectance measurements were made in the 360-740 nm range (with 10 nm resolution) by means of a Konica Minolta CM2600D spectrophotometer, a portable instrument with configuration d/8 (diffused light is received in the 8° direction from the vertical line) and then processed with SpectraMagic NX. The calibration was performed on white calibration plate CM-A415; the view field has a diameter of 8 mm (MAV); both specular component included (SCI) and specular component excluded (SCE) measurements were made; UV 100%, D65 illuminating, view angle of 10° (fig. 5). Any color change was calculated using size ΔE^ according to CIE L*a*b* (L is luminance, "a" and "b" are the coordinates in colour space):*

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

The assessment of ΔE^ can be done*



Fig. 3 - Vano di carico dell'apparecchiatura per il test in nebbia salina.
The compartment of the salt spray test apparatus.



Fig. 4 - Posizione di una serie di provini nell'apparecchiatura per il test in nebbia salina.
Samples positioned inside the salt spray test apparatus.



Fig. 5 - Lo spettrofotometro Konica Minolta CM2600D (a sinistra), il piatto di calibrazione del bianco (al centro) e la scatola di calibrazione del nero (a destra).

The Konica Minolta CM2600D spectrophotometer (left), the white calibration plate (centre) and the black calibration box (right).

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 μ l 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. 6 illustra, per i diversi materiali, gli effetti, in termini di viraggio cromatico, generati dall'esposizione a cicli termoigrometrici con raggi UV e dalla prova *thunder-shower*. Si ricorda che un ΔE^* > 2 significa impercettibilità all'occhio umano ed un ΔE^* > 5 significa, invece, il superamento del limite di accettabilità.

following the scale proposed by CIE:

$\Delta E^* < 2$ minimum variation-imperceptible

$2 \leq \Delta E^* < 5$ acceptable variation

$\Delta E^* \geq 5$ variation is not acceptable.

In order to detect any loss in weight of samples under the effect of any mechanical damage occurred, the samples were weighed at each step on a scale with 0.001 g accuracy. Measurements were also taken under extreme conditions, with samples dry and saturated, after each series of stress cycles, making sure that, while measurements were made, temperature and humidity remained constants in the environment in order to highlight variations in mass referring only to the hygrometric state of the sample.

In addition to this, in order to assess

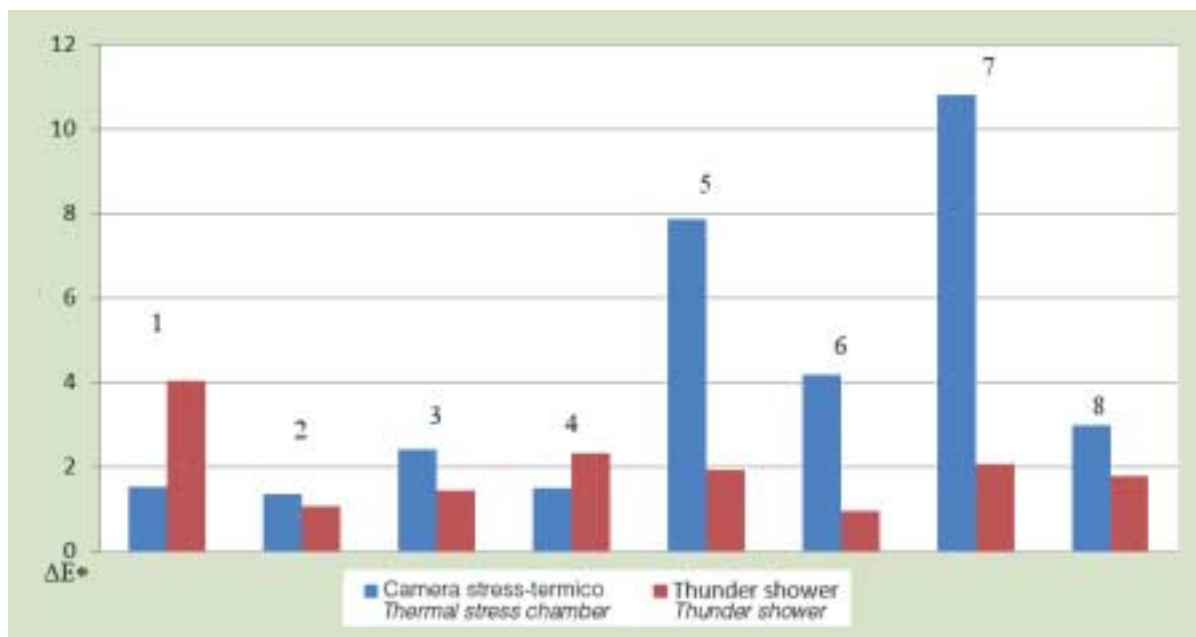


Fig. 6 - Tabella riepilogativa della variazione cromatica al termine delle prove. I prodotti sono stati identificati con i numeri da 1 a 8. Il numero 1 (laterizio non trattato) è il primo a sinistra; i numeri 2, 3, 4 corrispondono a tegole in laterizio con ingobbio; gli ultimi 4 sono tegole in cemento con diversa tipologia di trattamento superficiale.

Summary table of the changes in colour at the end of the tests. The products were identified with numbers from 1 to 8. The number one (untreated clay) is the first to the left; the numbers 2, 3, 4 correspond to slip sprayed clay roof tiles; the last 4 are cement tiles with different surface treatments.

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.

Osservando le immagini del campione 6 dopo il trattamento (fig. 7), si evidenzia anche a occhio nudo, a conferma delle rilevazioni strumentali, la differenza tra le zone coperte per esigenze di fissaggio dei campioni (le due righe orizzontali) ed il resto della superficie: si rileva, infatti, un netto schiarimento ed una opacizzazione della superficie.

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. 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. 8 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 all'acqua, con un battente idrostatico di 100 mm di acqua per 48 ore, come da norma UNI EN 539-1 (si è utilizzato questo riferimento sia per le tegole in laterizio, cui la norma si riferisce, che per le tegole in cemento, non cambiando, tra le norme per tegole in laterizio e in cemento, il principio fisico della misura ma solo le modalità di esecuzione). La fig. 9 riporta i risultati ottenuti (media di più campioni).

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 essiccazione effettuato, i

changes on the surface layer related to the absorption capacity, it was considered to carry out a procedure that is typically used to assess the hygrometric behaviour of the surface of heavy clay elements for restoration works (effectiveness of protection actions); the procedure



Fig. 7 - Strisce di colorazione originaria non intaccate dall'azione degli UV a causa del posizionamento degli elementi di fissaggio utilizzati durante le prove.
Strips of the original colour which have not been affected by the UV rays due to the presence of positioning elements used during the tests.

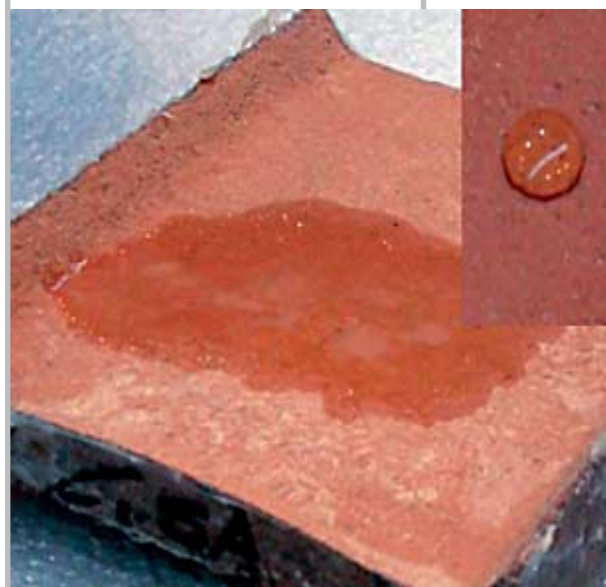


Fig. 8 - Prova di assorbimento su tegola di cemento con rivestimento superficiale di resina: a sinistra sul campione invecchiato, a destra, in alto (riquadro) su quello non invecchiato.
Absorption test on a cement roof tile with a resin-treated surface: on the left hand side of the aged sample, on the upper right side (box) of the non-aged sample.

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 ed essere stati riportati nelle condizioni originarie per le misure, hanno manifestato variazioni cromatiche rilevabili anche ad occhio nudo ed 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 aspetto secondario 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'ultimo aspetto 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 aspetto e prestazioni.

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.

consists in measuring the time required for a 6 μ l drop of water to be absorbed by the material. Finally, a comparison of the absorption times was carried out on the samples at the end of the 3 aging tests.

RESULTS

Fig. 6 shows the effects, in terms of colour changes, seen on the different materials after exposure to thermo-hygrometric cycles with UV and the thunder-shower test. It is to be recalled that $\Delta E^* < 2$ stands for imperceptible to human eye whereas $\Delta E^* > 5$ stands for the acceptability limit being exceeded.

Looking at the results of the first type of test, a marked difference is evident in the behaviour of clay and concrete tiles. It is obvious how the latter, all surface-treated, strongly suffer the effects of a combined exposure to UV and freeze-thaw cycles: in fact, the ΔE^* values exceed acceptability threshold due to an evident change of the finish.

The major (critical) variations involve products 5, 6 and 7.

Looking at the images of sample 6 after treatment (fig. 7 the difference between the areas that had been covered for attaching the samples to the apparatus (the two horizontal lines) and the rest of surface is well evident even to the naked eye: the surface is much brighter and opaque.

The thunder-shower test does not appear to have produced any significant discoloration of the surfaces. The ΔE^* values recorded were all small, and except in one case (sample no. 1), below the threshold of human eye perception alteration.

As far as cement roof tiles are concerned, this is presumably due to the fact that their surface treatment, aimed to

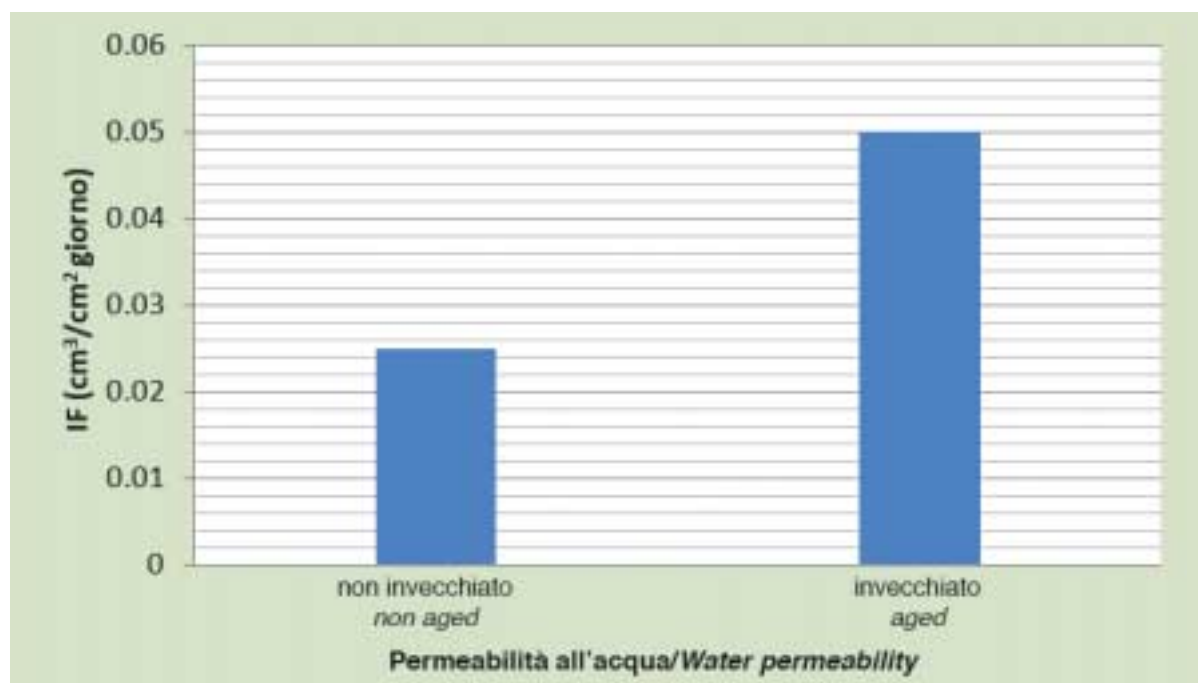


Fig. 9 - L'alterazione che ha interessato lo strato superficiale nelle tegole di cemento ha determinato una variazione nella capacità di assorbimento d'acqua del campione: il valore è raddoppiato, pur risultando ancora molto più basso del livello di transizione dalla classe I alla classe II secondo la UNI EN 539-1 previsto dalla normativa tecnica per gli elementi da copertura in laterizio.

The change that has affected the surface layer of cement roof tiles resulted in a change in the absorption capacity of the sample: the value has doubled, while still being much lower than the level of transition from class I to class II according to UNI EN 539-1 as required by the standards in force.

- [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 precasting 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-Institut für bauphysik IBP, 2000.

reproduce the colour of clay products, reduces the water absorption capacity of the support materials; this means the test has been little invasive. Even in the case of slip sprayed tiles (clay) the same behaviour was recorded.

However, this type of test has shown how a thermal stress produced by a summer storm is able to amplify any defects originally present on the surface of the products tested (eg. Impurities inclusions), both for cement and clay roof tiles. A major issue emerged during the tests is the fact that a particular type of cement roof tile (sample no. 6), in addition to showing colour changes, also revealed a variation of its absorption capacity. Fig. 8 shows, for sample 6A, the shape of a drop of water after 30 seconds from application on the support, on a non-aged and an aged sample. It is clear that the roof tile, in addition to appearing lighter in colour, also shows a significant reduction in its surface impermeability caused by the alteration of the upper layer. The samples which showed such problems, were subjected to water permeability tests, with a hydrostatic head of 100 mm for 48 hours, as per UNI EN 539-1 (this reference was used for both clay roofing tiles, which the mentioned standard relates to, and cement roof tiles; this, because the physical principle of measurement does not differ for clay and concrete roofing tiles, only the way the measurement is taken does). Fig. 9 shows the results obtained (average of more samples).

CONCLUSIONS

The series of tests that have been carried out showed a clearly different behaviour between the various types of products. Natural clay samples (no slip) did not show any alterations at all of any kind, but, just as obvious, only colour changes corresponding to different states of humidification during the tests. After dried, the ΔE^* recorded for these types of products have always been modest enough to not be detectable by the naked eye. On the contrary, the samples treated on their surface (slip) and, most importantly, some types of cement tiles after being subjected to stresses and have been reset to their original condition for measurements, showed colour variations detectable with the naked eye and in some cases, above the defined threshold of acceptability. In particular, in the case of exposure to a thermo-hygrometric stress + UV rays inside a chamber, major damages to the surface layer were observed. There is also major discoloration of the surface, opacification of the same and also, a change in its morphology. A secondary issue concerns the fact that this colour change corresponds, for certain types of cement roof tiles, to a variation of the absorption capacity of the surface. This is particularly relevant because the behaviour of the material is fundamentally altered with respect to possible raining. It follows therefore that, for some products, there are still problems concerning the duration in place and the ability to maintain their appearance unchanged.