

Prestazioni al fuoco di strutture di acciaio zincato trattate con sistemi intumescenti

Il trattamento di zincatura offre all'acciaio ottime proprietà anticorrosive, per contro, in generale, una superficie zincata determina condizioni critiche di aggancio nei confronti di successive verniciature e, può dar luogo a situazioni particolarmente difficili, nel caso di applicazioni di prodotti vernicianti ad alto spessore.

I trattamenti a base di rivestimento intumescente, caratterizzati dalla deposizione di strati di pittura di spessore decisamente elevato e da pellicole porose e poco legate, possono incontrare notevoli difficoltà in termini di adesione al supporto e, nel caso di applicazioni su superfici zincate, potrebbero evidenziare situazioni ancora più critiche rispetto a quelle rilevate normalmente durante l'applicazione di un ciclo verniciatura industriale di tipo tradizionale.

In questa pubblicazione sono presentati i risultati di un ampio lavoro di sperimentale, promosso da Italvis Protect in collaborazione con AIZ - Associazione Italiana Zincatura - allo scopo di indagare sul comportamento al fuoco di elementi strutturali di acciaio zincato, trattati con sistemi protettivi antincendio a base di rivestimento intumescente Protherm Steel, al fine di comprovare la qualità e le prestazioni dei propri cicli di verniciatura, tradizionalmente suggeriti per la protezione dal fuoco di superfici di acciaio zincato.

Il programma di prove si è incentrato sulla verifica sistematica della compatibilità chimica (valutata attraverso prove di adesione a freddo) dei vari prodotti componenti i cicli di verniciatura proposti e del contributo di resistenza al fuoco (valutato attraverso un programma di prove di resistenza strutturale a caldo, di esposizioni al fuoco condotte in un forno di prova normalizzato) in riferimento a determinati

Le prestazioni al fuoco di un sistema protettivo antincendio di tipo intumescente dipendono dalla natura, dalla geometria e dal fattore di massa dell'elemento costruttivo da proteggere, dallo stato e dalle condizioni del supporto da trattare, dalle caratteristiche e dalle modalità di posa in opera dei prodotti vernicianti che compongono il sistema intumescente, nonché, dalle proprietà (adesione e spessore) del ciclo di verniciatura installato.

Fire performance of galvanised steel structures treated with intumescent systems

The fire performance of an intumescent fire prevention system depend on the nature, geometry and mass factor of the structural element to be protected, the state and condition of the support to be treated, the characteristics and methods of application of the painting products used to make up the intumescent system, and the adhesion and thickness of the painting cycle adopted.

spessori di vari sistemi intumescenti in esame, applicati su differenti elementi strutturali protetti.

L'obiettivo principale della ricerca, realizzata in più fasi temporali e ormai giunta al quarto anno di intensa sperimentazione, è finalizzato a raccogliere un numero sufficiente di dati sperimentali oggettivi sul comportamento al fuoco dei rivestimenti intumescenti applicati su strutture zincate, allo scopo di verificare se il contributo (in termini di prestazioni, ovvero, di resistenza al fuoco di uno specifico elemento strutturale in acciaio) offerto da un determinato sistema intumescente, potesse essere garantito con il medesimo livello di sicurezza antincendio, indipendentemente dal tipo di trattamento preliminare prescelto per il supporto in esame.

Il comportamento al fuoco delle strutture di acciaio



Interno Università di Pisa.

zincate, trattate con sistemi protettivi antincendio di tipo intumescente, è stato analizzato confrontando i dati sperimentali ottenuti con quelli riscontrati in riferimento ad indagini di comportamento al fuoco (ormai sufficientemente noto) di analoghi cicli di verniciatura applicati su equivalenti elementi di acciaio sabbiato.

SPERIMENTAZIONE

Il programma di ricerca è stato sviluppato per fasi successive. Nella prima fase della sperimentazione sono stati valutati quantitativamente gli aspetti inerenti la compatibilità e il comportamento al fuoco di specifici cicli di verniciatura a base di rivestimenti intumescenti, misurando oggettivamente il grado di "adesione" e il tempo di "resistenza al fuoco" dei sistemi intumescenti normalmente consigliati per scopi di protezione dal fuoco di strutture di acciaio zincato.

Lo studio si è articolato principalmente sui seguenti due tipi di riscontro:

- la verifica della compatibilità chimica, intesa come forza di legame misurata con prove di adesione a freddo fra i vari componenti dei cicli di verniciatura presi in esame
- la verifica di resistenza al fuoco, intesa come tempo di esposizione al fuoco, registrato con collaudi sperimentali su provini protetti con i vari cicli di verniciatura individuati.

Le prove sono state realizzate secondo specifiche procedure interne, mutuata da metodi standard e da criteri tecnici ufficialmente riconosciuti. I dati raccolti sul comportamento al fuoco delle strutture zincate sono stati confrontati con i riscontri ottenuti (durante precedenti indagini sperimentali) sui cicli di verniciatura a base di rivestimento intumescente, tradizionalmente impiegati per la protezione dal fuoco di strutture di acciaio sabbiato.

I cicli di verniciatura proposti per la realizzazione dei provini, sono stati scelti considerando le soluzioni tecniche seguenti, comunemente consigliate all'utente rispettivamente per applicazioni su superfici sabbiate o su supporto zincato a caldo.

- supporto sabbiato grado SA 2^{1/2}
antiruggine al fosfato di zinco Protherm Steel Primer
rivestimento intumescente Protherm Steel
- supporto sabbiato grado SA 2^{1/2}
intermedio epossidico bicomponente a solvente Protherm Steel Primepox
rivestimento intumescente Protherm Steel
- supporto zincato a caldo
intermedio vinil-acrilico all'acqua Primervis
rivestimento intumescente Protherm Steel
- supporto zincato a caldo
intermedio epossidico bicomponente a solvente Protherm Steel Primepox
rivestimento intumescente Protherm Steel

I risultati dell'indagine sono stati discussi nell'ambito di una giornata di approfondimenti, indetta da AIZ sul tema "Resistenza al fuoco delle strutture zincate" (1).

Nella seconda fase della sperimentazione è stato avviato un nuovo programma di prove (per implementare i dati raccolti nel precedente lavoro) e so-

no state acquisite nuove indicazioni sul comportamento al fuoco dei vari cicli di verniciatura applicati su superfici di acciaio zincato, misurando "adesione" e "resistenza al fuoco" dei sistemi intumescenti in oggetto in relazione alla forma, alla geometria e al fattore di massa che caratterizza l'elemento strutturale in esame e, confrontando le prestazioni ottenute, con il comportamento al fuoco di equivalenti applicazioni eseguite su analoghi supporti di acciaio sabbiato.

Inoltre, in questa sezione del programma, è stato avviato uno studio teso a valutare il mantenimento dell'efficacia delle prestazioni al fuoco, attraverso misure dei parametri fisici caratteristici del sistema intumescente in esame, rilevate dopo determinati periodi di invecchiamento naturale, sia del trattamento di zincatura eseguito sul supporto, che delle applicazioni dei sistemi protettivi effettuate sugli elementi strutturali in oggetto.

La verifica della capacità di mantenere la caratteristica resistenza al fuoco, anche dopo un certo periodo di invecchiamento del ciclo di verniciatura applicato (ossia, la capacità di un rivestimento intumescente di sviluppare durante l'esposizione al fuoco, una schiuma protettiva efficace anche dopo un certo periodo di possibile degrado della pellicola, dovuta all'esposizione di agenti atmosferici o a particolari aggressioni di tipo chimico o fisico) è un aspetto del sistema protettivo antincendio assai discusso ma, al momento, ancora molto poco indagato.

Benché gli argomenti trattati in questa parte dello studio (sui rivestimenti intumescenti applicati su strutture zincate) affrontino solo marginalmente gli aspetti legati alla durabilità dei cicli esaminati, i risultati raccolti si sono dimostrati comunque di notevole interesse a causa dell'endemica carenza di dati in questo settore, dovuta principalmente alla difficoltà di accedere ad elementi strutturali invecchiati (sia naturalmente, che artificialmente) utili per la sperimentazione al fuoco e alla scarsa disponibilità di reperire provini da sottoporre a prove pratiche di resistenza al fuoco, al fine di verificare la conformità ai parametri fisici caratteristici, precedentemente misurati sui sistemi intumescenti in esame (2).

La casistica dei provini osservati e una sintesi dei dati sperimentali raccolti è apparsa in un articolo intitolato "Trattamenti su strutture zincate", pubblicato su una rivista di settore (3).

PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

In questo articolo viene proposta una sintesi di tutti i risultati conseguiti nelle varie sessioni di prova. L'elaborazione generale dei dati tiene conto anche delle osservazioni raccolte nel corso delle indagini più recenti (sul comportamento al fuoco delle strutture zincate) e si fondano sulle evidenze emerse dalla valutazione di numerosi rilievi sperimentali, che comprendono misure dei valori dei parametri fisici di adesione e spessore, caratteristici dei sistemi intumescenti considerati, ed effettuate secondo i criteri previsti nella norma UNI 10898-1(4) e su verifiche di resistenza al fuoco di differenti tipologie di elementi strutturali di acciaio zincato, protetti con i differenti cicli di verniciatura in esame e condotte in base ai criteri tecnici contenuti nella

norma EN 13381-4 (5), di recente acquisizione.

Il giudizio finale qui espresso, sulle prestazioni al fuoco delle strutture zincate trattate con sistemi protettivi antincendio di tipo intumescente, è stato costruito sulla base delle effettive evidenze raccolte nel corso di queste sperimentazioni, ma affonda le sue ragioni anche in un contesto più ampio di esperienze specifiche, supportate da una enorme quantità di rilievi sperimentali, che hanno trovato numerose conferme nella consistente attività di ricerca e sviluppo sostenuta dall'azienda incaricata della sperimentazione, nell'ambito della propria pluriennale presenza nel settore della protezione passiva dal fuoco dei materiali da costruzione.

Per il controllo dei parametri fisici dei sistemi intumescenti in esame e per le relative verifiche sperimentali di esposizione al fuoco, sono state impiegate differenti tipologie di elementi strutturali in acciaio, allo scopo di valutare come la natura e lo stato del supporto (acciaio senza alcun trattamento, acciaio sabbiato o acciaio zincato) da proteggere, il fattore di sezione (forma, geometria e fattore di massa della superficie da esporre al fuoco) dell'elemento costruttivo da trattare e i parametri fisici caratteristici (adesione e spessore) del sistema intumescente da applicare, possano influenzare il risultato di resistenza al fuoco dell'elemento strutturale in esame, in riferimento al contributo del sistema intumescente applicato.

Per completare il quadro delle informazioni acquisite, sono stati preparati ulteriori provini supplementari per valutare la compatibilità delle applicazioni in esame e il comportamento al fuoco del rivestimento intumescente applicato direttamente su superfici di acciaio nudo e, rispettivamente, su analoghi supporti di acciaio sabbiato o zincato a caldo, senza l'interposizione di uno strato intermedio di fondo. Infine, sono state effettuate verifiche analoghe su applicazioni di equivalenti sistemi intumescenti su elementi strutturali di acciaio zincato trattato con due tipi di fondo epossidico industriale, normalmente impiegati nei cicli di lavorazione industriale di tali supporti.

La metodologia, la strumentazione e le procedure di prova impiegati per l'esecuzione dei controlli di adesione e spessore e per le verifiche di resistenza al fuoco qui trattate, sono documentate in opportune procedure interne e istruzioni di lavoro del Sistema Qualità (6).

La Tabella 1 riporta la tipologia e le caratteristiche

TABELLA 1			
Elemento	Geometria	Spessore Sezione (mm)	Rapporto di massa S/V (m ⁻¹)
Elemento piano	Piastra piana con sezione quadrata	3	333
		5	200
		10	100
Colonna circolare	Tube cavo con sezione circolare	4	250
Colonna HEA 140			252
Colonna HEA 200	Asta con sezione profilata ad H	/	211
Colonna HEA 260			170

TABELLA 2			
Ciclo	Preparazione del supporto	Trattamento superficie	Sistema intumescente
(a)	Zincatura a caldo	nessuno	PROTHERM STEEL
	1° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)		
	2° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)		
(b)	Zincatura a caldo	Epossidico a solvente	PROTHERM STEEL
	1° strato: "Protherm Primepox" (spessore umido: 150 µm - spessore secco: 100 µm)		
	2° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)		
(c)	Zincatura a caldo	Vinilico all'acqua	PROTHERM STEEL
	1° strato: "Primervis" (spessore umido: 100 µm - spessore secco: 60 µm)		
	2° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)		
(d)	Zincatura a caldo	Epossidico industriale	PROTHERM STEEL
	1° strato: "Fondo Grigio" (spessore secco: ?µm) preparato da ZIMETAL, secondo le normali condizioni di lavorazione (supporto zincato lasciato all'esterno per 90 gg).		
	2° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)		
(e)	Zincatura a caldo	Epossidico industriale	PROTHERM STEEL
	1° strato: "Fondo Rosso" (spessore secco: ? µm) preparato da ZIMETAL, secondo le normali condizioni di lavorazione (supporto zincato lasciato all'esterno per 90 gg).		
	2° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)		
			3° strato: "Protherm Steel" (spessore umido: 800 µm - spessore secco: circa 550 µm)

di tutti gli elementi strutturali zincati, impiegati per la sperimentazione in oggetto, gentilmente forniti da AIZ - attraverso la Società Zimetal.

La Tabella 2 specifica i sistemi intumescenti che sono stati oggetto di questa ricerca e definisce gli spessori di esercizio dei vari prodotti che compongono i cicli di verniciatura presi in esame, secondo le condizioni operative e le modalità di posa dei materiali suggerite dall'azienda esecutrice, che ha curato l'allestimento dei provini e ha provveduto alla realizzazione delle prove di controllo e dei collaudi al fuoco.

Le caratteristiche chimico fisiche e le prestazioni tecniche dei prodotti vernicianti citati, che compongono i sistemi protettivi antincendio oggetto della presente ricerca, sono descritte nelle relative Schede Tecniche di prodotto, reperibili sul sito internet www.protect.it, ad eccezione dei due fondi

TABELLA 3

Ciclo	Sistema Intumescente applicato	1° Gruppo	2° Gruppo	3° Gruppo	4° Gruppo
(a)	1° Strato PROTHERM STEEL	15	10	28	n.d.
	2° Strato PROTHERM STEEL	15	10	30	24
(b)	1° strato PRIMEPOX	35	62	35	112
	1° Strato PROTHERM STEEL	29	20	35	n.d.
	2° Strato PROTHERM STEEL	18	15	29	25
(c)	1° strato PRIMERVIS	26	26	35	35
	1° Strato PROTHERM STEEL	18	17	31	n.d.
	2° Strato PROTHERM STEEL	17	14	28	25
(d)	1° strato FODO GRIGIO	n.d.	n.d.	n.d.	38
	1° Strato PROTHERM STEEL	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2° Strato PROTHERM STEEL	n.d.	n.d.	n.d.	28
(e)	1° strato FONDO ROSSO	n.d.	n.d.	n.d.	19
	1° Strato PROTHERM STEEL	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2° Strato PROTHERM STEEL	n.d.	n.d.	n.d.	28

Note: n.d. = dato non disponibile

di serie, specifici per il trattamento industriale delle lamiere di acciaio zincato, disponibili su richiesta presso AIZ - Associazione Italiana Zincatura - che li ha proposti per il confronto.

Prove di adesione. I dati raccolti fanno riferimento ad un ampio spettro di prove eseguite nel corso di quattro anni di sperimentazione. Le misure di adesione, riscontrate per ciascun sistema protettivo oggetto di prova, applicato sulle superfici zincate in esame, sono state effettuate su quattro gruppi di provini omogenei fra loro, in relazione al ciclo di verniciatura applicato, al tipo di esposizione (all'interno in Laboratorio o all'esterno sul piazzale) e al periodo di invecchiamento (30 o 90 giorni) subito dal supporto zincato, prima dell'applicazione del sistema intumescente in esame e, infine, in relazione al tempo di invecchiamento subito dal supporto trattato (rispettivamente 30, 90 e 720 giorni dopo aver completato l'applicazione del ciclo di verniciatura in esame), come dettagliato qui di seguito.

1. Supporto di acciaio zincato mantenuto all'interno per 30 giorni, applicazione del sistema intumescente, misure di adesione dopo 30 giorni dall'applicazione del ciclo di verniciatura.
2. Supporto di acciaio zincato mantenuto all'interno per 30 giorni, applicazione del sistema intumescente, misure di adesione dopo 90 giorni dall'applicazione del ciclo di verniciatura.
3. Supporto di acciaio zincato mantenuto all'interno per 30 giorni, applicazione del sistema intumescente, misure di adesione dopo 720 giorni dall'applicazione del ciclo di verniciatura.
4. Supporto di acciaio zincato mantenuto all'esterno per 90 giorni, applicazione del sistema intumescente, misure di adesione dopo 30 giorni dall'applicazione del ciclo di verniciatura.

Le prove di strappo per misurare l'adesione del rivestimento protettivo in esame, sono state eseguite secondo una procedura interna (7), ricavata dal metodo ISO 4624:1978 - Adhesion Pull-Off Test: si applicano i prodotti vernicianti in oggetto sul supporto di prova (nel nostro caso la piastra di acciaio zincato a caldo) secondo le quantità previste dal produttore, i tempi di applicazione e le modalità di posa definite per il ciclo di verniciatura in esame;

30 giorni dopo la deposizione dell'ultimo strato di vernice si incolla (sull'ultimo strato o sui vari strati di rivestimento ormai essiccato) una serie di testimoni di alluminio usando una speciale resina epossidica in dotazione allo strumentazione di controllo; trascorse 72 ore, si procede allo strappo; si aggancia uno dei testimoni precedentemente incollato con il corpo della vite del dinamometro di controllo; si ruota la vite in senso orario, incrementando con moto circolare uniforme l'intensità della forza applicata, spostandosi in direzione ortogonale alla superficie di contatto del rivestimento applicato, fino ad ottenere la rottura fra due strati successivi di prodotto verniciante depositato (coesione) o il

distacco completo del film dal supporto al quale il rivestimento è applicato (adesione).

Nel caso di rivestimenti intumescenti per applicazione su acciaio, la prova di adesione è ritenuta conforme quando lo strappo interessa due strati successivi di rivestimento intumescente (l'adesione al supporto, generalmente, è maggiore della coesione fra i vari strati di rivestimento intumescente depositato) e quando, nessuno dei valori riscontrati, su ciascun provino in esame, risulta minore di 7 kg/cm² (valore caratteristico della forza di legame fra due strati di rivestimento intumescente).

In Tabella 3 sono esposti i risultati di tutte le prove di adesione effettuate sui 4 gruppi di provini esaminati. Il valore riportato per ciascuna applicazione considerata, corrisponde al valore medio di adesione calcolato sulla base di tutte le misure rilevate su ciascun provino omogeneo, per tipo di trattamento, condizioni di esposizione del supporto e periodo di invecchiamento del ciclo di verniciatura prima di essere sottoposto allo strappo.

I rapporti di prova relativi a tutte le misure effettuate e i documenti di riferimento alla preparazione dei provini e all'applicazione dei sistemi protettivi sui vari supporti esaminati, sono disponibili su richiesta.

PROVE DI ESPOSIZIONE AL FUOCO

Nei quattro anni di sperimentazione dedicati al presente progetto sono stati esposti al fuoco più di 50 elementi strutturali zincati a caldo, caratterizzati da diverse forme, geometrie di profilo e fattori di massa, protetti con i vari sistemi intumescenti proposti. Le prestazioni al fuoco dei vari elementi di acciaio zincato esaminati sono state messe a confronto con i dati di resistenza al fuoco di equivalenti sistemi protettivi antincendio, applicati su elementi strutturali di acciaio sabbiato, analoghi per forma, dimensione e fattore di sezione, a quelli utilizzati per questa ricerca; per questo raffronto sono stati considerati più di 30 rapporti di prova, relativi ad altrettanti collaudi di resistenza al fuoco eseguiti nel corso di precedenti programmi di ricerca.

La prime due serie di esposizioni al fuoco sono state condotte su due "set" di elementi piani, costituiti da 9 piastre di differente spessore, rispettivamente pari a 3, 5 e 10 mm. I supporti di acciaio zincato in esame sono stati trattati rispettivamente con i cicli di verniciatura (a), (b) e (c) e sono stati bruciati in due tempi diversi, rispettivamente dopo circa 30 e 720 giorni dall'applicazione del sistema intumescente. Queste prove hanno fornito utili indicazioni circa le possibili interazioni a caldo dei sistemi zinco/fondo/intumescente, consentendo di ipotizzar-



Nuova sede Wurth di Ora (Bz).

ne il comportamento al fuoco, sulla base delle osservazioni sperimentali relative ai fenomeni riscontrati durante i collaudi in forno, attraverso il rilievo del tempo di formazione della meringa protettiva, dello spessore della schiuma sviluppata, dell'eventuale tempo di distacco della stessa in fase di esposizione e della misura del tempo di resistenza al fuoco di ciascuna esposizione. Tali collaudi sono stati utilizzati anche per valutare eventuali differenze di comportamento al fuoco, in relazione ad un determinato periodo di invecchiamento dei sistemi intumescenti applicati, in funzione dell'incremento di inerzia termica offerta dal supporto di prova.

Successivamente è stata approntata una terza serie di 10 provini piani di acciaio zincato, di spessore pari a 5 mm. Tali supporti sono stati esposti all'esterno per 90 giorni, prima di procedere all'applicazione dei trattamenti previsti. I provini, successivamente protetti con i cicli di verniciatura (a), (b), (c) (a), (d) ed (e), sono stati bruciati dopo circa 90 giorni dall'applicazione per verificare, se una prolungata esposizione della superficie zincata agli agenti atmosferici, prima dell'applicazione dei sistemi protettivi antincendio, potesse incidere negativamente sulle prestazioni al fuoco degli elementi strutturali in esame.

Nella seconda parte del programma di prove è stato analizzato il comportamento al fuoco dei cicli di verniciatura (a), (b) e (c), sia in relazione ad applicazioni effettuate su differenti tipologie di elementi strutturali di acciaio zincato (3 elementi piani, 3 colonne circolari cave e 3 elementi profilati ad H) caratterizzati dallo stesso fattore di massa, sia in relazione ad applicazioni realizzate su elementi con identica geometria (9 colonne con profilo ad H), caratterizzati da fattori di massa decrescente, in funzione della dimensione delle sezioni delle colonne in esame. I supporti di prova coinvolti in questa serie di esposizioni al fuoco, sono stati zincati a caldo e, dopo un periodo di circa 30 giorni di esposizione all'interno, i supporti sono stati protetti con i sistemi intumescenti in oggetto. Le prove in forno sono state effettuate a distanza di circa 30 giorni dall'installazione dei sistemi protettivi antincendio proposti. Inoltre, è stata predisposta una serie supplementare di 3 analoghi elementi profilati per valutare la presenza di eventuali effetti negativi di aggancio (del sistema intumescente sulla superficie zincata) a seguito di una prolungata esposizione agli agenti atmosferici. Questi supporti sono stati zincati a caldo

e lasciati all'esterno per circa 90 giorni, quindi, sono stati protetti con il ciclo di verniciatura a base di rivestimento intumescente di tipo (b) e, infine, sono stati esposti al fuoco dopo circa 90 giorni dall'applicazione del sistema antincendio proposto.

Questi collaudi hanno fornito elementi utili a stabilire l'effettiva efficacia dei trattamenti proposti sulle strutture zincate, inoltre, dalle misure della resistenza al fuoco degli elementi trattati e dalle osservazioni sul comportamento al fuoco dei vari sistemi intumescenti proposti, sono emerse interessanti considerazioni circa le prestazioni al fuoco di un determinato ciclo di verniciatura e il contributo (dello stesso) in termini di resistenza al fuoco dell'elemento strutturale in esame, in relazione alla forma e alla geometria della superficie protetta e all'incidenza dell'inerzia termica del supporto di prova. Infine, le verifiche di resistenza al fuoco effettuate sui profili esposti all'esterno (prima di ricevere il trattamento antincendio) hanno fornito utili indicazioni circa la possibilità di poter inserire l'installazione di un determinato sistema protettivo antincendio (di tipo intumescente) nel ciclo di lavorazione usuale di manufatti di acciaio zincato.

Le prove di resistenza al fuoco sono state eseguite secondo una procedura di collaudo interna (8), mutuata dal metodo UNI 7678 Elementi costruttivi – Prova di resistenza al fuoco – che consiste nel sottoporre l'elemento strutturale ad una esposizione al fuoco controllata, che permette di verificarne le prestazioni misurando il tempo necessario per raggiungere una determinata temperatura critica sulla superficie esposta del provino in esame. A tale scopo, per misurare l'incremento di temperatura del supporto durante l'intero periodo di esposizione al fuoco del campione in prova, sono applicate alcune termocoppie in punti determinati (scelti in funzione della tipologia dell'elemento in oggetto) della superficie del campione in esame. La posizione del provino nella camera di combustione dipende dalla tipologia dell'elemento in esame e dalle condizioni di prova che si intendono realizzare: gli elementi piani sono normalmente esposti al fuoco su un solo lato, disposti a parete, sulla bocca porta-campioni verticale del forno sperimentale, mentre, gli elementi astiformi sono normalmente esposti su quattro lati, per immersione totale nella camera di combustione del forno di prova.

Il riscaldamento del forno è controllato automaticamente da un programma termico, che riproduce

TABELLA 4

Provino In esame	Esposizione del supporto	Trattamento applicato	Invecchiamento ciclo verniciatura	Spessore schiuma	Tempo distacco schiuma	Resistenza al fuoco
Piastra 3 mm	(I) - 30 (I) - 30	(a)	(I) - 30 (I) - 720	8-10 cm n.d.	dopo 18' n.d.	20' n.d.
Piastra 3 mm	(I) - 30 (I) - 30	(b)	(I) - 30 (I) - 720	2-3 cm 2-3 cm	non si verifica non si verifica	52' 55'
Piastra 3 mm	(I) - 30 (I) - 30	(c)	(I) - 30 (I) - 720	2 cm 0,5 cm	dopo 37' Non si verifica	45' 40'
Piastra 5 mm	(I) - 30	(a)	(I) - 30	8-10 cm	dopo 18'	22'
	(I) - 30		(I) - 720	n.d.	n.d.	n.d.
	(E) - 90 (E) - 90		(I) - 90 (I) - 90	2 cm 2 cm	non si verifica non si verifica	45' 40'
Piastra 5 mm	(I) - 30	(b)	(I) - 30	1-2 cm	non si verifica	52'
	(I) - 30		(I) - 720	2 cm	non si verifica	50'
	(E) - 90		(I) - 90	2 cm	non si verifica	45'
	(E) - 90		(I) - 90	2 cm	non si verifica	45'
Piastra 5 mm	(I) - 30	(c)	(I) - 30	7-8 cm	dopo 30'	30'
	(I) - 30		(I) - 720	1-2 cm	non si verifica	48'
	(E) - 90		(I) - 90	0,5 cm	non si verifica	20'
	(E) - 90		(I) - 90	n.d.	n.d.	n.d.
Piastra 5 mm	(E) - 90 (E) - 90	(d)	(I) - 90 (I) - 90	0,5 cm n.d.	non si verifica n.d.	32' n.d.
Piastra 5 mm	(E) - 90 (E) - 90	(e)	(I) - 90 (I) - 90	2 cm n.d.	non si verifica n.d.	45' n.d.
Piastra 10 mm	(I) - 30 (I) - 30	(a)	(I) - 30 (I) - 720	5-6 cm n.d.	dopo 25' n.d.	25' n.d.
Piastra 10 mm	(I) - 30	(b)	(I) - 30	1-2 cm	non si verifica	60'
	(I) - 30		(I) - 720	1-2 cm	non si verifica	55'
Piastra 10 mm	(I) - 30	(c)	(I) - 30	1-2 cm	non si verifica	60'
	(I) - 30		(I) - 720	1-2 cm	non si verifica	40'

(I) - n° = giorni di esposizione del supporto e/o di invecchiamento del ciclo, all'interno
(E) - n° = giorni di esposizione del supporto e/o di invecchiamento del ciclo, all'esterno
n.d. = non determinato

TABELLA 5

Provino In esame	Esposizione del supporto	Trattamento applicato	Invecchiamento ciclo verniciatura	Fattore di massa	Caduta schiuma	Resistenza al fuoco	
Piastra 4 mm	(I) - 30	(a)	(I) - 30	250	dopo 18'	22'	
Tubolare cavo	(I) - 30		(I) - 30	250	non si verifica	20'	
Profilo HEA 140	(I) - 30		(I) - 30	252	non si verifica	63'	
Profilo HEA 140	(I) - 30		(I) - 30	252	non si verifica	35'	
Profilo HEA 200	(I) - 30		(I) - 30	211	non si verifica	40'	
Profilo HEA 260	(I) - 30		(I) - 30	170	non si verifica	45'	
Piastra 4 mm	(I) - 30	(b)	(I) - 30	250	non si verifica	52'	
Tubolare cavo	(I) - 30		(I) - 30	250	non si verifica	33'	
Profilo HEA 140	(I) - 30		(I) - 30	252	non si verifica	60'	
Profilo HEA 140	(I) - 30		(I) - 30	252	non si verifica	42'	
Profilo HEA 200	(I) - 30		(I) - 30	211	non si verifica	46'	
Profilo HEA 260	(I) - 30		(I) - 30	170	non si verifica	55'	
Profilo HEA 140	(E) - 90		(I) - 90	252	non si verifica	35'	
Profilo HEA 200	(E) - 90		(I) - 90	211	non si verifica	58'	
Profilo HEA 260	(E) - 90		(I) - 90	170	non si verifica	58'	
Piastra 4 mm	(I) - 30		(c)	(I) - 30	250	non si verifica	39'
Tubolare cavo	(I) - 30			(I) - 30	250	non si verifica	17'
Profilo HEA 140	(I) - 30			(I) - 30	252	non si verifica	36'
Profilo HEA 140	(I) - 30	(I) - 30		252	non si verifica	25'	
Profilo HEA 200	(I) - 30	(I) - 30		211	non si verifica	42'	
Profilo HEA 260	(I) - 30	(I) - 30		170	dopo 37'	40'	

la curva temperatura/tempo di un incendio normalizzato, secondo i criteri tecnici della norma di riferimento scelta per l'esposizione al fuoco del provino in esame. Il materiale in prova è controllabile attraverso una telecamera fissa, quindi, per tutta la durata del collaudo, è possibile raccogliere impressioni sul comportamento al fuoco del rivestimento applicato, osservando la superficie esposta del campione in oggetto. Il programma di controllo automatico gestisce i bruciatori, assicura la corretta implementazione del programma termico di esposizione al fuoco desiderato e consente la lettura degli incrementi di temperatura (raggiunti nei vari punti della superficie dell'elemento) durante tutto il periodo di esposizione al fuoco richiesto. I dati rilevati sono registrati con cadenza programmata su un diagramma temperatura/tempo, che permette la valutazione di resistenza al fuoco dell'elemento strutturale in oggetto. Il collaudo termina quando in un punto della superficie dell'elemento in prova viene raggiunta una determinata temperatura, definita critica. Il tempo necessario per raggiungere tale temperatura viene convenzionalmente definito resistenza al fuoco dell'elemento costruttivo in esame.

Nel caso di rivestimenti intumescenti applicati su elementi strutturali di acciaio, la prova di resistenza al fuoco si ritiene conclusa quando, in un punto qualsiasi della superficie del campione esposto al fuoco, viene raggiunta la temperatura critica di 650°C (tale temperatura corrisponde alla temperatura critica di collasso di un elemento di acciaio, sottoposto alle normali condizioni di carico).

Nel caso specifico, le prove sono state ritenute conformi quando il tempo di resistenza al fuoco, registrato sugli elementi strutturali di acciaio zincato, protetti con i vari sistemi intumescenti proposti, è risultato paragonabile a quello ottenuto su equivalenti unità strutturali di acciaio sabbiato, trattati con equivalenti quantitativi di rivestimento protettivo, per esposizioni al fuoco effettuate nelle medesime condizioni di esercizio.

In Tabella 4 e 5 sono sintetizzati i fenomeni salienti osservati durante i collaudi di esposizione al fuoco rilevati sui vari provini testati. Più precisamente, in Tabella 4 sono mostrati i risultati di tutte le esposizioni eseguite su piastra di acciaio zincato. Per ciascun provino esposto al fuoco sono state evidenziate le eventuali differenze rilevate nel comportamento al fuoco dei vari trattamenti subiti dal supporto, sia in funzione del tipo e del periodo di esposizione (all'interno o all'esterno, per 30 o 90 giorni) a cui è stata esposta la superficie zincata prima di ricevere il trattamento antincendio, sia in funzione del periodo di invecchiamento (30, 90 o 720 giorni) subito dal ciclo di verniciatura applicato. In Tabella 5, invece, sono stati raccolti i risultati di resistenza al fuoco conseguiti sui vari elementi strutturali provati, per mettere in evidenza l'efficacia (in termini di prestazioni al fuoco) dei sistemi intumescenti proposti, in funzione delle caratteristiche (forma, geometria) del supporto di prova e dell'inerzia termica



Centro
Commerciale,
Vimercate.

(fattore di massa) dell'elemento strutturale trattato. Su richiesta, sono disponibili i rapporti di prova e i diagrammi temperatura/tempo di tutti i collaudi di esposizione al fuoco eseguiti, insieme ai vari documenti di riferimento relativi alla preparazione dei provini, all'applicazione dei sistemi protettivi e alle misure degli spessori dei sistemi intumescenti applicati, rilevati sulla superficie dei vari supporti, in esame, secondo la metodologia di lavoro prevista da specifiche procedure interne (9).

CONCLUSIONI

Come noto le proprietà di un sistema intumescente ossia i parametri fisici che caratterizzano lo strato del ciclo di verniciatura in esame, in relazione al grado di resistenza al fuoco richiesto per un determinato elemento strutturale da proteggere, sono l'adesione e lo spessore del sistema intumescente applicato (10).

L'adesione del ciclo di verniciatura, ossia, la tensione minima applicabile allo strato del sistema verniciante posato in opera, necessaria per provocare il distacco della pellicola dal supporto (grado di adesione) o la rottura dei legami fra i vari strati del rivestimento applicato (grado di coesione) è un fattore rilevante per assicurare le prestazioni al fuoco dell'elemento costruttivo trattato con un sistema intumescente.

Le misure di adesione, pertanto, costituiscono il parametro di riferimento per giudicare la "compatibilità" generale fra i prodotti che compongono un determinato ciclo intumescente (il rivestimento) e la natura del materiale (la superficie dell'elemento costruttivo) al quale il rivestimento stesso è applicato.

Dai controlli di adesione effettuati sui cicli di verniciatura proposti, emerge sostanzialmente un giudizio generale molto positivo, avendo riscontrato valori di adesione al supporto zincato, su tutti i sistemi intumescenti esaminati durante la sperimentazione in oggetto, a volte anche superiore alla media dei valori normalmente assegnati ai rivestimenti intumescenti in generale. Inoltre, dall'analisi dei dati rilevati sui vari sistemi intumescenti proposti in questo studio, esplicitati in Tabella 3, si possono trarre numerose informazioni circa la possibilità di impiego dei protettivi di tipo intumescente, da impiegare per la protezione passiva dal fuoco delle strutture di acciaio zincato.

Analizzando i dati di adesione ottenuti, si evidenziano risultati positivi su tutte le applicazioni esaminate; i dati confermano una buona compatibilità generale dei cicli di verniciatura (a base di rivestimento intumescente) proposti in questo programma di prove. Dall'esame dei valori di adesione riscontrati sui sistemi intumescenti dei cicli (a), (b) e (c) si dimostra, in generale, come l'aggancio fra ciclo di verniciatura a base di rivestimento intumescente e supporto zincato aumenti in presenza dello strato di verniciatura intermedio e, in particolare, si evidenzia come l'adesione del ciclo sia più efficace quando lo strato di intumescente è coadiuvato dall'intermedio di tipo epossidico, il cui film notoriamente, è caratterizzato da una forte resistenza meccanica; inoltre, si può notare come la coesione fra i singoli strati dei prodotti vernicianti, che costituiscono i vari sistemi intumescenti proposti, diminuisca progressivamente passando dal primo all'ultimo strato dei componenti del ciclo applicato, come sia più tenace lo strato di primer epossidico rispetto al primer vinilacrilico e, infine, come i legami fra strati successivi di rivestimento intumescente siano caratterizzati da forze di rottura sensibilmente più "deboli".

Confrontando le misure di adesione rilevate sui provini del 1°, 2° e 3° GRUPPO si è potuto constatare che, a parità di sistema intumescente applicato, sottoposto a differenti periodi di invecchiamento, il dato di adesione migliora con l'invecchiamento del ciclo applicato. La cosa non stupisce, in quanto, generalmente, l'adesione di un sistema intumescente migliora con l'essiccamento profondo degli strati che compongono il ciclo di verniciatura stesso e, l'essiccamento fra i vari strati, progredisce nel tempo con l'invecchiamento del trattamento applicato.

Infine, confrontando i valori di adesione ottenuti sui cicli di verniciatura corrispondenti ai provini del 4° GRUPPO, con i valori rilevati sui corrispondenti provini del 1° GRUPPO, si sono potute ricavare altre interessanti considerazioni sulla "compatibilità" fra sistema intumescente e superficie zincata; ad esempio, si è verificata sperimentalmente un'ottima "compatibilità" fra la superficie del supporto zincato e l'applicazione di tutti i sistemi intumescenti proposti, compresi i trattamenti di tipo (d) ed (e) che comportano l'impiego dei "primers" comunemente suggeriti per la verniciatura industriale della lamiera zincata; da ultimo, si è potuto verificare sperimentalmente che anche prolungati periodi di esposizione all'esterno delle superfici zincate non compromettono la buona riuscita dei successivi trattamenti delle strutture con il sistema intumescente, anche quando il supporto è stato lasciato all'aperto, per parecchio tempo, esposto all'azione degli agenti atmosferici.

Lo spessore del ciclo di verniciatura applicato, ovvero, lo spessore dello strato risultante dalla somma degli spessori dei vari prodotti vernicianti che costituiscono il sistema in esame, è un fattore rilevante per assicurare la qualità delle prestazioni al fuoco dell'elemento costruttivo protetto con rivestimento intumescente.

Il rilievo dello spessore del sistema intumescente in esame, quindi, costituisce il parametro di riferimento per correlare le prestazioni al fuoco del sistema protettivo antincendio, in termini di contri-

buto di resistenza al fuoco dell'elemento strutturale trattato. Pertanto, durante la preparazione di tutti i provini da sottoporre alle prove di esposizioni al fuoco, si è provveduto ad eseguire un accurato e puntuale controllo degli spessori dei vari strati di prodotto verniciante applicato, accertando che le misure riscontrate rientrassero nei limiti di tolleranza previsti.

Anche dall'analisi dei dati di esposizione al fuoco dei vari provini esaminati, sono emersi numerosi riferimenti circa la qualità delle applicazioni proposte e le prestazioni dei cicli a base di rivestimento intumescente indicati per il trattamento delle strutture zincate.

In particolare, dall'interpretazione dei dati raccolti in Tabella 4, relativi all'esposizione al fuoco di elementi piani, con sezioni di diverso spessore, caratterizzati da un'ampia superficie esposta, utile per valutare l'adesione a caldo (fra supporto zincato e sistema intumescente) e la "tenuta" della schiuma durante il periodo di esposizione al fuoco, si è potuto verificare sperimentalmente la funzione positiva esercitata dal "primer". Infatti, mentre appare evidente che la formazione della schiuma e la capacità di espansione del sistema non è pregiudicata dall'assenza dell'intermedio di verniciatura, confrontando il comportamento al fuoco dei vari provini esposti si può facilmente notare come l'assenza del "primer" sui supporti trattati con il ciclo (a) determini il distacco prematuro della meringa protettiva e la conseguente caduta dei tempi di resistenza al fuoco conseguiti. Inoltre, si può notare come, a parità di elemento strutturale in esame, al comportamento al fuoco mostrato dai provini trattati con il sistema intumescente di tipo (c), corrispondano comportamenti al fuoco altamente variabili e, in generale, tempi di resistenza al fuoco peggiori di quelli mostrati dai corrispondenti elementi strutturali protetti con il sistema intumescente di tipo (b). La stessa tendenza è mostrata anche dai provini trattati con i cicli di verniciatura (d) ed (e), benché i risultati di resistenza al fuoco conseguiti durante le verifiche sperimentali sembrerebbero sottolineare una maggior efficacia dell'intermedio di verniciatura impiegato nel sistema intumescente di tipo (e).

Dal giudizio globale dell'insieme dei dati ottenuti, si riscontra che il sistema intumescente che prevede l'uso dell'intermedio epossidico, prima dell'installazione del rivestimento intumescente sulla superficie zincata (trattamento di tipo b), mostra un comportamento al fuoco decisamente favorevole, caratterizzato in generale da una buona espansione del rivestimento intumescente durante tutto il periodo di esposizione previsto, senza alcun distacco della schiuma isolante e con prestazioni al fuoco omogenee, sia in relazione alle differenti modalità di esposizione del supporto zincato (prima del trattamento) e/o di invecchiamento del ciclo applicato (non si registrano scostamenti evidenti dei tempi di resistenza al fuoco conseguiti), sia in relazione allo spessore crescente del supporto di prova (gli elementi a maggior spessore evidenziano il caratteristico incremento di resistenza al fuoco dovuto alla maggiore inerzia termica del supporto di prova).

I dati di Tabella 5, dove sono raccolti i risultati ottenuti nelle prove al fuoco eseguite su elementi

strutturali con diversa geometria e caratterizzati dallo stesso fattore di massa (elemento piano, colonna circolare ed elemento profilato) e quelli relativi alle esposizioni al fuoco effettuate su elementi aventi la stessa forma, ma caratterizzati da differenti fattori di massa (colonne con profilo ad H ad inerzia termica crescente), confermano le tendenze riscontrate precedentemente. A fronte di una buona correlazione generale di tutti i risultati di resistenza al fuoco ottenuti sui vari provini in esame, ancora una volta il sistema intumescente di tipo (b) offre un quadro più favorevole, presentando (su tutti i tipi di supporto zincato considerati) un comportamento più omogeneo e prestazioni al fuoco in linea con quelle ottenute su equivalenti sistemi protettivi applicati su analoghi elementi costruttivi di acciaio sabbiato.

Infatti, da un esame più approfondito di ciascun collaudo effettuato sui provini trattati con il sistema intumescente di tipo (c), in relazione agli equivalenti collaudi eseguiti sui provini protetti con il sistema intumescente di tipo (b), emergono (in generale) peggioramenti sostanziali in termini di prestazioni al fuoco dell'elemento strutturale in esame e, confrontando gli stessi dati (a parità di collaudo) con quelli relativi alle esposizioni di equivalenti

supporti di acciaio zincato trattati con il ciclo di verniciatura di tipo (a), si può osservare come la capacità di "reazione" del rivestimento intumescente del ciclo (b) esprima sempre risultati migliori, qualsiasi siano le condizioni di prova sperimentate ed indipendentemente dalla complessità della forma della superficie esposta al fuoco (ampia e aperta nella piastra; ad ampio raggio di curvatura nella colonna circolare; chiusa e compatta, in presenza di spigoli, angoli, ecc. negli elementi profilati).

Appare quindi molto probabile che il risultato positivo mostrato su tutte le strutture zincate trattate con il sistema protettivo antincendio di tipo (b), che sono state oggetto di questa sperimentazione, sia effettivamente dovuto alla presenza dell'intermedio di verniciatura epossidico, il solo in grado di assicurare con notevole efficacia l'adesione a caldo al supporto durante l'intero periodo di sviluppo della meringa protettiva e di esercitare un'ottimale azione coadiuvante nel mantenimento in sede della schiuma isolante, per tutto il periodo di esposizione al fuoco previsto, anche quando la complessità della geometria dell'elemento strutturale in oggetto offre condizioni di esercizio più sfavorevoli.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- | | |
|--|---|
| <p>(1) Trattamenti intumescenti su strutture zincate, Nicoletta Dalumi – Atti del Convegno AIZ "Resistenza al fuoco delle strutture zincate" – Milano, 12 novembre 1998.</p> <p>(2) Durabilità dei cicli di verniciatura a base di rivestimenti intumescenti per interno ed esterno, Nicoletta Dalumi – Atti del Convegno INAC "FIREPROOF 98" - Milano 26 marzo 1998</p> <p>(3) Trattamenti intumescenti su strutture zincate, Nicoletta Dalumi – Prevenzione e Sicurezza, n°8 Ottobre 1999</p> <p>(4) Norma UNI 10898-1 "Sistemi protettivi antincendio. Modalità di controllo dell'applicazione. Sistemi intumescenti"</p> <p>(5) Norma EN 13381-4 "Contribution to fire resi-</p> | <p>stance of structural members. Part 4. Applied protection to steel members".</p> <p>(6) ITALVIS PROTECT – Manuale Assicurazione Qualità</p> <p>(7) Sistema Qualità ITALVIS PROTECT - IDL 10.06 "Metodo M04. Determinazione della forza di adesione o coesione di un p.v."</p> <p>(8) Sistema Qualità ITALVIS PROTECT - IDL 10.02 "Prova di resistenza al fuoco"</p> <p>(9) Sistema Qualità ITALVIS PROTECT - IIDL 10.08 "Metodo M06. Determinazione dello spessore secco di un p.v."</p> <p>(10) Vernici intumescenti. Linee guida per un corretto utilizzo delle vernici intumescenti destinate alla protezione passiva dal fuoco. – Editore INAC, 1998 - Volume 6, La Rivista del Colore.</p> |
|--|---|