

**RIVESTIMENTI PROTETTIVI AD ALTA DURABILITA' PER
ACCIAIO CARATTERIZZATI DA BASSO RILASCIO DI S.O.V.
E BASSA IMPRONTA ECOLOGICA**

**HIGH DURABLE COATING SYSTEM FOR STEEL
PROTECTION HAVING VERY LOW VOC AND CARBON
FOOTPRINT**

Angelo Locaspi
Innoventions srl
Via Alberto da Giussano 3C/1 - 20092
Cinisello Balsamo (MI) Italy,
angelo.locaspi@innoventions.eu

ABSTRACT

Improvement of service life of steel construction passes through the synergistic use of galvanic protection and topcoats showing superior barrier properties and UV resistance. To update these targets means offering protective coatings having environmental issues as priority too. The present coating system shows 95% VOC reduction and low carbon footprint as the main features. LCA analysis in accordance with ISO 14040 and ISO 14044 is in yje pipeline. The protective system meets the performance requirements of ISO 12944.5-6: 2018, corrosive environment C5, durability H and VH even at lower thickness.

SOMMARIO

L'aumento della vita utile delle costruzioni metalliche passa attraverso il controllo dell'ossidazione dell'acciaio. Tra le varie tecnologie disponibili è stato mostrato che l'uso sinergico della protezione galvanica e di finiture ad alte proprietà barriera e resistenti agli UV rappresenta forse la soluzione ottimale in termini di rapporto costo/prestazioni.

La declinazione ed attualizzazione di questi obiettivi passa attraverso l'offerta di soluzioni che oltre alla durabilità garantiscano un basso impatto ambientale cioè nessun rilascio di SOV in applicazione e bassa impronta ecologica. L'analisi LCA secondo ISO 14040 and ISO 14044 è in preparazione.

Il sistema protettivo presentato soddisfa i requisiti prestazionali previsti da ISO 12944.5-6:2018 per ambiente corrosivo C5 e durabilità H e VH anche a spessore inferiori

1 PREMESSA

Prolungare la vita utile delle strutture consente una notevole riduzione dell'impatto ambientale sia in termini di rilascio di SOV¹ che dell'impronta ecologica. Infatti, la manutenzione anticorrosiva è un'operazione con costi energetici nettamente superiori a quelli dei rivestimenti protettivi applicati in stabilimento dovendo coinvolgere ingenti risorse in termini di apparecchiature, forza lavoro, sicurezza, smaltimenti, ecc. Per soddisfare gli obiettivi di riduzione impatto ambientale è necessario riformulare i rivestimenti protettivi e, forse ripensare alla tipologia dei protettivi stessi.

2 I CONCETTI DI BASE

L'ossidazione del ferro e delle sue leghe è un fenomeno elettrochimico che può essere ridotto o controllato mediante l'utilizzo di metalli di sacrificio quali lo zinco oppure interponendo strati di protettivi che riducono l'ingresso di acqua, ossigeno e ioni quali i cloruri che sono alla base del processo degradativo.

La norma che qualifica i rivestimenti protettivi per acciaio è la ISO 12944:2018 che è strettamente legata alla EN 1090-2. I criteri guida per la qualifica dei protettivi sono fissati nelle sezioni 12944-5:2018 e 12944-6:2018. Gli ambienti di esposizione sono descritti in ISO 12944-2:2018. La sezione 12944-5 della norma definisce le classi di pitture utilizzabili, la stratigrafia dei rivestimenti protettivi (da 1 a 3 strati) e lo spessore variabile da 60-360 micron. In Tabella 1 si riportano gli spessori minimi previsti dalla norma ISO 12944 in funzione di numero di strati e dei protettivi

Tabella 1. Estratto della norma ISO 12944-5:2018

Table B.2 — Summary of the minimum number of coats (MNO) and minimum NDFT of the paint system depending on durability and corrosivity category on abrasive blasted steel substrates

Durability	Low (l)			Medium (m)			High (h)			Very high (vh)			
	Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		Zn (R)	Misc.		
Type of primer	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	
Binder base of primer	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	
Binder base of subsequent coats	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	
C2	MNO	a			—	—	1	1	1	1	2	2	2
	NDFT	a			—	—	100	60	120	160	160	180	200
C3	MNO	—	—	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT	—	—	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNO	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	—
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	—
C5	MNO	2	2	—	2	2	—	3	2	—	3	3	—
	NDFT	160	180	—	200	240	—	260	300	—	320	360	—

The abbreviations are described in Table A.1. For single coats, the binder base of the primer is recommended.
In addition to polyurethane technology, other coating technologies may be suitable, e.g. polysiloxanes, polyaspartic and fluoropolymer [fluoroethylene/vinyl ether co-polymer (FEVE)].
a If a coating is desired, use a system from a higher corrosivity category or durability, e.g. C2 high or C3 medium.

¹ SOV acronimo di Sostanze Organiche Volatili: Si intendono quelle sostanze presenti nelle pitture aventi temperatura di ebollizione inferiore a 250°C a pressione atmosferica

La sezione 12944-6:2018 fissa le prestazioni che un rivestimento deve superare affinché sia adatto all'ambiente corrosivo ove esposto come riportato in Tabella 2.

Tabella 2. Estratto della norma ISO 12944-6:2018 delle prestazioni minime richieste a rivestimenti protettivi applicati su acciaio sabbiato

Table 1 — Test procedures for paint systems applied to carbon steel, hot dip galvanized steel or steel with thermal-sprayed metallic coating for atmospheric corrosivity categories

Corrosivity category as defined in ISO 12944-2	Durability ranges according to ISO 12944-1	Test regime 1			Test regime 2
		ISO 2812-2 (water immersion) h	ISO 6270-1 (water condensation) h	ISO 9227 (neutral salt spray) h	Annex B (cyclic ageing test) h
C2	low	—	48	—	—
	medium	—	48	—	—
	high	—	120	—	—
	very high	—	240	480	—
C3	low	—	48	120	—
	medium	—	120	240	—
	high	—	240	480	—
	very high	—	480	720	—
C4	low	—	120	240	—
	medium	—	240	480	—
	high	—	480	720	—
	very high	—	720	1 440	1 680
C5	low	—	240	480	—
	medium	—	480	720	—
	high	—	720	1 440	1 680
	very high	—	—	—	2 688

I test consistono nell'esposizione di pannelli metallici rivestiti per un certo numero di ore in camere dove si esaspera l'attacco da soluzioni di cloruri, acqua, UV ecc. Il limite di questi test, sebbene supportati da svariati decenni di esperienze è che non misurano l'evoluzione del fenomeno elettrochimico. E' un approccio empirico che vale sulle base delle esperienze condotte negli anni.

3 LA RIMODULAZIONE DEGLI OBIETTIVI TECNOLOGICI

La proposta di sistema protettivo che supera i limiti anche delle norme precedentemente descritte e con riduzione di SOV e riduzione di impronta ecologica, prevede l'uso sinergico di protezione galvanica e finiture ad alte proprietà barriera. I vincoli pratici e teorici da superare sono i seguenti:

- Soddisfare i requisiti prestazionali della norma ISO 12944-5/6:2018; in assenza del superamento di tali requisiti i rivestimenti protettivi non possono essere utilizzati in appalti e gare pubbliche
- Garantire protezione galvanica per tutto il periodo di esercizio; non sono requisiti previsti dalle norme ma regole di buon senso che sono l'essenza della prestazione.
- Assenza di impatto ambientale cioè riduzione SOV e basso dispendio energetico in applicazione
- Lunghissimi intervalli di manutenzione, dell'ordine di 50 anni, al fine di ridurre l'impronta ecologica perché il ripristino comporta un dispendio energetico.

4 LA PROTEZIONE GALVANICA DELL'ACCIAIO

Le tecniche tradizionali consolidate di protezione galvanica dell'acciaio prevedono la zincatura a caldo oppure anodi di sacrificio o le pitture zincanti. Il requisito fondamentale è che si instauri una differenza di potenziale elettrico maggiore di 0,8-0,9 Volt.

Il processo di zincatura a caldo e gli anodi esterni sacrificali garantiscono il raggiungimento dei valori suddetti mentre la maggior parte delle pitture zincanti sono di fatto inefficaci. I rivestimenti conosciuti come zincanti epossidici mostrano differenza di potenziale prossima a zero. Gli zincanti a base di silicato di etile nella versione a solvente o all'acqua mostrano valori superiori. La differenza di protezione galvanica tra le pitture di vari produttori è notevole.

Un'efficace protezione galvanica si ottiene con pitture zincanti² monocomponenti applicabili a freddo il cui contenuto di zinco metallico nel film secco è maggiore del 95%. Il livello di protezione galvanica è evidente dalla misura della differenza di potenziale tra vari rivestimenti mostrato in Figura 1



Fig. 1. Misura della differenza di potenziale tra acciaio e protettivo zincante secondo ASTM G215

5 PER UNA PIÙ DURATURA PROTEZIONE GALVANICA

L'applicazione di un ulteriore strato di rivestimento protettivo di alte proprietà barriera sull'acciaio galvanicamente protetto comporta un notevole incremento della durata della protezione complessiva. I sistemi duplex o triplex, finora disponibili solo nelle filiere industriali, sono diventati accessibili anche per le manutenzioni sul campo. Alcuni grandi committenti nazionali hanno recepito tali nuove soluzioni tecnologiche. Ad esempio, ENI sta avviando test su piattaforme

² Il prodotto di riferimento è denominato ZINGA® che soddisfa i requisiti della norma ASTM A 780-01 per la manutenzione dell'acciaio zincato a caldo.

³ J.F.H van Eijnsbergen, Duplex System Hot-dip Galvanizing Plus Painting Elsevier, 1994, Chapter 2, pag.8, Fig. II-1

offshore. Dal 2021 il prezzario ANAS prevede due di-versi cicli di manutenzione costituiti da fondi zincati e finiture fluorurate oppure epossilossaniche

6 LA RIDUZIONE DI SOV

Fermo restando gli obiettivi prestazionali descritti e fissati dalle norme e la necessità di garantire protezione galvanica, è necessario offrire nuovi sistemi protettivi.

I sistemi protettivi di nuova generazione prevedono l'utilizzo dei seguenti prodotti:

- Pitture zincanti a freddo a base acqua, di nuova concezione, privi di componente organica ma solo leganti a base inorganica, il contenuto di SOV è 0
- Pitture di finitura di tipo epossilossanico ed, in futuro anche poliuretanico, disponibili in qualsiasi colorazione RAL: il contenuto di SOV dovrà essere inferiore a 50 – 60 g/l.

Un sistema protettivo così costituito ha un rilascio di SOV dell'ordine di 5-10 g/m² di acciaio da rivestire. Attualmente i sistemi protettivi disponibili nell'ambito della manutenzione dell'acciaio hanno un rilascio di SOV dell'ordine dei 100 – 300 g/m² cioè 1 o 2 ordini di grandezza superiori.

7 IL CONFRONTO

Si riporta di seguito il confronto tra alcuni interventi di successo di protezione acciaio su opere d'arte e la nuova soluzione proposta.

Il ponte sul Po a Piacenza, realizzato nel 2012-13 è stata la prima opera d'arte oggetto di uno studio specifico di sostenibilità³. Nella realizzazione della nuova opera, l'analisi della LCA ha mostrato che il 70% dell'impronta ambientale è costituita dall'acciaio e dalle sue lavorazioni.



Fig. 2. Ponte su Po nei pressi di Piacenza, SS 9

Il totale del rilascio di SOV dovuto ai rivestimenti protettivi è riportato nella Tabella 3

⁴ Prezzario ANAS 2021 e 2022, cicli protettivi M5 e M6, voci di prezzo B.09.170.1.e/f

⁵ N. Mezzadri, G. Olivieri, F. Falconi, V. D'Amico, LCA per Environmental Product Declaration applicata al ponte stradale sul fiume PO; Ingegneria dell'Ambiente Vol. 3 n. 2/2016; pag. 125-134

Tabella 3. rilascio SOV nel corso dell'attività di verniciatura durante la costruzione

	u.m (l)	Diluente %	SOV g/l	SOV totali kg
Zincante epossidico	3.610	5	429	1.734
Fondo epossidico 1	12.870	5	367	6.038
Fondo epossidico 2	4.120	5	458	1.980
Intermedio epossidico	9.500	5	218	2.953
Finitura Fluorurata 1	4.480	5	480	2.259
TOTALE kg				14964

La superficie protetta dell'ordine di 50.000 m² circa, il rilascio di SOV è stato di circa 300 g/m². Un caso analogo simile al precedente ma di manutenzione straordinaria, è l'intervento sul Viadotto Prodino Grande sulla SS 585 nel 2017 descritto in Figura 3,

**Fig. 3.** Viadotto Prodino Grande, SS 585 fondovalle del Noce

Il sistema protettivo utilizza soddisfa i criteri della voce di prezzo ANAS B.09.155.d. La superficie protetta è stata di circa 10.000 m² ed il rilascio di SOV è riportato in Tabella 4.

Tabella 4. rilascio SOV nel corso dell'attività di verniciatura di manutenzione

	u.m (l)	Diluente %	SOV g/l	SOV totali kg
Zincante epossidico	1260	5	439	616
Fondo epossidico	3.720	5	210	967
Finitura Fluorurata 2	1.180	10	340	520
TOTALE (kg)				2103

Il rilascio complessivo di SOV è stato di circa 200 g/m². Il criterio progettuale adottato soddisfaceva i requisiti previsto dalla voce di prezzo ANAS B.09.155.d

Un terzo caso è la manutenzione straordinaria del Viadotto Platano su RA5 in Figura 5.



Fig. 4. Viadotto Platano su RA 5

La superficie trattata è stata di circa 40000 m², protetta secondo i criteri progettuali previsti dalla voce di prezzo ANAS B.09.170.1.b, ciclo M2. Il rilascio di SOV è descritto in Tabella 5.

Tabella 5. rilascio SOV nel corso dell'attività di verniciatura di manutenzione

	u.m (l)	Diluyente %	SOV g/l	SOV Totali kg
Fondo epossidico di tipo surface tolerant	11370	5	210	2970
Finitura Fluorurata 2	4230	10	340	1860
TOTALE (kg)				4830

Il rilascio complessivo di SOV è stato di circa 120 g/m² per un sistema protettivo privo di attività galvanica, perciò, con protezione solo passiva.

Un intervento su superfici metalliche dell'ordine di 1000 m² con rivestimenti protettivi che utilizzano in maniera sinergica la protezione galvanica e le finiture barriera, mostrano un modestissimo rilascio di SOV come in Tabella 6.

Tabella 6. rilascio SOV nel corso dell'attività di verniciatura nel corso della manutenzione con sistema protettivo misto (Duplex) galvanico più finitura

	Quantità	Diluyente %	SOV g/l	SOV totali kg
Pittura zincante all'acqua tipo Aquazinga	330 kg	Acqua	0	0
Finitura epossilossanica	110 litri	5	50	10
TOTALE (kg)				10

La voce di prezzo del prezzario ANAS 2022 è B.09.170.1.f. Il sistema descritto supera i test di resistenza alla nebbia salina per la classe C5-H cioè 1440 ore di nebbia salina, secondo ISO 9227 senza blistering e con profondità di penetrazione inferiore a 1 mm.



Fig. 5. campioni di Aquazinga + Sil-Epoxy dopo 1440 ore di test

CONCLUSIONI

L'evoluzione delle norme e della sensibilità ambientale obbliga gli attori del mercato a sviluppare sistemi protettivi più sostenibili in termini impronta ambientale, di carichi energetico e rilascio di SOV. La proposta presentata oltre ad essere già parte dei capitolati e dei prezzari di importanti committenti nazionali ed internazionali, consente un notevole aumento della durata degli interventi di manutenzione offrendo protezione galvanica all'acciaio.

PAROLE CHIAVE

CTA2022, Steel protection, Protective coating, VOC reduction, Durability, Galvanic protection.