

Applicazioni di pitture ad alta durabilità

1

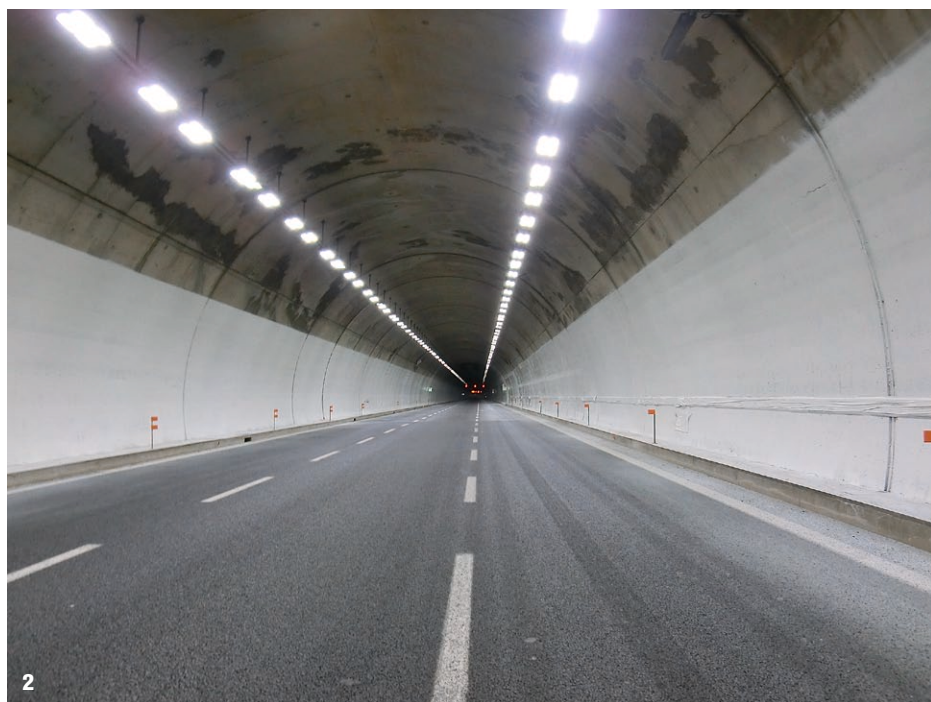
Angelo Locaspi
Ingegnere
Innoventions

GIÀ IMPIEGATI CON SUCCESSO IN AMBIENTI FORTEMENTE CORROSIVI (COME IL SETTORE MARINO), SI STANNO DIFFONDENDO ANCHE NEL CAMPO DELLE GALLERIE RIVESTIMENTI A BASE DI LEGANTI SILOSSANICI CHE, DAL PUNTO DI VISTA CHIMICO, SONO ACCOSTABILI ALLA CERAMICA O AL VETRO PERCHÉ A BASE DI SILICIO. TRA I PUNTI DI FORZA: DURABILITÀ, FACILITÀ DI PULIZIA, VERSATILITÀ DI APPLICAZIONE, BUONA COMPATIBILITÀ CON MATERIALI FOTOCATALITICI. DI SEGUITO, PRESENTIAMO UNA RASSEGNA DI APPLICAZIONI GIÀ PORTATE A TERMINE: DALL'ECO-TUNNEL DI ORTISEI ALLE GALLERIE DELL'A1.

Un ciclo innovativo di pitturazione dell'interno delle gallerie, basato sull'applicazione di rivestimenti silossanici e messo a punto in diverse varianti per potersi adattare al meglio ai vari supporti preesistenti, può rappresentare una nuova risorsa nel settore dei rivestimenti ad alta riflessione. L'assunto trova conferma nei risultati della ricerca, ma anche e soprattutto in quelli ricavati dalle ormai numerose esperienze applicative sul campo, che vanno dalla galleria Petlin di Ortisei (SS 242 gestita dalla Provincia Autonoma di Bolzano, giugno 2010) ai recentissimi interventi eseguiti in tunnel di importanti strade statali nazionali, passando per una serie di storie applicative che hanno riguardato alcune gallerie dell'Autostrada del Sole di cui renderemo conto con maggiore dettaglio. Il filo conduttore, una nuova generazione di rivestimenti silossanici sviluppati da Innoventions e caratterizzati da una serie di punti di forza: dal contenuto livello di investimento ai bassi costi di manutenzione e pulizia, dall'eccellente protezione da cloruri e alti livelli di anticarbonatazione all'applicabilità su superfici cementizie nuove, recenti già verniciate, non recenti e con contenute venute d'acqua. Si tratta, inoltre, di soluzioni a base di prodotti atossici privi di solventi organici volatili, non infiammabili, che non rilasciano fumi tossici, certificate da enti terzi e vincolabili a polizze assicurative a protezione del rischio di distacco e decadimento delle prestazioni. Infine, possono essere applicate anche su supporti metallici per ripristinare la riflettanza originaria di pannelli degradati o corrosi. Se in ambito stradale l'impiego di questi prodotti è, nonostante le *best practice* già in catalogo, relativamente recente, la tecnologia che lo supporta vanta una lunga storia di applicazioni: i rivestimenti silossanici, infatti, sono impiegati con successo da svariati decenni in altri settori industriali e in ambienti fortemente corrosivi come il settore marino, dimostrando una longevità tale per cui in ambienti privi di radiazione UV - come le gallerie - è presumibile prevederne una vita utile superiore ai 40-60 anni.

1. Galleria Petlin sulla SS 2424 a Ortisei (Bolzano): è il primo tunnel trattato con pitture silossaniche a lunga durabilità

2. Trattamento in progress nella galleria Melarancio I sull'Autostrada del Sole



2

La verniciatura tradizionale: pro e contro

I problemi principali dei sistemi tradizionali di verniciatura di gallerie riguardano aspetti quali la manutenibilità e la durabilità, che hanno ricadute su altri fattori quali la qualità percepita del servizio, il rispetto nel tempo degli *standard* del progetto illuminotecnico e il risparmio energetico connesso alla possibilità di regolazione degli impianti di illuminazione installati. Per entrare ulteriormente nel dettaglio, grazie all'attività svolta in collaborazione con i principali gestori di infrastrutture, abbiamo individuato una serie di punti di forza e di debolezza di alcuni sistemi di verniciatura tradizionale.

Per quanto riguarda l'utilizzo di vernici epossidiche nel trattamento dei piedritti, per esempio, è possibile evidenziare vantaggi quali l'economicità (basso costo unitario), la velocità di posa, il buon allungamento con elevato *crack bridging*, una buona adesione sul calcestruzzo, nonché una buona stabilità del colore bianco in atmosfera priva di radiazione UV (grazie alla componente acrilica).

Viceversa, tra gli svantaggi vanno sottolineati fattori quali la maggiore complessità di posa dovuta all'uso di prodotti bicomponenti; l'elevata presa di sporco (*dirt pickup*); la difficile pulizia (necessità di idrolavaggi ad alta pressione con aggiunta di tensioattivi; leggi: ridotta manutenibilità), una discreta permeabilità al vapore acqueo con scarsa permeabilità all'acqua liquida: una placca impedisce infatti il deflusso dell'acqua, che ristagna sul supporto; infragilimento nel tempo, una rapida riduzione della riflessione della luce a causa dello sporco (ridotta durabilità dei cicli di lavaggio/pulizia). Un'altra valutazione ha quindi riguardato l'impiego di piedritti trattati con calce-tempera.

Tra i vantaggi: economicità (costo unitario molto basso), velocità di posa, igienizzazione del supporto con distruzione di muffe. Tra gli svantaggi: in poche settimane la calce reagisce con CO₂ e con SO₂, formando rispettivamente carbonato di calcio e solfato di calcio e vanificando l'effetto sanificante; carbonati e solfati costituiscono una placca che impedisce il deflusso dell'acqua che ristagna sul supporto, causando distacchi per placche; lo sporco si deposita indelebilmente sulla superficie, rendendo necessaria l'idroscarifica con una pressione minima di 60-80 MPa; scarsa adesione sulle doghe metalliche; rapida riduzione della riflessione della luce: sono necessarie più applicazioni all'anno per ottenere una riflessione maggiore del 50%.

Caratteristiche e sviluppo delle pitture silossaniche

La soluzione di cui intendiamo occuparci consiste invece, come anticipato, in una nuova generazione di pitture a base di leganti silossanici che, dal punto di vista chimico, sono quelli più vicini alla ceramica o al vetro perché a base di silicio. I nuovi rivestimenti hanno le seguenti caratteristiche:

- le pitture sono prive di sostanze organiche volatili e hanno una bassissima viscosità;
- possiedono un'elevatissima durezza superficiale e un'altissima resistenza all'abrasione;
- non sono infiammabili e non rilasciano fumi tossici;

- offrono bassissima presa allo sporco e sono facili da pulire con acqua senza tensioattivi;
- se formulate con pigmenti ad alta riflessione della luce consentono di ottenere una riflettanza >90% sullo spettro della luce visibile, cioè da 400 a 700 nm;
- sono idrorepellenti e talvolta oleorepellenti, ovvero con spiccate caratteristiche antigraffiti di tipo permanente;
- possiedono una bassissima permeabilità all'acqua liquida, e perciò a cloruri e ioni in generale ($0,004 \text{ g/m}^2 \text{ hr } 0,5$) - *crack bridging* chimico; e una buona permeabilità al vapore acqueo ($\mu\text{H}_2\text{O}$ circa 14.000 per spessore di 50 μm secchi);
- possiedono bassa permeabilità alla CO_2 (μCO_2 circa 520.000 per spessore di 50 μm secchi);
- sono applicabili indifferentemente su supporti cementizi e/o metallici.

Pitture a base di leganti silossanici sono disponibili sul mercato dalla fine degli anni '40. Le principali applicazioni nel settore industriale riguardano l'antiaderenza per uso domestico (*cookware*) e industriale (stampi, rivestimenti elettrici), le alte temperature di esercizio (fino a 800°C , forni, eccetera), il trattamento delle facciate di edifici e monumenti e numerose altre applicazioni. L'utilizzo iniziale nel settore delle gallerie stradali è stato motivato principalmente dalla richiesta di rivestimenti compatibili con l'utilizzo del biossido di titanio fotocatalitico. Il pigmento in questione contribuisce al degrado dei supporti organici sui quali è applicato, in quanto catalizza l'azione distruttiva della luce in generale e della quota di radiazione ultravioletta in particolare. Gli unici polimeri organici non soggetti a foto-ossidazione anche in presenza di TiO_2 sono i *coating* da fluoropolimeri o da polisilossani.

Tra i rivestimenti inorganici si annoverano quelli a base di silicati, caratterizzati però dall'alta presa di sporco. È infatti accaduto che in moltissimi casi l'utilizzo del TiO_2 fotocatalitico sia stato vanificato dall'applicazione su comuni idropitture non resistenti alla foto-ossidazione. Il TiO_2 catalizza sia l'ossidazione delle sostanze organiche che si depositano sulla superficie, sia il supporto, portando al dilavamento del catalizzatore stesso.

È stato di frequente osservato che il TiO_2 , dopo 3-6 mesi dall'applicazione, non svolge più la prevista funzione ossidante perché non è più presente sulle superfici dove è stato applicato. Al contrario, quando il supporto è protetto (o decorato) con pitture fluorurate, silossaniche o ai silicati, la fotocatalisi dovuta alla presenza di TiO_2 è efficace per lungo tempo perché il supporto non è soggetto a degrado. Il primo lavoro in cui il ciclo di rivestimento costituito da un fondo silossanico e da una finitura di pochi nanometri a base di TiO_2 fotocatalitico è stato applicato con successo è la galleria Petlin a Ortisei (Bolzano) sulla SS 242, nel giugno 2010 (ne riparleremo in seguito).

Esempi applicativi

Per quanto riguarda le esperienze applicative di rivestimenti silossanici di ultima generazione, prima di analizzare nel dettaglio alcune *best practice* particolarmente significative, citiamo i casi più recenti. Ricordando, naturalmente, che questi risultati (nell'ultimo mese, per esempio, sono stati pitturati

ben 100.000 m^2 di superficie) hanno origine nelle esperienze che descriveremo in seguito.

Tra l'estate e novembre sono state trattate le nuove gallerie della SS 125 Orientale Sarda (rete Anas). L'applicazione è stata condotta da SCT Srl con apparecchiature sviluppate *ad hoc* per ottimizzare cicli e tempi di lavorazione, ridurre l'*overspray* e aumentare la sicurezza di ambiente e operatori. Il progetto prevedeva il trattamento delle tre nuove gallerie Marapintau (1.290 m), Is Stellas (213 m) e Murtinettu (2.590 m). Il ciclo, nello specifico, è consistito nel trattamento della superficie cementizia dei tunnel stradali con tre tipologie di prodotto: fondo acrilico all'acqua di colore bianco, finitura epossisilossanica trasparente, trattamento finale a base di biossido di titanio fotocatalitico. Il trattamento è stato applicato su 65.000 m^2 di superficie cementizia.

Sempre a novembre sul tratto Sasso Marconi-Rioveggio dell'A1 (rete autostradale gestita da Autostrade per l'Italia), sono stati quindi trattati altri quattro forni: Campolungo (260 m, Nord e Sud) e Gardelletta (800 m, Nord e Sud). Analogo trattamento è stato condotto lungo il tratto Scandicci-Impruneta dell'A1 sulla galleria Casellina (450 m, Nord e Sud). Il ciclo, applicato a cura di Idromig Srl, è consistito in un fondo acrilico applicato su una superficie cementizia già pitturata, nonché in una finitura epossisilossanica bianca. Idromig ha sviluppato un impianto di pitturazione mobile basato su *know-how* proprietario in grado di applicare 100 micron secchi di pittura epossisilossanica, a una velocità di 80 m/minuto (4,800 km/ora) che in termini di pitturazione equivalgono a quasi 20.000 m^2 /ora nel caso di piedritti alti 4 m con un consumo di 1.600-2.000 litri/ora di pittura.

Il test nella galleria Citerna (autostrada A1)

Proseguiamo la rassegna esemplificativa con il caso autostradale della galleria Citerna (autostrada A1) in cui è stato applicato un rivestimento composto da vernici silossaniche prive di solventi. Il primo campione è stato realizzato sul piedritto destro della galleria, direzione Sud. In base all'esperienza maturata con precedenti *test* di lavaggio ci si è posti l'obiettivo di mettere a punto una soluzione che migliorasse le attuali tecnologie, con il duplice scopo di ridurre i costi di esercizio e aumentare le prestazioni del rivestimento. I risultati attesi hanno trovato conferma. Sono stati riscontrati: un elevato fattore di riflessione della luce (media >80%); un'elevata resistenza allo sporco (basso *dirt pickup*); una notevole facilità di lavaggio con l'uso esclusivo di acqua a bassa pressione, senza l'impiego di tensioattivi di qualsiasi natura e/o spazzole. Il prodotto applicato è idrorepellente (angolo di contatto con l'acqua > 100°) e privo di solventi. Il rivestimento è incombustibile e privo di rilascio di fumi tossici¹. La soluzione è stata applicata in condizioni di esercizio piuttosto gravose, ma reali: ovvero non su piedritti in costruzione ma in esercizio da decenni e con problemi di infiltrazioni d'acqua. Questo ha consentito di ampliare gli obiettivi della prova mettendo in evidenza l'applicabilità dei prodotti su supporti in calcestruzzo, anche a superficie irregolare, precedentemente trattate con calce e/o idropitture di varia natura, l'applicabilità su pannelli in alluminio e acciaio inox e, in generale, i tempi ridotti di applicazione ed essiccazione.



3. Galleria Marapintau (SS 125 Orientale Sarda)

4. La galleria Citerna (A1) prima dell'applicazione. Le superfici in cls, che erano state trattate con calce, hanno richiesto un'idroscarifica di 2-10 mm per eliminare le parti ammalorate

5, 6. Trattamento delle superfici in cls: applicazione di idropittura acrilica ad alta copertura (fig. 4) e della finitura trasparente silossanica (fig. 5).

7. La galleria dopo la realizzazione dell'intervento per il test

8. Lavaggio delle superfici con idrogetto a 35 MPa

9. Le superfici dopo il lavaggio: si possono notare, anche dopo due mesi di esposizione, la brillantezza, il ridotto sporco della superficie verniciata e il contrasto con quella trattata negli anni con calce

Le superfici prima della prova e preparazione (22-23 marzo 2011)

Il calcestruzzo era stato trattato con calce alcuni mesi prima della prova. La preparazione della superficie è consistita nell'idroscarifica con pressione di 50-60 MPa per rimuovere gli strati applicati a più riprese negli anni precedenti e le eventuali parti ammalorate per uno spessore variabile da 2-5 mm a 10 mm circa.

I prodotti utilizzati

Il fondo colorato era costituito da smalto acrilico all'acqua Acricoat W.1310, a elevata permeabilità al vapore acqueo e con buone caratteristiche elastomeriche. La finitura silossanica SIL-EPOX HD 506, al 100% di secco - e perciò priva

perficie, cavità incluse, per uno spessore secco di 50-70 μm . Nella successiva fase di lavaggio, nonostante la superficie si presentasse altamente corrugata, non si sono registrate difficoltà nella rimozione dello sporco. Il medesimo trattamento è applicabile su acciaio porcellanato, alluminio naturale o preverniciato, acciaio inox, ceramica, pietre naturali, FRP, vecchie pitture epossidiche o ceramiche: dopo il lavaggio delle doghe o dei pannelli in generale, sulla superficie asciutta si applica a spruzzo una mano unica di finitura silossanica di colore bianco, per una quantità unitaria di circa 90-150 g/m^2 .

Test di lavaggio e misura del fattore di riflessione (18-19 maggio 2011)

Il test di lavaggio delle superfici verniciate è stato effettuato a circa due mesi dall'intervento di verniciatura, con il solo utilizzo di acqua a una pressione di prova di 35 MPa, necessaria a verificare soprattutto l'adesione della vernice al supporto in calcestruzzo: in condizioni normali per la sola rimozione dello sporco sarebbero stati più che sufficienti 5/10 MPa. A riprova di ciò in alcune zone è stata applicato un getto a una pressione di 50 MPa (pari a quella impiegata in precedenza su supporto verniciato con pittura epossidica-acrilica), senza che ciò abbia causato distacchi o sollevamenti della pittura. Le misurazioni del 19 maggio hanno permesso di constatare, sulle superfici di calcestruzzo, un fattore di riflessione di 0,64 prima del lavaggio (dopo due mesi d'esercizio) e di 0,80 dopo il lavaggio.

4

5

6

7

8

9

1. I rivestimenti sono stati sottoposti a vari test in funzione delle applicazioni e dei supporti. Nel caso del trattamento dei calcestruzzi, la norma di riferimento è la UNI ISO EN 1504-2 che impone di certificare la reazione al fuoco dei rivestimenti secondo la norma ISO 13501-1. I test condotti secondo questa norma danno come risultato: reazione al fuoco classe B, sviluppo fumi classe S1, parti infiammate D0. Nel settore ferroviario, dove a nostro giudizio si utilizzano i criteri più severi, il rivestimento è classificato come non infiammabile (Classe 1A) nel test di reazione al fuoco - secondo la UNI 8457, UNI 9174 e UNI 9176; privo di rilascio di fumi tossici secondo la UNI CEI 11170 in classe F1 e con densità ottica dei fumi 250.

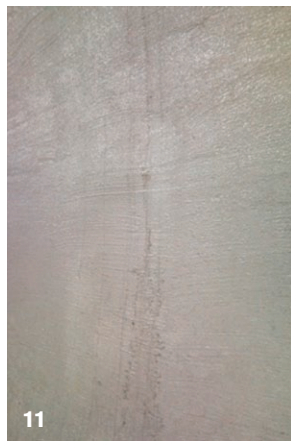
di solvente o acqua di diluizione - è disponibile sia come pittura trasparente da applicare sul fondo acrilico in tinta, sia come finitura colore bianco per applicazione in mano unica.

Il ciclo di verniciatura (22-23 marzo 2011)

Sulla superficie in calcestruzzo è stata applicata a spruzzo l'idropittura acrilica ad alta copertura, per una quantità unitaria di 200-250 g/m^2 circa, in due mani a breve distanza di tempo (circa 60'). Spessore a secco 50-60 $\mu\text{m}/\text{mano}$. È stata quindi applicata la finitura trasparente silossanica, per una quantità unitaria di circa 70-90 g/m^2 in mano unica. Sebbene il calcestruzzo non fosse stato preventivamente rasato, la pittura ha ricoperto perfettamente l'intera su-

Il caso di Ortisei: la gestione delle venute d'acqua

I piedritti della galleria Petlin della SS 242 presso Ortisei (Bolzano), inaugurata nel giugno 2010, sono stati ripristinati con un ciclo analogo a quello utilizzato nella galleria Citerna Sud: idroscarifica e successiva verniciatura in doppia mano con l'applicazione del fondo acrilico e finitura trasparente silossanica. Un sopralluogo svolto il 14 giugno 2011 ha permesso di constatare che la presenza di venute d'acqua non ha comportato la formazione di *blistering* o di distacco del rivestimento. La rottura localizzata del rivestimento consente il deflusso dell'acqua senza pericolosi fenomeni di accumulo e spandimento sottopellicolare. L'acqua, inoltre, fluisce sul rivestimento rivelando la sua presenza con macchie localizza-

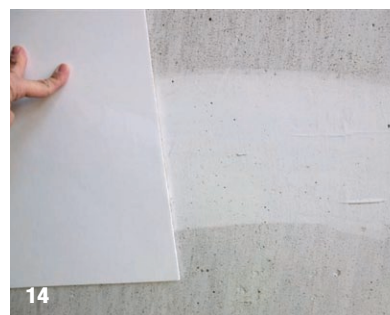


te di modesta entità, facilmente pulibili (è stato sufficiente un semplice spruzzatore a mano contenente acqua). Non si è riscontrata presenza di muffe, il che ne indica la mancata proliferazione senza necessità di trattamenti biocidi specifici. Dopo 12 mesi dall'applicazione, il consumo di energia elettrica per l'illuminazione si era ridotto del 40% e la pulizia era condotta solamente due volte l'anno.

Altri risultati hanno confermato la costanza della prestazione riscontrando:

- un elevato fattore di riflessione della luce dopo lavaggio (valore medio >80%);
- un'elevata resistenza alla presa di sporco (basso *dirt pickup*);
- un'estrema facilità di lavaggio con l'esclusivo uso di acqua a bassa pressione, senza l'impiego di tensioattivi di qualsiasi natura e/o di spazzole.

L'applicazione a Ortisei è stata eseguita dalla SCT Srl. La decisione di utilizzare TiO_2 fotocatalitico (vedi paragrafo precedente) è stata presa dal committente in accordo con gli enti locali. La presenza di TiO_2 ha influenza marginale sulla pulibilità del supporto, garantita dalla finitura silossanica, la cui bassa presa di sporco e le caratteristiche di durata non sono influenzate dalla presenza del TiO_2 . La presenza di TiO_2 fotocatalitico riduce fortemente l'idrorepellenza della finitura silossanica, trasformando il rivestimento da idrofobo in idrofilo. Secondo alcuni le superfici idrofile, ovvero a basso angolo di contatto con l'acqua, sono più facilmente pulibili perché l'acqua si interpone più facilmente tra la superficie da pulire e lo sporco. Nel caso specifico si perde però una caratteristica importante in termini di basso assorbimento d'acqua e di cloruri: il vantaggio di ottenere rivestimenti caratterizzati da *crack bridging* chimico.



Test su altre gallerie autostradali

Test analoghi a quelli condotti sulle pareti della galleria Citerna Sud sono stati condotti nella galleria Monte Mario, rivestita con vernici epossidiche, così come le gallerie Allocco, Vado, Campolungo, Gardelletta e Casellina, per verificare la compatibilità del ciclo di verniciatura e per estenderne l'impiego anche in vista della riqualificazione dei piedritti delle gallerie. Questo il ciclo messo a punto:

- pretrattamento: applicazione di tensioattivi biodegradabili e successivo lavaggio con acqua ad alta pressione (60 MPa);
- verniciatura: applicazione di una mano unica di colore bianco di pittura silossanica ad alto residuo solido: 95-100% di solidi in volume.

Melarancio II

Il 3 agosto 2011 è stato inaugurato il nuovo tratto autostradale a tre corsie dell'A1 dal km 291 a Firenze Sud per una percorrenza di circa 10 km. Sul percorso sono presenti quattro nuove gallerie per un totale di circa 3.800 m: Melarancio I (1.100 m), Melarancio II artificiale (162 m), Lastrone (80 m), Pozzolatico (2.500 m). A fine luglio sul piedritto destro della Melarancio II è stato applicato il nuovo ciclo, per verificare i vantaggi della tecnologia provata con successo nella galleria Citerna Sud. Le operazioni di pitturazione - date le dimensioni limitate dell'intervento: circa 800 m² - sono state eseguite senza usare impianti automatici. Il fattore di riflessione del rivestimento a nuovo era superiore al 90%. Dopo circa cento giorni dall'applicazione era già evidente l'ottima resistenza allo sporco, unita a un'eccellente facilità di pulizia. Test più approfonditi sono stati condotti da un ispettore di un'importante compagnia di assicurazione nel gennaio 2012. È infatti allo studio una polizza assicurativa che garantisca per un congruo periodo di tempo le prestazioni del rivestimento. In particolare il progetto di polizza assicurativa coprirebbe il rischio da distacco, *blistering* e variazione delle caratteristiche di pulibilità per un periodo di cinque anni dalla data di ultimazione lavori.

Il test decisivo di pulibilità è stato realizzato l'8 marzo 2012. L'intero piedritto è stata lavato manualmente impiegando un'idropulitrice alla pressione, relativamente modesta, di 20 MPa; circa 2.000 litri di acqua di pozzo, senza alcun additivo². L'operazione ha richiesto circa 90 minuti di tempo e l'intervento di un solo operatore. Prima del lavaggio, dopo 220 giorni di esercizio, la riflessione era circa del 50%. Dopo il lavaggio la riflessione è risalita all'80% circa, raggiungendo il 90% dove si poteva operare con maggiore accuratezza concentrando l'azione dell'idrogetto.

10. Particolare della galleria Petlin di Ortisei appena dopo la fase di verniciatura

11. Dettaglio del piedritto della stessa galleria durante un sopralluogo a un anno dall'applicazione: nonostante la presenza di venute d'acqua non si è verificato alcun distacco né alcuna formazione di muffa; le macchie sono facilmente pulibili

12, 13. Intervento sulle pareti della galleria Melarancio II, sull'A1

14. Melarancio II: confronto tra la superficie della galleria pulita a secco con un pannello di cotone e un pannello cementizio utilizzato come campione di riferimento, preparato nel luglio 2011: non c'è nessuna variazione di colore

15, 16, 17. La misurazione della riflessione prima del lavaggio (fig. 15), dopo il lavaggio con idrogetto a 20 MPa (fig. 16) e dopo il successivo passaggio con un pannello di cotone (fig. 17)

2. Le caratteristiche di pulibilità delle superfici trattate con sistemi polisolfonici sono tali da consentire la pulizia con sola acqua a bassa pressione (< 20 MPa) senza necessità di aggiungere miscele di tensioattivi o *chemicals*. Tali prodotti, sebbene migliorino il livello di pulizia, hanno un notevole impatto sull'economicità del processo complessivo. Le acque reflue non possono essere disperse nell'ambiente ma devono essere raccolte, filtrate, depurate e rimesse in circolo. Nel caso del *test* descritto l'acqua è stata convogliata nei canali di scarico e, una volta in vasca, gli inquinanti sono stati recuperati per decantazione. Il costo di tale operazione, in presenza di canali di convogliamento, è praticamente nullo. Nel caso di tensioattivi, che tendono a formare schiuma, il rischio di inquinamento è molto elevato, con notevole aggravio dei costi e del rischio di incorrere in pesanti sanzioni amministrative e penali nel caso che il danno venga reiterato.



15



16



17

Dal test è possibile ricavare molte informazioni, tra le quali il *trend* del decadimento temporale del fattore di riflessione. Dati alla mano, si osserva una progressiva riduzione di circa il 5%/mese. Un analogo risultato era stato constatato nel maggio 2011 in occasione dei *test* di lavaggio nella galleria Gardelletta Sud. Assegnando un valore minimo di riflessione del 50% e un valore massimo dell'80% - e ben al di sopra degli *standard* fissati dall'IVCA4 e dalla norma UNI 11095/11 - si deduce che è sufficiente lavare le superfici dei piedritti con un semplice idrogetto ogni sei mesi per rientrare nei parametri indicati, garantendo sicurezza e risparmio energeti-

co. La differenza di riflessione relativamente modesta prima e dopo un ciclo di lavaggio consentirebbe di dimensionare gli impianti di illuminazione delle nuove installazioni in maniera molto più accurata, riducendo i costi di acquisto dei corpi illuminanti e i costi di esercizio.

Ringraziamo l'ingegner Marco Pellicanò, all'epoca dei *test* descritti alla Direzione Tecnica del IV Tronco di Autostrade per l'Italia, per il contributo in termini di definizione degli obiettivi, messa a punto della tecnologia applicativa e supporto logistico per la realizzazione delle prove. ■■

Tra vernici e pannelli ceramici: la lunga storia dei rivestimenti in galleria

I primi esempi di applicazioni di pitture in galleria riguardano il settore ferroviario. L'esigenza era quella di creare le condizioni per segnalare la via di fuga al macchinista e ai passeggeri nel caso che il treno si fosse fermato in galleria per guasti o incendio. Era perciò necessario che la segnalazione di sicurezza, costituita da strisce bianche inclinate nella direzione della nicchia più vicina, avesse caratteristiche di alta visibilità, nonché di durata per contenere i costi di riverniciatura. Tecnicamente il problema è lo stesso da oltre due secoli: trattare le pareti delle gallerie con sistemi riflettenti che siano di supporto a sorgenti luminose ad alta efficienza e basso consumo. Un ambiente più luminoso aumenta la sicurezza, sia nel normale esercizio sia in emergenza. Un ambiente più sicuro consente anche velocità mediamente più alte. Le soluzioni abitualmente adottate per aumentare la riflessione della luce in galleria consistono in pitturazioni più o meno sofisticate e in pannellature. Le soluzioni devono soddisfare alcuni requisiti:

- elevata riflessione della luce;
- bassa presa di sporco associata a eccellente pulibilità con acqua o altre tecniche economiche e non inquinante;
- modesto investimento iniziale e altrettanto bassi costi di gestione: nel caso di lastre, alto investi-



18. Rivestimenti ceramici

mento e basso costo di gestione; nel caso di pitture, basso investimento e alto costo di gestione;

- rivestimento non infiammabile e che non rilasci fumi tossici in caso di incendio;
- rivestimento impermeabile ad acqua liquida, cloruri e altre sostanze aggressive per i supporti cementizi o metallici.

Secondo il prezzario Anas 2011 il costo per ottenere un livello di riflessione iniziale minimo del 50%, secondo quanto richiesto dalla norma UNI 11095/2011, può variare da 2,50 €/m² nel caso di applicazione di pitture a base di calce fino a oltre

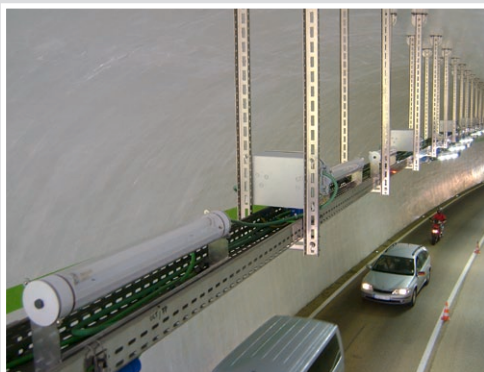
140,00 €/m² nel caso di rivestimenti con pannelli ceramici. Il ventaglio di opzioni tecnologiche è molto ampio e non sempre le soluzioni più costose garantiscono maggiore durabilità. La questione è nota agli attori del mercato e di frequente la scelta ricade sulla soluzione più economica, che ha lo svantaggio di non essere più recuperabile e mantenibile. In taluni casi si è osservato che, dove era stato previsto l'utilizzo di rivestimenti protettivi ad alta durabilità, l'intervento è stato inficiato da una manutenzione non corretta; oppure che, invece di praticare il lavaggio previsto, si è riverniciato con calce o carbonato di calcio rendendo impossibile il raggiungimento delle prestazioni previste.

È evidente che la soluzione migliore consiste nell'applicare a temperatura ambiente, preferibilmente sul campo, un *coating* che abbia le caratteristiche di un rivestimento ceramico. Molte pitture sviluppate negli ultimi 50 anni, invece, sono a base di resine epossidiche che contengono grandi quantità di cariche minerali. Il limite di queste soluzioni è che la colorazione dipende dal contenuto e dalla qualità delle cariche, oltre che dal forte ingiallimento tipico delle resine epossidiche che diventano scure anche in assenza di luce. Le caratteristiche di riflessione della luce, così, possono decadere nel tempo, anche se le caratteristiche di pulibilità restano buone.

La revisione della norma UNI per l'illuminazione delle gallerie

Giuseppe Rossi

INRIM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica



La recente revisione della norma UNI 10095:2011 sugli impianti di illuminazione delle gallerie rappresenta un'importante evoluzione tecnica, che coniuga sicurezza del traffico e risparmio energetico, secondo le indicazioni previste dal decreto del 14 settembre 2005 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

La nuova norma

La norma UNI 10095:2003 è stata recentemente sostituita da una nuova edizione che considera l'evoluzione tecnica (per esempio l'introduzione di apparecchi di illuminazione a LED), normativa (la pubblicazione della norma UNI 11248:2007 relativa alla selezione delle categorie illuminotecniche per l'illuminazione stradale) e legislativa (il decreto "Norme di illuminazione delle gallerie stradali" sopra citato). La norma, pur non rivoluzionando i concetti alla base della metodologia progettuale, applica un sostanziale miglioramento nella nomenclatura e nelle formule, che legano le condizioni ambientali ai livelli di illuminazione nelle diverse zone della galleria, anche a costo di modificare nome e definizione di alcuni parametri, come la distanza di arresto ora distanza di riferimento e la luminanza di velo chiamata luminanza debilitante.

La condizione di sicurezza per l'illuminazione della zona di entrata

In condizioni diurne, la sicurezza del traffico per la zona di entrata è ottenuta garantendo condizioni di visibilità tali da riconoscere la presenza di un ostacolo, con caratteristiche geometriche e fotometriche ben definite, quando l'osservatore è an-

cora all'esterno della galleria e a una distanza pari a quella di riferimento. In termini fotometrici la condizione si traduce nel legare la luminanza del manto stradale, nella zona di entrata L_e , alla luminanza debilitante L_v , dovuta alle condizioni ambientali di illuminazione, attraverso un fattore c , funzione del tipo di impianto. Il legame deve essere valido sezione per sezione, della zona di entrata, e in qualunque momento della giornata.

Risparmio energetico

Non potendo influenzare direttamente il progettista sulla scelta di tipologie di sorgenti o di impianto, il risparmio energetico viene ottenuto specificando non solo i requisiti minimi delle condizioni di illuminazione, nelle varie zone della galleria, ma anche quelli massimi. In questo modo diventa necessario prevedere sistemi di regolazione del flusso luminoso emesso dagli apparecchi di illuminazione in base alle condizioni ambientali e, contemporaneamente, viene fornita una specifica sulle condizioni di uniformità longitudinale, migliorando il *comfort* visivo anche nelle zone a luminanza variabile. La norma descrive inoltre una serie di artifici utili a ridurre i requisiti stessi o a renderli meno gravosi dal punto di vista energetico.

Necessità delle misure

Le misure rivestono un'importanza essenziale nella nuova norma per garantire l'economicità degli impianti, anche in fase di esercizio. Si possono evidenziare i seguenti momenti:

- *Nella progettazione per la stima della luminanza debilitante L_v75* : con misure sul campo di tutti i parametri ambientali è possibile raggiungere accuratezze migliori, rispetto a quelle ottenibili con i valori cautelativi tabulati nella norma, e di conseguenza risparmi anche superiori al 30% della potenza installata per l'impianto di rinforzo;
- *Per la regolazione delle condizioni di illuminazione nella zona di entrata*: la misura istante per istante della luminanza debilitante L_v è necessaria per regolare la luminanza del manto stradale nella zona di entrata, e di conseguenza di quella di transizione, evitando sia condizioni di eccessiva illuminazione (abbagliamento) sia condizioni di scarsa illuminazione (impossibilità di riconoscere la presenza dell'ostacolo alla distanza di riferimento);

- *Per la verifica di conformità dell'impianto*: contrariamente all'edizione precedente, la norma prevede la misura di tutti i parametri prestazionali previsti e fornisce indicazioni per la valutazione delle non conformità;

- *Per le verifiche periodiche durante l'esercizio*: previste per fornire informazioni sullo stato dell'impianto sia a tutela legale del gestore (accertamento del superamento dei requisiti prestazionali) sia per individuare necessità e condizioni per la manutenzione periodica.

Con l'eccezione delle misure di regolazione, per le quali è richiesto un luminanzometro in postazione fissa, tutte le altre possono essere eseguite con laboratori mobili, ad elevate velocità e pertanto con ridotto intralcio alla circolazione.

Osservazioni conclusive

La nuova norma specifica requisiti prestazionali e descrive procedure progettuali e di gestione degli impianti innovative che, pur non stravolgendo le precedenti indicazioni, rappresentano un sensibile incremento qualitativo degli impianti, sia considerando gli aspetti direttamente correlati alle condizioni di visione sia quelli relativi al risparmio energetico. Ulteriori aspetti, non sufficientemente approfonditi, potrebbero essere considerati in apposite norme future. Tra questi i più importanti sono sicuramente:

- la definizione di modelli di calcolo per la progettazione dell'impianto, sufficientemente accurati per considerare anche l'influenza della riflessione delle pareti, come previsti in una guida tecnica della CIE (189:2010 "Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria");
- la valutazione dell'influenza delle pareti sia nel modificare i valori di luminanza e di uniformità del manto stradale sia nel migliorare le condizioni di confort visivo e di visione, anche considerando la disponibilità di rivestimenti e coperture con peculiari caratteristiche ottico-fotometriche;
- l'individuazione di modelli accurati per la stima della luminanza debilitante L_v75 , basati su un approfondimento della variabilità statistica delle condizioni ambientali sul territorio nazionale, ottenuta, ad esempio considerando le variazioni orarie delle condizioni operative delle attuali gallerie, quando controllate con i luminanzometri previsti dalla nuova normativa.