

I frutti dell'esperienza pluridecennale della società Spea

L'arte della manutenzione

FABRIZIO BONOMO

Da diversi anni è in atto una rivoluzione silenziosa del modo di progettare e gestire le opere d'arte stradali, che nasce dall'esperienza sul campo di chi da alcuni decenni si occupa del controllo di queste strutture e ha dato vita a una vera e propria Arte della manutenzione, nella quale si ritrovano una banca dati considerevole (sullo stato e la storia delle singole opere d'arte), la ricerca della maggiore efficienza possibile dei singoli interventi e un'attenzione agli utenti della strada che porta a privilegiare soluzioni di minore impatto sul traffico

Cultrice e protagonista in prima persona di questa Arte della manutenzione è la Spea Ingegneria Europea Spa, società del Gruppo Autostrade per l'Italia, in particolare la funzione che si occupa delle infrastrutture in esercizio.

Lo è innanzitutto perchè dalla sua nascita, nel 1961, ma soprattutto dalla metà degli anni Ottanta, controlla sistematicamente ponti, viadotti e gallerie della rete di Autostrade per l'Italia, oltre a quelle dell'autostrada Torino-Savona, della Tangenziale di Napoli e delle Autostrade Meridionali.

Su un totale di oltre tremila chilometri di rete si trovano





circa 3.700 tra ponti, viadotti e sottovia, oltre 2.000 cavalcavia circa 600 fornici di gallerie, e Spea ne effettua il controllo periodico, implementando una banca dati conoscitiva che consente poi di procedere con una manutenzione programmata, razionalizzando e minimizzando l'impegno di risorse economiche, cosa in cui la Società Autostrade è stata un precursore, non solo in Italia.

L'aspetto significativo è che l'evoluzione nel tempo di questa esperienza porta al consolidarsi di tre branche di attività importanti, univoche e integrate fra loro: sorveglianza, progettazione ed esecuzione.

La sorveglianza viene effettuata da persone esperte e secondo metodi standardizzati, dando corpo a una banca dati che si è consolidata negli anni dopo l'enorme sforzo per crearla compiuto nella seconda metà degli anni Ottanta; questo consente la pianificazione tecnico-economica, da parte di Autostrade, delle opere d'arte su cui deve essere eseguita la manutenzione.

La progettazione della manutenzione è anch'essa univoca, centralizzata negli uffici di Roma, ed ha come base del suo lavoro i dati oggettivi della banca dati, che consentono sia di conoscere a fondo la storia e la situazione della singola opera d'arte, sia di inquadrarla fra quelle dello stesso tipo, collocandola in una determinata posizione all'interno di una casistica più ampia, dove problemi e difetti hanno già una propria classificazione.

Da qui un approccio progettuale, che si sviluppa a partire da tipologie d'intervento create e consolidate nel tempo, calibrate su ogni tipologia di difetto.

Quanto all'esecuzione, il progetto si è via via spostato da interventi sull'intera opera d'arte a soluzioni molto più mirate, su singole parti, con un approccio che tende a ridurre al minimo i disturbi al traffico e quindi l'utilizzo di sistemi e materiali molto più evoluti: ad esempio, si evita l'occupazione dell'estradosso del ponte, puntando invece su strutture sospese; soluzioni che sono più impegnative, come ad esempio per le modalità di raggiungimento del cantiere, ma permettono di non interferire con la viabilità soprastante.

Per lo stesso motivo è cresciuto l'utilizzo di materiali di nuova generazione, che permettano facilità di messa in opera, rapidità di presa, fluidità (necessaria per gli spessori ridotti) e spruzzabilità, per risparmiare tempo sui casseri.

Una banca dati pluridecennale

L'evoluzione della sorveglianza delle opere d'arte la prima e più importante componente della nuova Arte della manutenzione vede oggi il sistema ormai consolidato, sia nei contenuti che nelle metodologie, dopo un processo di affinamento durato quasi trent'anni, dove la soggettività dei controlli ha lasciato progressivamente il posto a una banca dati oggettiva e a una classificazione standardizzata dello stato di conservazione.

Negli anni Settanta e Ottanta, la Spea effettuava già questo tipo di controlli, ma il rilievo era appunto lasciato alla soggettività di tecnici abbastanza esperti, che stilavano una relazione descrittiva di quanto visto, ognuno con la propria sensibilità e capacità.

In questa relazione era possibile capire lo stato di salute della struttura, ma non altrettanto facile confrontarlo con i dati di centinaia o migliaia di opere d'arte, per decidere dove intervenire e con quali priorità. A metà degli anni Ottanta, insieme alle strutture tecniche di Autostrade, si mettono invece le basi di una standardizzazione, sviluppando schede dove ogni parte del ponte ha un suo riferimento e i tecnici sono guidati nell'individuazione dei difetti, nel riconoscimento, nelle modalità di descrizione, di inserimento nella banca dati.

Nelle schede viene indicata la tipologia del ponte con un reticolo e classificati sia



i singoli elementi delle strutture che i difetti, ciascuno dei quali è associato a un numero (all'inizio ne sono stati individuati una novantina), e a una lettera, che ne indica l'estensione (a, b, c).

Più precisamente, la classificazione delle opere avviene con un giudizio sintetico che indica la pericolosità crescente, da zero a sette; poi si inseriscono altri due coefficienti, che individuano l'estensione del problema e quante parti strutturali sono coinvolte: un cavo rotto su una trave precompressa, ad esempio, viene identificato con un determinato valore, poi si indica quante travi hanno il cavo rotto, e nell'ambito della singola trave quale esten-



sione ha il difetto; ne deriva un codice che indica la classe di gravità del difetto e la sua estensione.

Il tutto, comunque, basato su analisi dirette e a vista, affidate alle capacità e all'esperienza di chi fa il controllo; solo in caso di situazioni sospette si interviene con controlli strumentali; un'analisi strumentale generalizzata è in corso di sperimentazione specie per le gallerie.

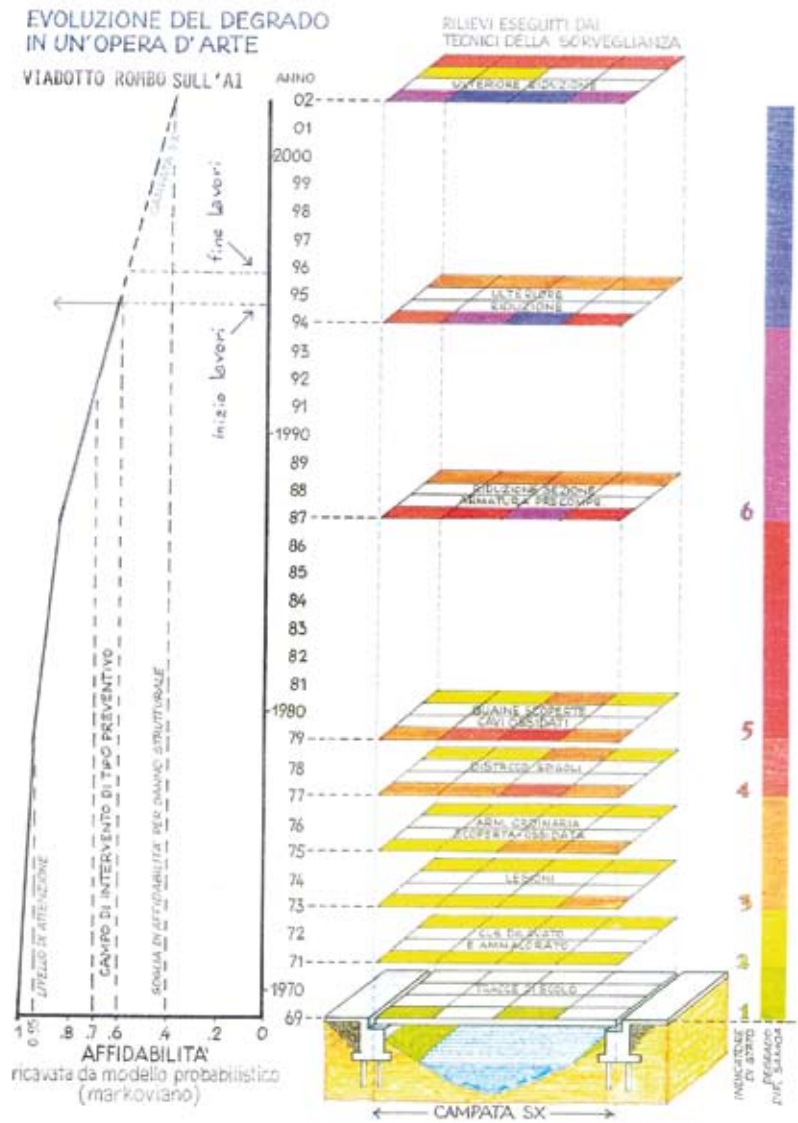
La sistematicità, dunque, avviene con i controlli visivi, che hanno cadenze regolari, prefissate: per legge i ponti vanno verificati ogni tre mesi da un tecnico non laureato e almeno una volta l'anno da un laureato (Spea impiega circa 80 persone per la sorveglianza, alle quali si affianca un ufficio specializzato per i controlli strumentali).

Però il controllo strumentale ai fini diagnostici serve raramente - l'esperienza parla di qualche unità percentuale - mentre nei controlli visivi l'esperienza è ormai consolidata, trasmessa dalla generazione precedente, e i tecnici si dimostrano in grado di riconoscere se le situazioni sono buone o meno buone.

Più ampio è invece l'utilizzo della strumentazione quando il Committente - le Concessionarie autostradali - decide di procedere a interventi di manutenzione o risanamento, perchè in quel caso è necessario acquisire ulteriori informazioni utili per chi deve progettare.

Cambiano le conoscenze sulla vita utile dei ponti

Fra gli elementi di novità offerti al mondo della progettazione dalla banca dati, unica nel suo genere per quantità di informa-



zioni ed estensione nel tempo, si segnala la possibilità, forse per la prima volta da quando si realizzano strutture di questo tipo in cemento armato, di avere dati oggettivi sulla vita utile delle opere d'arte e sull'evoluzione del degrado.

Infatti, la massa di informazioni è tale che si possono studiare i trend di ammaloramento e quindi fare previsioni migliori sul futuro.

Un primo risultato significativo è che va corretta l'ipotesi teorica di 40-50 anni di vita utile di un ponte in cemento armato, perchè i dati di Spea dimostrano i ponti inseriti nella propria banca dati hanno una longevità maggiore.

Se si va oggi su un viadotto della rete Autostrade realizzato negli anni Settanta,

quindi con 40 anni di vita, e lo si confronta con i rilievi del 1985 (fatti su opere con già 15 anni di vita), si può notare che non sta molto peggio, anzi.

Sicuramente è merito del controllo e della manutenzione periodica a cui sono sottoposti, ma in ogni caso - sottolineano alla Spea - l'evoluzione del degrado registrata nella banca dati risulta molto meno veloce di quanto si è sempre ipotizzato. In altre parole, in assenza di un danno causato da fattori esterni, l'evoluzione del degrado per cause naturali (variazioni termiche, vento, sali antigelo, traffico ecc.) è molto più lenta del previsto, specie se si cura la manutenzione, l'impermeabilizzazione, lo smaltimento delle acque, i giunti ecc.

La cultura del progetto da riparazione a cura

Un altro frutto significativo di questa esperienza è la trasformazione dell'Arte del progetto, che passa dal concetto di riparazione/sostituzione a quello di manutenzione senza modifiche radicali, se non in casi estremi.

Anche in questo caso si tratta di un passaggio epocale, dovuto al fatto che per la prima volta esiste un patrimonio di esperienze sufficientemente ampio grazie al quale si può procedere basandosi su dati oggettivi, per singola opera e per tipologie di strutture.

Del resto, le autostrade sono state costruite a metà del secolo scorso, alcune fra il 1928 (la Milano-Laghi) e il 1935 (Genova-Serravalle), ma soprattutto dal 1957 (inizio costruzione A1) al 1978 (legge che vieta nuove autostrade), ed è solo da quegli anni che si comincia a misurarsi con un patrimonio di opere d'arte consistente e da mantenere in efficienza.

Così, nel tempo, l'acquisizione di nuove conoscenze porta a ricadute significative sulla cultura del progetto, sull'uso dei materiali e delle tecnologie, oltre che di nuovi approcci, anche strutturali.

Una evoluzione ancora di più evidente se messa a confronto con soluzioni adottate del passato, che a volte hanno rivelato scarsa durabilità o creato problemi di manutenzione.

Un esempio è la tecnologia del cemento armato precompresso a cavi scorrevoli,

utilizzata spesso negli anni Settanta e Ottanta, che si è rivelata vulnerabile nel tempo, specie per la difficoltà di proteggere in maniera adeguata i cavi: le guaine originarie si degradano e causano infiltrazioni d'acqua e la successiva corrosione dei cavi; da qui l'adozione di soluzioni strutturali diverse, o almeno accorgimenti differenti per la protezione dei cavi.

Un altro esempio è la concezione strutturale di ponti e viadotti, che nel primo e nel secondo Dopoguerra ha portato a progetti di grande valore architettonico e ingegneristico, come i ponti della A1 fra Bologna-Firenze, che però hanno dato problemi di durabilità: una causa è l'ambiente in cui si trovano, quello appenninico, dove d'inverno è necessario l'uso di molto sale antigelo (che è corrosivo) per mantenere in funzione l'autostrada; un'altra è la crescita esponenziale del traffico e il conseguente aumento dei carichi e delle vibrazioni che le strutture devono sopportare. Sui viadotti della Bologna-Firenze si trovano pilastri 30x30 o 40x40, che strutturalmente rimangono validi, ma sono più soggetti al degrado ambientale; per questo, nella nuova arte della manutenzione il progetto del calcestruzzo va oltre il parametro base, cioè la resistenza, e si punta anche sulla durabilità, prevedendo strutture più robuste, valutando attentamente i rapporti acqua-cemento, la granulometria ecc., per garantire che la struttura non abbia porosità e sia resistente agli agenti aggressivi.

Allo stesso modo, nella manutenzione si

è ormai superata l'idea di procedere quando un'opera è giunta al limite della rottura, magari con ricostruzione completa di un intero ponte.

La nuova filosofia - derivata da decenni di gestione delle opere d'arte e dal consolidarsi di un approccio di manutenzione programmata - punta invece su interventi sempre più mirati, di dimensioni contenute, per cercare di rimuovere le cause di un degrado o le parti più usurabili, come i giunti, lo smaltimento delle acque, le pavimentazioni, l'impermeabilizzazione.

L'obiettivo è quello di ritardare la vita utile per renderla almeno comparabile a quella che aveva all'inizio, concependo l'opera d'arte non in quanto struttura pura e semplice, ma come una macchina, composta da una serie di elementi, ognuno con la sua importanza: fondazioni, pile, appoggi, giunti, ritegni, impalcati, impermeabilizzazione, pavimentazione, cordoli, pluviali, ecc. Il tutto, ancora una volta, attuato minimizzando i disturbi al traffico, cosa questa ritenuta ormai inderogabile, per le concessionarie, Autostrade per l'Italia in testa. Così, nella nuova Arte della manutenzione si compiono interventi impensabili solo poco tempo fa (e anche oggi, almeno dal punto di vista teorico), come gettare il ripristino di una trave di un ponte sopra il quale continua a scorrere il traffico, tenendo conto anche dei problemi causati dalle vibrazioni; oppure fare sollevamenti di viadotti, per sostituire gli appoggi, sempre sotto traffico.

Scossalina in acciaio inox per la raccolta e l'allontanamento delle acque da un giunto



Ripristino della capacità portante di una trave che ha subito il deterioramento dei cavi di precompressione originari attraverso cavi di precompressione esterna



Viadotti che si alzano e si spostano

Alla grande scala, uno degli esempi più significativi di questo approccio è la messa in sicurezza e il ripristino di viadotti lungo la Statale 647 "Fondo valle del Biferno", realizzata a partire dagli anni Sessanta dalla Cassa per il Mezzogiorno, che si snoda da Campobasso fino a Termoli superando ripetutamente il fiume Biferno.

Si tratta di viadotti con una sola carreggiata, a una corsia per senso di marcia, sembra giunti alla fine della loro vita utile (uno di essi aveva già mostrato segni di cedimento), dove si rilevano ferri di armatura corrosi, calcestruzzo di bassa qualità e gravi lesioni verticali sui pulvini al di sotto delle travi.



Particolare del pulvino di un viadotto della Statale del Biferno prima dell'intervento di ricostruzione

Spea, vincitrice nel 1999 della gara indetta da Anas per controllare i viadotti, adotta qui modalità d'intervento innovative, che permettono di mantenere i viadotti aperti al traffico mentre si lavora su di essi; una modalità d'intervento tradizionale avrebbe previsto la chiusura della Statale, per 16 mesi, in una situazione dove non esistono alternative alla viabilità locale.

La premessa, oltre a quella di mantenere aperta la Statale, è che per la messa in sicurezza non è possibile il puntellamento dal basso delle travi, irrealizzabile per la presenza del fiume.

Ne nasce un sistema di imbragature me-

talliche su tre livelli con le quali sollevare l'impalcato, per mettere in sicurezza la struttura e consentire il risanamento e la ricostruzione di travi e i pulvini: l'impalcato viene sollevato, si spostano gli appoggi su martinetti collocati al centro dei pilastri, in aree più stabili, demolito il pulvino nelle sue parti ammalorate, scarificato, rinforzato, cerchiato, e infine fatto scendere l'impalcato sul pulvino ricostruito.

Di tipo diverso, ma affrontato con la medesima filosofia, è il caso del viadotto Marinella, sulla A14, pochi chilometri a nord di Termoli, in Molise, dove il problema non è la struttura in sé ma il fatto che le fondazioni si trovano su una frana antica, attiva periodicamente, che interessa una fascia costiera di 6-7 chilometri, per una larghezza di circa 4-5 chilometri e una profondità di diverse decine di metri, coinvolgendo nel suo movimento l'autostrada, la Statale e la ferrovia, che corrono parallele lungo la costa.

Fino al 1991, ogni volta che la frana si muoveva, l'autostrada veniva chiusa, per circa 10/15 giorni, a causa dello spostamento delle fondazioni e della necessità di intervenire sull'impalcato.

Poi Spea, secondo gli indirizzi della committente Autostrade, ha progettato una soluzione strutturale che in un certo senso permette ai viadotti di "galleggiare" sopra la frana: si è infatti ristudiato completamente il sistema di vincolo, per permettere alla spalla di seguire la frana, scivolando sotto l'impalcato senza creare problemi alla viabilità sovrastante, perché sulla campata precedente sono creati dei vincoli speciali, cioè due pistoncini che trattengono l'impalcato e danno una particolare rigidità alla rotazione e una stabilità nel piano.

Dopo la frana, quello che rimane da fare è riposizionare l'impalcato - lo spostamento può essere di una decina di centimetri - sollevandolo e rimettendolo in asse, mentre il pilastro a valle viene ingrandito, diventando sostanzialmente un



Particolare testa pila di un viadotto su una zona in frana, il cui impalcato è isolato dal terreno inserendo appoggi mobili multidirezionali che consentono ampi spostamenti, provvisti di un sistema di monitoraggio che trasmette i dati in remoto



Ritegni di fine corsa per un viadotto in zona di frana, con blocchi in calcestruzzo e cuscinetti di neoprene



Esempio di pulvini allargati per consentire il movimento di un viadotto in zona di frana

setto murario; operativamente il riposizionamento dell'impalcato può richiedere la chiusura dell'autostrada al massimo per una notte.

Dal 1991 il sistema ha funzionato sempre, per tre/quattro frane; l'ultimo spostamento, lo scorso anno, è stato di 13 centimetri, per un totale di 80 centimetri da quando è stato adottato.

Tecnologie e materiali

La terza grande area cresciuta e consolidatasi nel tempo è quella delle tecniche di esecuzione dei controlli e degli interventi di manutenzione, condizionata sempre più dalla scelta di evitare o comunque di ridurre al minimo i disturbi al traffico, cosa che per le Concessionarie e il Gruppo Autostrade è ormai un vanto e una priorità assoluta.

Anzi - sottolineano alla Spea - Autostrade per l'Italia è sempre più sensibile a problematiche di traffico: per questo si è ormai entrati nell'ordine di idee di aprire e chiudere i cantieri (ad esempio per lasciare libera l'autostrada nei fine settimana) e utilizzare ponteggi più complessi e materiali tecnologicamente più avanzati - capaci di fornire prestazioni più elevate e in tempi più stretti - che oltretutto garantiscono una maggiore durabilità.

Così, per i controlli e i ponteggi la nuova frontiera sono le strutture sospese agli impalcati, semoventi, quasi invisibili agli utenti, che si muovono sul cordolo, scendono sotto il ponte ed estendono una passerella.

Allo stesso tempo si va ottimizzando l'uso dei by-bridge - le passerelle metalliche estendibili, montata su veicoli, simbolo per eccellenza dell'attività di controllo ravvicinato di ponti e viadotti - che da sopra il ponte permettono di raggiungere tutte le parti di un viadotto o di calare i materiali, però occupano una corsia autostra-

Verniciatura di un cassone metallico effettuato con ponteggio sospeso semovente

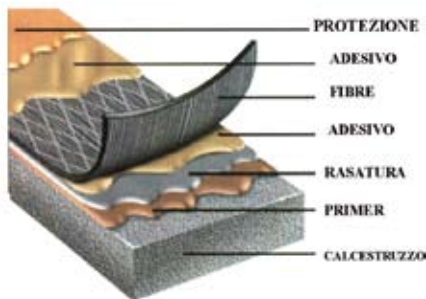
dale o quanto meno quella di emergenza, e questo oggi non è più accettabile nelle ore di maggior traffico; l'alternativa è di utilizzarli di notte, illuminando le strutture ad esempio con palloni illuminanti, o comunque spostando gli orari nei momenti di minor traffico.

Quanto ai materiali, come già anticipato la frontiera sono quelli che permettono facilità di messa in opera, rapidità di presa, fluidità (necessaria per gli spessori ridotti) e spruzzabilità, per risparmiare tempo sui casseri.

A livello di malte ormai si utilizzano esclusivamente quelle fibrorinforzate dell'ultima generazione, a stabilità volumetrica e antiritiro.

I calcestruzzi sono quelli ad alta resistenza e comunque autolivellanti, che si colano all'interno di casseforme a spessore sem-

Schema di un tessuto in materiale composito (Frp)



pre più contenuto, per realizzare incamiciature altrettanto ridotte.

E poi ancora tecniche di precompressione esterna, sempre per non disturbare il traffico.

Quando necessario si utilizzano altri tipi di materiali evoluti, come le fibre o le barre di carbonio; ad esempio, nelle strutture con calcestruzzi ammalorati si applicano rivestimenti con fibre sintetiche o metalliche, che garantiscono innanzitutto dal ritiro, cioè la fonte di fessurazioni capillari nelle quali l'acqua salata può penetrare innescando un processo di aggressione, prima al calcestruzzo e poi all'armatura, con conseguente ossidazione, aumento di volume, fessurazione ulteriore del calcestruzzo e suo distacco.

Particolare di cassaforme sospese alla soletta e armature in acciaio inox per il ripristino di travi in calcestruzzo



Rinforzo con fibre di carbonio dell'intradosso di travi degradate



Nuove frontiere per controlli e progetti

Gli ulteriori passi avanti che si profilano sono affidati da un lato al ripensamento del progetto stesso delle opere d'arte in chiave di manutenzione e durata, e dall'altro alle nuove tecnologie, specie per l'analisi veloce e strumentale di ponti, viadotti e gallerie.

Il ripensamento del progetto è un'estensione di quanto già ricordato in precedenza, come strutture più robuste e durabili, resistenti agli agenti aggressivi, o impostazioni progettuali che integrino già sistemi per facilitare il controllo e la manutenzione (passerelle, scale, piattaforme ecc.).

Oppure l'eliminazione di quegli elementi, come i giunti, che rappresentano i punti deboli di ponti e viadotti (risulta che l'80 per cento dei degradi dipende dalle perdite d'acqua dai giunti): è quello che si sta facendo già oggi nei nuovi progetti, cercando di solidarizzare gli impalcati, ristudiando gli appoggi e lo schema statico delle strutture.

Per quanto riguarda le tecnologie di indagine, una novità è rappresentata dall'uso del laser scanner e della termografia per i rilievi su viadotti e gallerie.

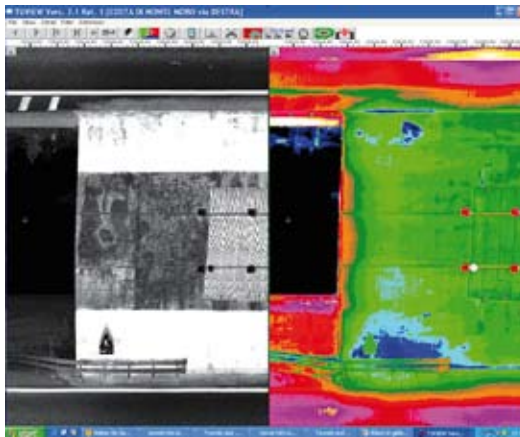
Per ora ha delle applicazioni sperimentali, effettuate in particolare per il progetto Saggi (Sistemi avanzati per la gestione globale delle infrastrutture), realizzato da Autostrade per l'Italia e finanziato dal ministero dell'Università e della ricerca.

Il progetto punta a individuare un sistema innovativo che attraverso laser scanner possa minimizzare i tempi di rilievo, con un'apparecchiatura montata su by-bridge che compie la scansione ottica della superficie esterna della struttura.

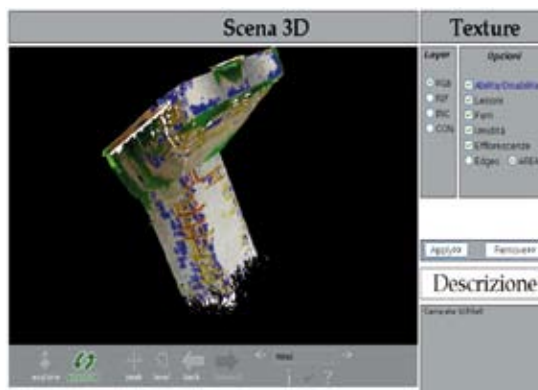
Il risultato è una immagine con una elevatissima quantità di punti rilevati, trasformabile in un'immagine 3D molto vicina alla qualità di un'immagine fotografica, con tutti i vantaggi per l'analisi, la ricostruzione del modello ecc., che potrebbe portare alla riduzione dell'impegno umano in sito e a una documentazione finale particolarmente efficace.



Veicolo dotato di laser scanner per il controllo delle gallerie



Elaborazioni dal rilievo con riflettenza del laser scanner e termografica di una galleria



Esempio di immagine in 3D del laser scanner di un ponte

Il modello è particolarmente complesso, perchè il laser scanner deve essere guidato per analizzare tutti i punti di un ponte, e ci sono punti che sono difficili da raggiungere con mezzi meccanici, come vicino agli appoggi o in zone particolari, dove bisogna infilare la testa per guardare, o salire verso i pulvini. Comunque lo studio ha concluso la prima fase con risultati molto confortanti e ora ne è in corso l'industrializzazione. Per le gallerie, invece, la cui complessità di acquisizione dati è decisamente inferiore – precisa Spea – il sistema laser scanner viene già utilizzato per il rilievo della geometria e dei difetti. ■

Si ringraziano Giampaolo Nebbia e Fulvio Di Taddeo della Spea Ingegneria europea per il contributo e la documentazione fornita.



Rilievo sperimentale di un ponte con laser scanner montato su by-bridge