

Tecniche e metodi di sorveglianza

Marino Giusto
Direttore di Esercizio
della Metropolitana AMT SpA

Gianluca Bordi
Responsabile Area Ispezioni
Opere d'Arte SINA SpA

Andrea Bertora
Tecnico analisi Gallerie
SINA SpA

ACQUISIRE IN CONTINUO LE INFORMAZIONI GEOMETRICHE, FOTOGRAFICHE E TERMOGRAFICHE DELLA PARETE DELL'INTERO CAVO DELLE GALLERIE. È IL COMPITO, PIENAMENTE ASSOLTO, DEL SISTEMA AD ALTO RENDIMENTO DENOMINATO TSS, TUNNEL SCANNER SYSTEM, E ADOTTATO DA SINA PER LA SORVEGLIANZA DEI TUNNEL DELLA RETE GENOVESE DI AMT. DI SEGUITO, TUTTI I DETTAGLI RACCONTATI DAI PROTAGONISTI DELL'ATTIVITÀ.

AMT ha fatto della sorveglianza dello stato di conservazione del patrimonio infrastrutturale un aspetto peculiare della propria missione aziendale; questo, sia per gli aspetti connessi alla programmazione e pianificazione degli interventi manutentivi, sia per quelli legati alla sicurezza della circolazione. Valenza strategica, dunque, ma anche sensibilità verso lo stato dell'arte della tecnologia ispettiva, attenzione verso la minima interferenza al traffico e, infine, centralità del servizio offerto. È necessario raccogliere un elevato numero di informazioni per rilevare lo stato di conservazione dell'opera e, conseguentemente, per consentire la corretta individuazione delle attività manutentorie. Il rilievo strumentale periodico e metodico mediante la tecnologia illustrata, consente ad AMT di disporre di un sistema di supporto decisionale utile per individuare le migliori strategie manutentive di breve, medio e lungo termine. Nel dettaglio, si porrà l'attenzione sull'attività ispettiva svolta sui tunnel della linea Brin-Brignole e in particolare la Galleria Certosa (singola canna) per un totale di 1.711 m, la Galleria da Dinegro a Principe (sotto implacato via Adua) totale 414 m, le Vecchie Gallerie delle Grazie a doppia canna con volta in mattoni da Sarzano a De Ferrari totale 577,7 m e le gallerie da De Ferrari a Corvetto totale 520 m, per uno sviluppo complessivo di m 3.223 circa. AMT si è quindi avvalsa della tecnologia ad alto rendimento denominata TSS *Tunnel Scanner System* (figg. 1-2-3-4), abitualmente impiegata da SINA, capace di acquisire in continuo, senza sosta del mezzo, le informazioni geometriche, fotografiche e termografiche della parete dell'intero cavo di galleria.

La tecnologia TSS

Il Tunnel Scanner System è costituito da un sistema di rilievo automatico, montato su mezzo semovente o installabi-

le a bordo di un idoneo carro pianale, che consente, grazie all'impiego congiunto di raggi infrarossi e laser, di ottenere simultaneamente:

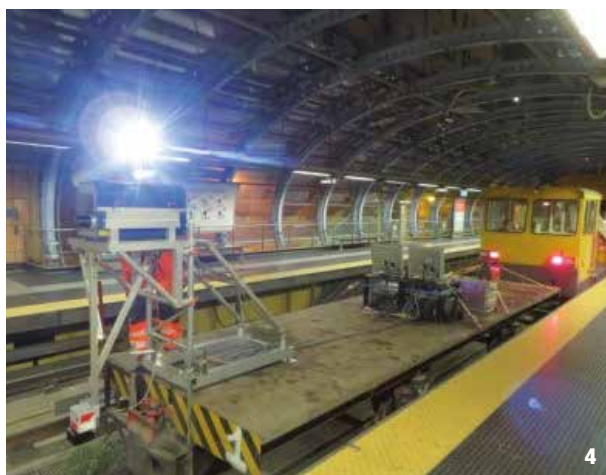
- a) L'immagine fotografica digitale ad alta risoluzione del rivestimento;
- b) Il rilievo geometrico continuo, con la possibilità di estrarre sezioni trasversali in corrispondenza di qualsiasi progressiva;
- c) L'immagine termografica dell'intero cavo della galleria.

In particolare, le potenzialità del sistema TSS risiedono nello "scanner" a testa rotante, in grado di compiere sino a 300 rotazioni al secondo a una velocità di rilevamento variabi-



1. Preparazione e calibrazione del TSS**2, 3, 4. Rilievi TSS in corso****Gli operatori in campo**

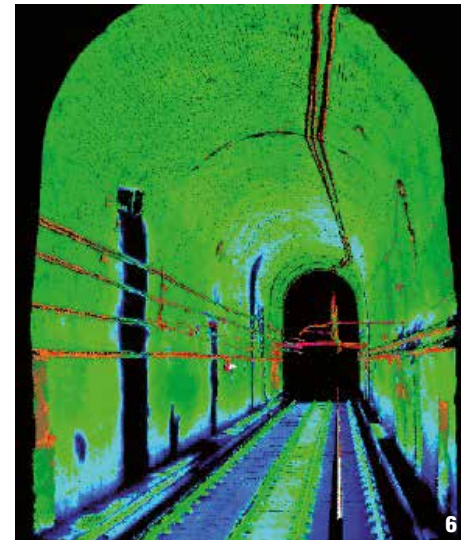
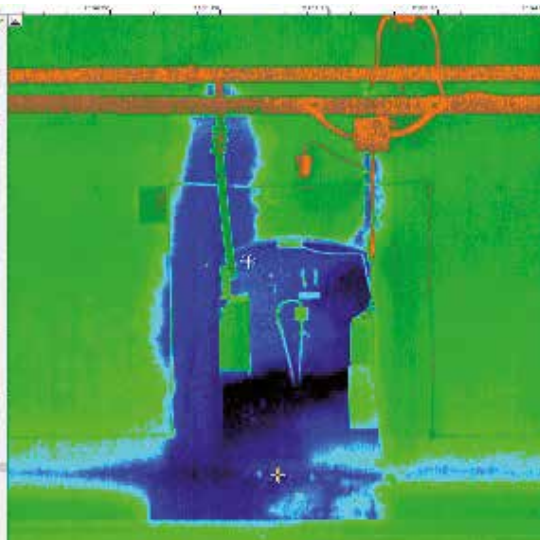
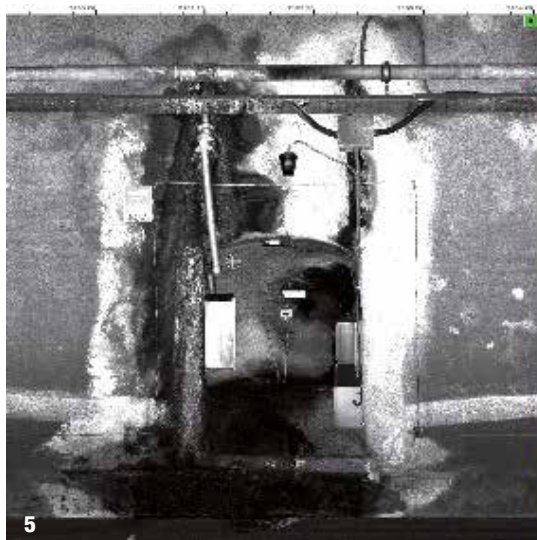
AMT, Azienda Mobilità e Trasporti, è l'azienda che gestisce il trasporto pubblico del capoluogo ligure e dell'area metropolitana genovese. Il servizio è garantito grazie a un sistema multimodale che comprende bus urbani e provinciali, filobus, bus elettrici, metropolitana, funicolari, ferrovia a cremagliera, ascensori, una ferrovia a scartamento ridotto e un servizio veloce via nave. Accanto all'attività finalizzata alla circolazione dei treni, AMT si occupa della manutenzione ordinaria e straordinaria della rete, del suo adeguamento e dell'assistenza ai lavori di potenziamento, nonché delle attivazioni di nuovi impianti. SINA SpA, società di ingegneria di riferimento del Gruppo ASTM, oltre alle attività di progettazione opera nel settore del controllo, del monitoraggio e della sorveglianza di opere d'arte quali ponti, viadotti e gallerie, nel settore dell'ingegneria della manutenzione delle pavimentazioni stradali e nel settore del controllo di qualità dei materiali impiegati nei lavori di manutenzione e di nuova costruzione.



le, in relazione agli obiettivi del rilievo, da 3 a 5 [km/h]. Le caratteristiche tecniche del "Laserscan" comunemente impiegato consentono di rilevare immagini fino a 10.000 pixel per scansione; nel concreto, il risultato del rilievo fotografico di 1 m di galleria, rilevato alla velocità di 1 m/s su un laser a rotazione di 300 rps, è una "fotografia" digitale di 3 milioni di pixel.

I risultati dell'indagine

Il rilievo eseguito da SINA è avvenuto in configurazione massima acquisendo i dati fotografici (rilievo visivo), termografici (rilievo termografico) e geometrici (rilievo profilometrico). L'acquisizione dei dati, per la ricostruzione dell'immagine fotografica dell'interno delle gallerie, è stata eseguita con risoluzione pari a 10.000 pixel per giro; tale risoluzione ha consentito comunque di visualizzare ogni minimo particolare sia del rivestimento come dei servizi installati, con dovizia di dettaglio. Contemporaneamente al rilievo visivo è stato eseguito il rilievo profilometrico continuo e cioè l'acquisizione dei dati necessari alla ricostruzione dei profili trasversali delle gallerie. Le misure finalizzate alla determinazione dei profili trasversali sono state acquisite parallele alla posizione dello scanner nello spazio, posizione determinata a mezzo di un apposito inclinometro collegato all'apparecchiatura, per cui l'orientamento delle sezioni non ha imposto, per i calcoli successivi, la raccolta di ulteriori informazioni quali ad esempio i riferimenti quotati all'interno del cavo di galleria. Le sezioni sono state quindi computate correlando i dati acquisiti a mezzo laser con le informazioni dell'inclinometro. I profili così ottenuti rispecchiano correttamente la posizione spaziale nella galleria. Contestualmente ai rilievi fotografici e profilometrici, è stato eseguito il rilievo termografico tramite termocamera ad infrarossi. La termografia, come risaputo, consiste nella rilevazione delle radiazioni infrarosse emesse dai corpi in misura differente a seconda del loro valore di emissività. Le zone più fredde della galleria (blu scuro) sono caratteristiche di aree umide, ossia rappresentative della presenza di venute d'acqua attive, le zone più calde (viola, rosso e bianco) possono avere diverse cause; in genere esse derivano dalla presenza di materiale diverso da quello originario riconducibili a ripristini successivi ovvero dalla presenza di vuoti all'interno della calotta o tra la calotta e il rivestimento esterno. Le condizioni

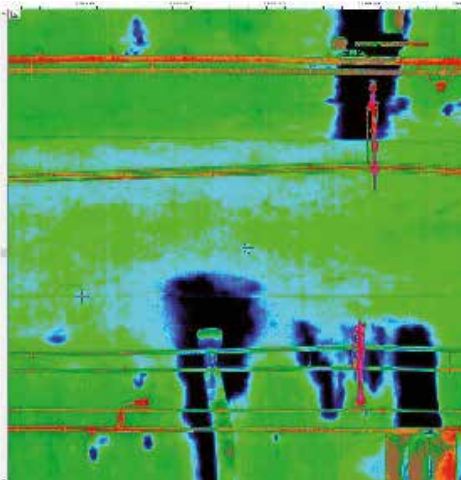
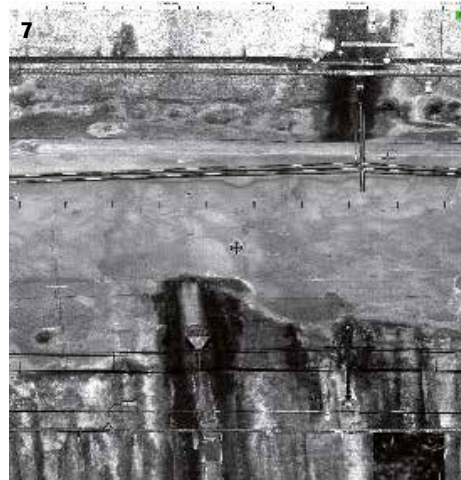


ideali per la realizzazione di termografie diagnostiche si generano nel corso di un transitorio termico naturale o indotto (es. escursioni di temperatura tra la notte ed il giorno o il riscaldamento artificiale delle superfici) durante il quale i materiali o le strutture in esame assicurano un differenziale nella risposta termica. La termografia diagnostica all'interno di forni di galleria (transitorio termico poco rilevante) deve dunque essere preceduta da una fase di monitoraggio delle temperature, esterne e sul rivestimento, al fine di ricercare le condizioni "ambientali" in grado di creare il massimo delta termico tra gli oggetti o materiali da rilevare.

Il risultato del rilievo termografico così eseguito fornisce un supporto alla lettura dei difetti sulla superficie del rivestimento, quali dilavamenti, venute d'acqua etc. (figg. 5-6-7). La strumentazione utilizzata è caratterizzata da alta sensibilità termica ($< 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) ed è stata configurata impostandone il range (scala di lettura) entro pochi $^\circ\text{C}$ (differenza tra la massima e la minima temperatura rappresentabile) al fine di dare maggiore risalto anche alle più piccole differenze di temperatura. A titolo esemplificativo delle potenzialità offerte dal sistema TSS, riportiamo di seguito le risultanze inerenti la galleria Certosa che, con i suoi 1771 m, è la "maggiore" delle sei gallerie oggetto di questo rilievo.

Rilievo fotografico

Il primo risultato del rilievo TSS è l'immagine fotografica ad alta definizione dell'intero cavo di galleria, piattaforma fer-



roviaria inclusa (figg. 8a-8b). L'immagine fotografica ad alta definizione, non condizionata dagli errori di approssimazione e stima tipici di un rilievo visivo tradizionale, andrà a costituire l'archivio storico di tutte le anomalie e di tutti i servizi installati all'interno della galleria in esame e consentirà il confronto con i dati provenienti dai futuri rilievi consentendo quindi la determinazione delle specifiche curve di degrado.

Rilievo termografico

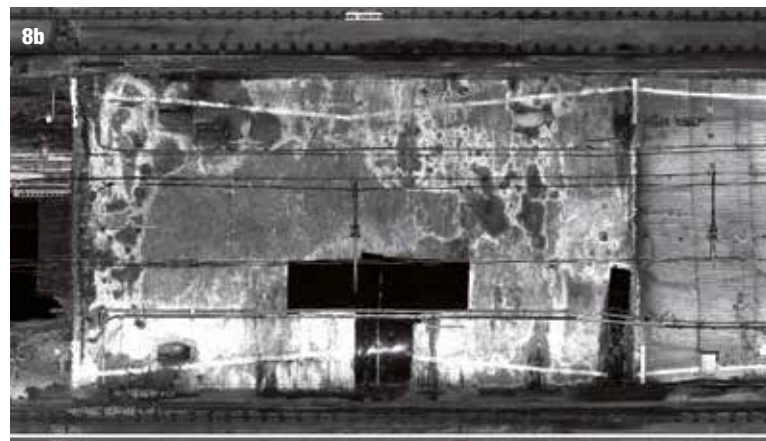
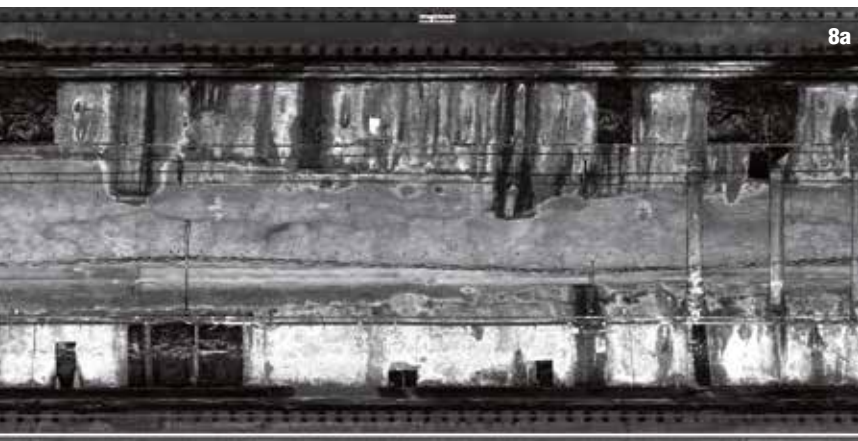
L'applicazione del rilievo termografico nel settore delle gallerie contestualmente ai rilievi fotografici e geometrici

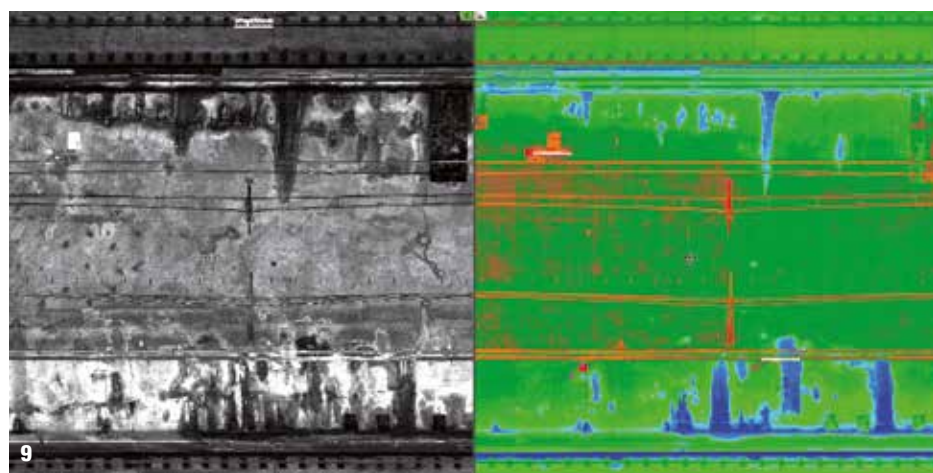
5. Infiltrazione presente in zona di nicchia

6. Visualizzazione 3D termico

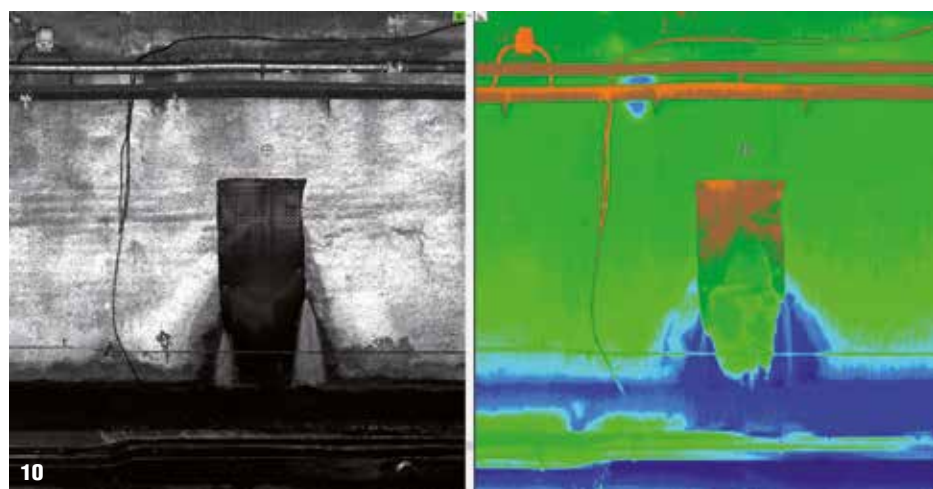
7. Particolare zona di calotta

8. Particolari del dato visual sullo sviluppo intero della galleria





9



10

9. Verifica funzionamento linee di alimentazione

10. Presenza telo su paramento

11. Sezioni trasversali da TSS

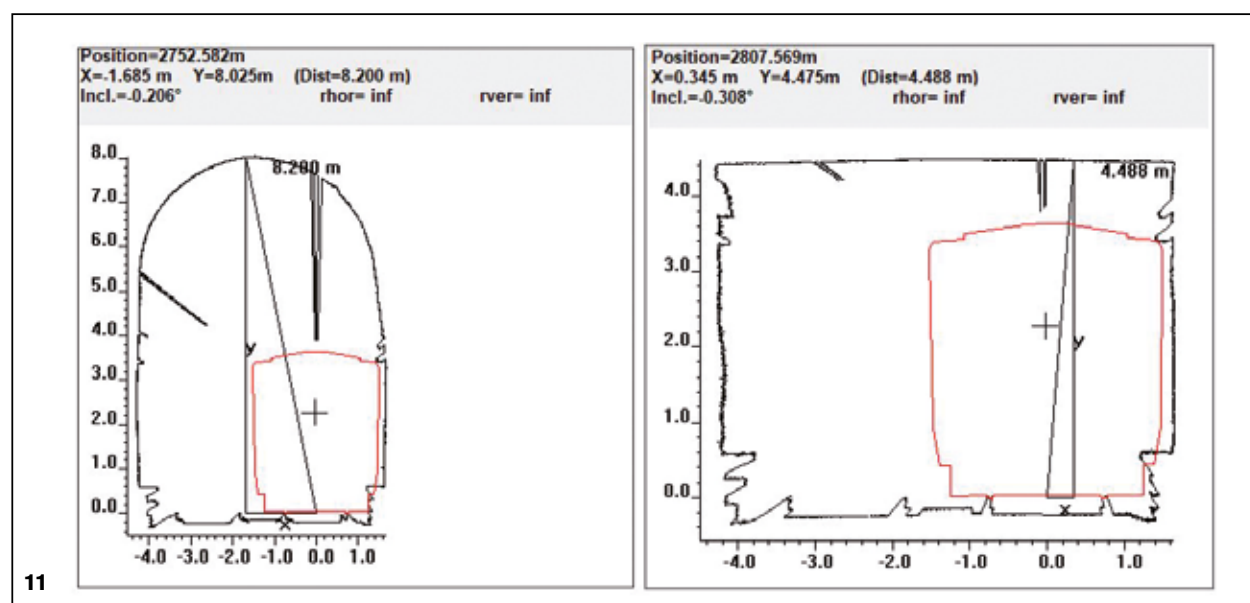
ha consentito di ottenere un notevole supporto all'analisi dell'immagine fotografica: il rilievo termografico oltre a evidenziare particolari eventi (p.e. la presenza di acqua, i ripristini superficiali del rivestimento o l'ubicazione degli impianti) ha permesso, in abbinamento all'immagine fotografica, una migliore interpretazione delle anomalie presenti in galleria oltreché una migliore valutazione degli apprestamenti e degli impianti presenti (figg. 9-10).

Rilievo geometrico

Il rilievo geometrico si è tradotto nella ricostruzione del modello tridimensionale della galleria, fornendo la rappresentazione visiva dello stato di fatto ed in particolare mettendo in evidenza la presenza di eventuali distacchi di porzioni di calcestruzzo dal paramento o di altre anomalie geometriche. Oltre che per la visualizzazione tridimensionale dei rilievi fotografici e termografici, il rilievo geometrico è stato utilizzato per la creazione di sezioni trasversali a qualsiasi progressiva (fig. 11) e per effettuare verifiche geometriche, in modo del tutto automatico, relativamente alle altezze libere di "gabarit" o ad altre interferenze tra la sagoma limite e l'infrastruttura. Il rilievo ha permesso di ottenere sezioni di galleria costituite da 10.000 punti per sezione acquisiti in modo continuo lungo l'intera opera e con il minimo impatto sull'esercizio grazie alla velocità di acquisizione. Inoltre, a fronte della ricchezza del dato raccolto, è possibile estrarre sezioni trasversali a qualsiasi progressiva; opportunità, questa, sfruttabile anche per sviluppare progetti di ingegneria concernenti la verifica del fornice e la realizzazione di un rivestimento.

Interpretazione dei risultati del rilievo TSS

Sulla scorta dell'attività di campagna, ovvero, delle scansioni, dei rilievi fotografici ad altissima definizione e delle annotazioni dei tecnici, è stato finalizzato il lavoro di post-elaborazione mediante l'utilizzo di moduli software appositamente sviluppati da SINA per le valutazioni di funzionalità delle opere. Il risultato del rilievo profilometrico ha evidenziato la presenza talvolta di zone fuori sagoma interpretabili dall'estrazione di sezioni successive e dall'analisi dell'interferenza. Il rilievo termografico ha potuto inoltre evidenziare la presenza, in corrispondenza della volta, di zone interessate da infiltrazioni anche di entità minime, caratterizzate da emissività maggiore rispetto alla regione confinante. Molte delle funzioni oggi offerte dall'applicativo ricalcano le linee guida di esperti utilizzatori; pertanto, il software si pone come semplice ed intuitivo strumento a complemento del lavoro svolto dall'ingegnere addetto al controllo; consente, tra l'altro, di visualizzare, ingrandire e stampare immagini bidimensionali in



11

corrispondenza di qualsiasi punto della galleria etc. (figg. 12-13-14). L'ispezione visiva di dettaglio viene dunque trasferita dal cantiere all'ufficio, riducendo così l'impatto sul traffico di esercizio grazie alla possibilità di registrare e quantificare direttamente sulla fotografia delle gallerie le anomalie del rivestimento, quali: lesioni, distacchi, presenza di sali e/o incrostazioni, irregolarità del ferro, etc. I dati d'ispezione, infatti, visualizzabili sull'immagine fotografica della galleria come linee e superfici con caratteristiche personalizzabili, vengono gestiti sotto forma di "file" testo e grafici, contenenti le informazioni spaziali delle anomalie riscontrate.

È possibile in aggiunta verificare la consistenza degli impianti e la loro ubicazione all'interno del fornice e, più in generale, procedere all'accatastamento degli oggetti esistenti quali reti di protezione, segnaletiche, canalette etc.

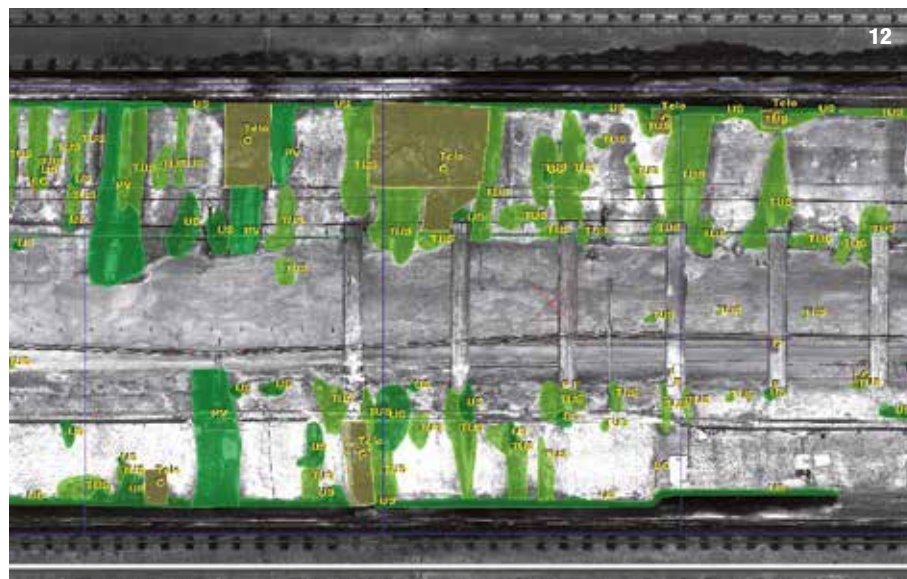
Conclusioni e sviluppi

L'esperienza acquisita dai tecnici di AMT nel rilievo mediante sistema Tunnel Scanner System e nell'analisi dei dati così ottenuti elaborati con l'applicativo Tu-View e Tunnel Inspector si configura efficace, preziosa e funzionale a tutto il processo di gestione delle gallerie di una rete metropolitana. Tale sistema permette di effettuare in tempi rapidi, ispezioni documentate che forniscono una visualizzazione particolareggiata dei fornice, evidenziando situazioni anomale ancor meglio valutabili dal confronto di nuovi elementi assunti con campagne successive. In tal senso, è nei propositi di AMT condurre ulteriori campagne di rilevamento atte a verificare l'evoluzione dello stato conservativo dell'opera aggiornandone così puntualmente la banca dati. Questo sistema, per altro presente come tecnologia di monitoraggio nelle norme francesi

del CETU' e recentemente indicato dalle recenti Linee Guida del MIT, si costituisce pertanto come una buona base per la programmazione dei piani di manutenzione fornendo, nel contempo, elementi determinanti alla progettazione dei ripristini. ■

Bibliografia

- [1] PIARC. 2005. "Good Practice for the Operation and Maintenance of Road Tunnels", Publication N. 05.13.B, 2005.
- [2] CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche. 1973. Bollettino 31 "Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade". Bollettino ufficiale del CNR.
- [3] CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche. 1980. Bollettino 78 "Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane". Bollettino ufficiale del CNR.
- [4] Spacetec, 2005. *Tuview User's Manual*.
- [5] CETU. Janvier 2015. Livre 1. *Guide Methodologique*.
- [6] MIT. *Linea Guida Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*.
- [7] MIT. DGVCA, Maggio 2020. *Manuale Ispezione Gallerie*.
- [8] AA.VV. 2005. "Manuale di riconoscimento e valutazione delle anomalie". SINA SpA.
- [9] AA.VV. 2005. "Manuale per la gestione dei dati ispettivi". SINA SpA.
- [10] AA.VV. 2005. "Manuale per le ispezioni alle opere d'arte". SINA SpA.



12. Rappresentazione dei difetti

13. Particolare 3D con ferro a vista

14. Particolare 3D

