



Sorveglianza e Gestione di tunnel ferroviari: il rilievo Tunnel Scanner System Ferrovia Brescia-Iseo-Edolo

Surveillance and Management of railway tunnels: Tunnel Scanner System Brescia-Iseo-Edolo Railway

Dott. Ing. Maurizio FRANZI^(*), Dott. Ing. Francesco LADDOMADA^(**)



Foto 1 - Applicazione dell'innovazione tecnologica ad alto rendimento per il rilievo geometrico, fotografico e termografico di alcune gallerie ferroviarie delle FerrovieNord S.p.A. – *Implementation of high-performance technological innovation for geometric, photographic and thermographic surveying of several railway tunnels property of FerrovieNord S.p.A.*

Le Società

FerrovieNord S.p.A. gestisce più di 300 km di rete e 120 stazioni dislocate su cinque linee nell'*hinterland* a nord di Milano che interessano le province di Milano, Varese, Como, Novara; su cui transitano 800 treni al giorno con frequenza massima in ora di punta di un treno ogni tre minuti.

^(*) Responsabile Unità Manufatti e Opere d'Arte di FerrovieNord S.p.A.

^(**) Area Sviluppo Nuove Iniziative di Sineco S.p.A.

Companies

FerrovieNord S.p.A. manages a network of more than 300km and 120 stations situated on five main lines in the north *hinterland* of Milan and including the provinces of Milan, Varese, Como, and Novara – with 800 trains transiting every day. During peak hours, the maximum frequency is of a train every three minutes.

In 1993, FerrovieNord S.p.A. succeeded to S.N.F.T. S.p.A. as concessionary company of the Brescia-Iseo-Edolo railway, including the Rovato branch line.



Fig. 1 - Rotabile corredato da TSS e veicolo di supporto. *Railway wagon equipped with vehicle powered by TSS.*

^(*) Head of FerrovieNord S.p.A. Unit "Manufatti e Opere d'Arte".

^(**) Commercial Marketing Area of Sineco S.p.A.

Dal 1993 è inoltre subentrata alla S.N.F.T. S.p.A. in qualità di concessionaria della ferrovia Brescia-Iseo-Edolo con diramazione Rovato.

Accanto all'attività finalizzata alla circolazione dei treni, FerrovieNord 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.

SINECO S.p.A., del Gruppo ASTM Autostrada Torino Milano, opera nel settore del controllo 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.

1. Premessa

FerrovieNord 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 all'utenza.

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 in questo articolo, consente a FerrovieNord di disporre di un sistema di supporto decisionale utile per individuare le migliori strategie manutentive di breve, medio e lungo termine.

In particolare, nel presente articolo si pone l'attenzione sull'attività ispettiva svolta sui tunnel della linea ferroviaria Brescia-Iseo-Edolo.

Essa attraversa zone di notevole valore paesaggistico quali la Franciacorta, la sponda orientale del lago Sebino e la Val Camonica; realizzata agli inizi del 1900, è stata oggetto di una riqualificazione infrastrutturale per adeguarla alle attuali esigenze di traffico. Dopo una campagna di controllo alle opere da ponte, (circa una trentina) che ha comportato la sostituzione di tutti gli impalcati metallici, le analisi sono state indirizzate alle gallerie.

Sono ventinove le gallerie dell'intero tracciato, con lunghezze variabili da un minimo di circa 9 metri ad un massimo di 618 metri, per uno sviluppo complessivo di metri 4.113; ubicate principalmente nella tratta fiancheggiante il lago e nella parte alta della valle Camonica.

Together with the activity finalized to train circulation, FerrovieNord provides ordinary and extraordinary network maintenance and upgrading works; FerrovieNord follows expansion works together with the opening of new facilities.

SINECO S.p.A., part of the Group ASTM – Autostrada Torino Milano – operates in the sector of control and surveillance of road structures, such as bridges, viaducts and tunnels; it operates in the engineering sector for road paving maintenance and for quality checks of materials used in maintenance and construction works.

1. Preamble

FerrovieNord made of surveillance of infrastructural heritage preservation level a distinctive feature of its own company mission. It concerns aspects related both to programming and planning of maintenance measures and to circulation security.

Hence, strategic valence but also sensibility towards road structure conditions of inspective technology, attention for minimum interference to traffic and, finally, centrality of the service offered to consumers.

It is necessary to collect a great amount of information to detect the conditions of road structure preservation and, therefore, to permit the correct determination of maintenance activities.

The periodic and systematic survey tool, based on the technology illustrated in this article, allows FerrovieNord to count on a decisional support system useful to detect the best short, medium and long-term maintenance strategies.

More specifically, this article focuses on the inspective activity carried out in tunnels of the Brescia-Iseo-Edolo railway.

This line runs through areas of high environmental value, such as Franciacorta, the western shore of Sebino lake and Val Camonica. Built at the beginning of 20th Century, it went through an infrastructural requalification which conformed it to the latest traffic requirements. After a control work on approximately 30 bridges – which led to the replacement of all metal decks – the analysis was directed to tunnels.



Sono principalmente naturali di tipo parietale con pochi tratti rivestiti in pietra naturale o calcestruzzo ed interessano generalmente formazioni rocciose di tipo calcareo discretamente frantumato.

FerrovieNord si è quindi avvalsa della tecnologia ad alto rendimento denominata TSS *Tunnel Scanner System* (fig.1), abitualmente impiegata da SINECO, capace di acquisire in continuo, senza sosta del mezzo, le informazioni geometriche, fotografiche e termografiche della parete dell'intero cavo di galleria.

2. La tecnologia TSS

Il Tunnel Scanner System è costituito da un sistema di rilievo automatico, montato su mezzo semovente o installabile a bordo di un idoneo carro pianale, che consente, grazie all'impiego congiunto di raggi infrarossi e laser, di ottenere simultaneamente (fig. 2):

- 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 ad una velocità di rilevamento variabile, in relazione agli obiettivi del rilievo, da 3 a 5 [km/h]. Le caratteristiche tecniche del "Laserscan" comunemente impiegato consentono di rilevare immagini da 5.000 a 10.000 pixel per scansione; nel concreto, il risultato del rilievo fotografico di 1 metro di galleria, rilevato alla velocità di 1 [m/s] con un laser a rotazione di 300 [rps], è una "fotografia" digitale di 3 milioni di pixel.

Nella tabella 1, si riportano le principali caratteristiche tecniche del sistema TSS.

3. I risultati dell'indagine

Il rilievo eseguito da Sineco è avvenuto con l'impiego di un veicolo stradale attrezzato che è stato installato su un carro pianale messo a disposizione da FerrovieNord. Le operazioni di approntamento, con l'effettuazione delle necessarie verifiche relativamente al fissaggio del veicolo sul carro pianale e alla conformità ai limiti di ingombro, per autorizzare la circolazione del treno di rilevazione tunnel ed il suo primo impiego sono state condotte in una mattinata lungo la tratta Bornato-Iseo di circa 9 km in cui è ubicata una galleria lunga circa m 300 (fig. 3a, 3b, 3c).

Nella notte successiva, durante la sospensione dell'esercizio ferroviario, il treno ha completato le rilevazioni percorrendo tutta la tratta Iseo-Edolo. In un periodo di tempo inferiore alle 24 ore, è stato possibile, per ogni gal-

The line counts 29 tunnels of different length – which may vary from a minimum of 9m to a maximum of 618m – for an overall length of 4113m. They are mainly located on the stretch running along the lake and in high Val Camonica.

They are mainly natural tunnels with few stretches coated with natural stone or concrete and they usually involve calcareous or partially-fractured stone formations.

FerrovieNord has, therefore, used the high-performance technology called TSS *Tunnel Scanner System* (fig. 1), normally used by SINECO, which is able to continuously collect geometric, photographic and thermographic information on the internal tunnel walls, with no need to stop the vehicle.

2. TSS Technology

The Tunnel Scanner System consists in a system for automatic surveying, built on a self-propelled vehicle or installed on a suitable flatcar, which permits, thanks to a combined use of infrared and laser rays, to simultaneously obtain (fig. 2):

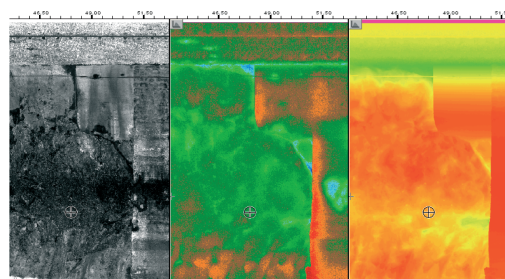


Fig. 2 - Particolare fotografico, termografico e profilometrico a scala cromatica per una rapida individuazione degli incrementi e decrementi di quota (Galleria Santa Barbara, progressiva 44,50 m a prog. 52,50 m). *Photographic, thermographic and profilometric detail in chromatic scale for a quick individualization of height increments and decreases (Santa Barbara tunnel, in the interval from 44,50m to 52,50m).*

- a) A very high-resolution digital photograph of the coating;
- b) A continual geometric surveying, with the possibility of extracting crosswise sections at any point;
- c) A thermographic image of the entire tunnel.

In particular, the TSS system capability resides in the rotating head "scanner", which is able to perform up to 300 rps at a variable surveying velocity of 3 up to 5 [km/h], according to the aims of the survey. The technical characteristics of the commonly used "Laserscan" allow

TABELLA 1 – TABLE 1

CARATTERISTICHE TECNICHE – TECHNICAL CHARACTERISTICS

Velocità massima i rotazione della testa dello scanner <i>Maximum Rotating Speed of Scanner Head</i>	300 giri/secondo <i>300 rps</i>
Risoluzione massima rilievo fotografico <i>Maximum resolution of photographic survey</i>	10.000 pixel/scansione <i>10.000 pixel/scan</i>
Risoluzione massima rilievo geometrico <i>Maximum resolution of geometric survey</i>	10.000 pixel/scansione <i>10.000 pixel/scan</i>
Passo di campionamento a 3,5 [km/h] <i>Profile Sampling Step at 3,5 [km/h]</i>	Almeno una sezione al centimetro <i>At least 1 section/cm</i>
Distanza max riconoscimento oggetti da testa scanner <i>Scanner Head Maximum Distance for object recognition</i>	15 [m] <i>15 [m]</i>
Temperatura d'esercizio <i>Working Temperature</i>	0 ÷ 40 °C <i>0 ÷ 40 °C</i>
Velocità massima di traslazione longitudinale in acquisizione <i>Longitudinal Transition Maximum Speed when collecting data</i>	12,5 [km/h] <i>12,5 [km/h]</i>
Termocamera ad infrarossi: range di temperatura rilevabile <i>Infrared Thermal Imaging: range of detectable temperatur</i>	9 °C <i>9 °C</i>
Restituzione immagine ad infrarossi del software di visualizzazione <i>Visualization Software Rendering of infrared image</i>	16 "falsi colori" su scala di 256 livelli <i>16 "False colors" on 256 level scale</i>
Tolleranza delle misure* <i>Measurement Tolerance*</i>	< 0,3% <i>< 0,3%</i>

(*) tale tolleranza è dovuta a – (*) this tolerance is due to:

- arrotondamenti contenuti nell'algoritmo di calcolo – *rounding in the algorithm;*
- sfalsamento in curva dello scanner rispetto alla sezione ortogonale – *scanner bend displacement in relation to the orthogonal section.*

leria, acquisire i dati fotografici (rilievo visivo), termografici (rilievo termografico) e geometrici (rilievo profilometrico). L'acquisizione dei dati, per la ricostruzione dell'im-

each tunnel photographic (visual survey), thermographic (thermographic survey) and geometric (profilometric survey) data. The acquisition of data for the creation of a

collecting per scan images with a definition of 5,000 up to 10,000 pixels. In practical terms, the result of the photographic survey of a 10m tunnel, taken at a velocity of 1 m/s with a 300 rps rotation laser, is a 30 million pixel digital "photograph".

Table 1 shows the main technical characteristics of the TSS System.

3. Survey results

Sineco carried out the survey with a vehicle which has been previously installed on a flat car, made available by FerrovieNord. Together with the carrying out of the necessary controls related to the fixing of the vehicle to the flatcar and to its conformity to loading gauge limits, the preparation operations to allow the circulation of the tunnel survey train and its first use were carried out one morning along the stretch Bornato-Iseo, which has a length of almost 9km, and where a tunnel of about 300m is located (fig. 3a, 3b, 3c).

The following night, during the suspension of train transit, the TSS completed the surveys by covering the entire Iseo-Edolo line. In less than 24 hours, it was possible to collect, for

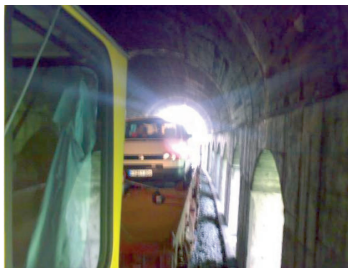


Fig. 3a - Il TSS nelle fasi di approntamento e verifica. TSS during preparation and control operations.

Fig. 3b - Il TSS nelle fasi di approntamento e verifica. Il TSS during preparation and control operations

Fig. 3c - TTS: set up. TTS: set up.

mage fotografica dell'interno delle gallerie, è stata eseguita con risoluzione pari a 5000 pixel per giro; tale risoluzione ha consentito comunque di visualizzare ogni minimo particolare sia del rivestimento come dei servizi installati, con dovizia di dettaglio (figg. 6-7-8). 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 (fig. 4).

Contestualmente ai rilievi fotografici e profilometrici, è stato eseguito il rilievo termografico tramite termocamera ad infrarossi (fig. 5). 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 ed 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 for-

photographic image of the interior of tunnels was carried out with a resolution of 5000 pixel per scan. This resolution permitted, however, to visualize in great details every single characteristic of both coating and installed facilities (fig. 6-7-8). Simultaneously to the visual survey, a continuous profilometric survey was carried out. It consists on the acquisition of data necessary for the reconstruction of crosswise profiles of tunnels.

Measures, aimed to determine crosswise profiles, were acquired in parallel to the position of the scanner in space; this position is calculated with a specific inclinometer linked to the equipment. Therefore, the orientation of sections did not require the collection of additional data, such as reference points inside tunnels, for further calculations.

Sections were then calculated by correlating data collected with lasers with inclinometer information. The obtained profiles correctly reflected the spatial position of the tunnel (fig. 4).

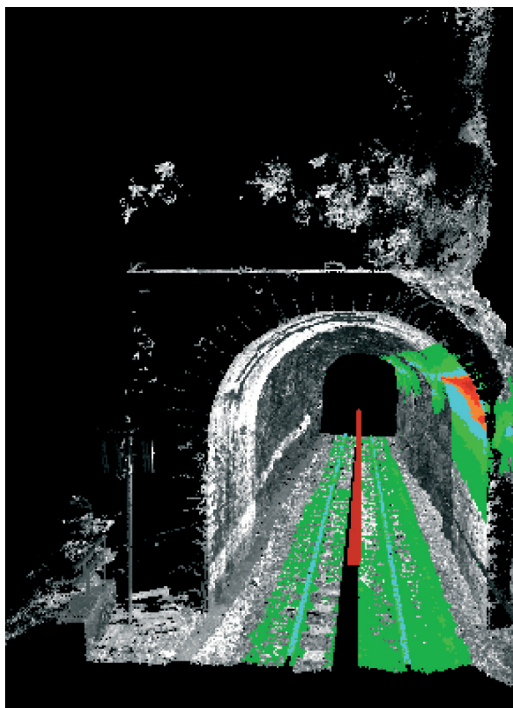


Fig. 4 - Particolare fotografico 3D con interferenza sagoma limite da prog. 0,00 m a prog. 23,00 m (Galleria Santa Barbara). *Photographic 3D detail with clearance height limit, in the interval from 0,00m to 23,00m (Santa Barbara Tunnel).*

Together with photographic and profilometric surveys, we carried out a thermographic survey with an infrared thermal imaging (fig. 5). It is well known that thermal imaging consists in the survey of infrared radiations emitted by bodies in different degrees depending on their level of emissivity. The tunnel coldest areas (dark blue) are index of humid areas, as saying they indicate the presence of active water leaks; the hottest areas (purple, red and white) can have different causes. Generally, they derive from the presence of a material different from the original one traceable to successive restorations, as saying the presence of voids inside the cap or within cap and internal coating.

Ideal conditions for the realization of diagnostic thermal imaging are generated during a natural and induced thermal transition (e.g. temperature ranges between night and day or surface artificial heating) in which materials or structures, taken into consideration, assure a differential in thermal response. Diagnostic thermal imaging inside tunnel barrel roofs (not-very-relevant thermal transition)

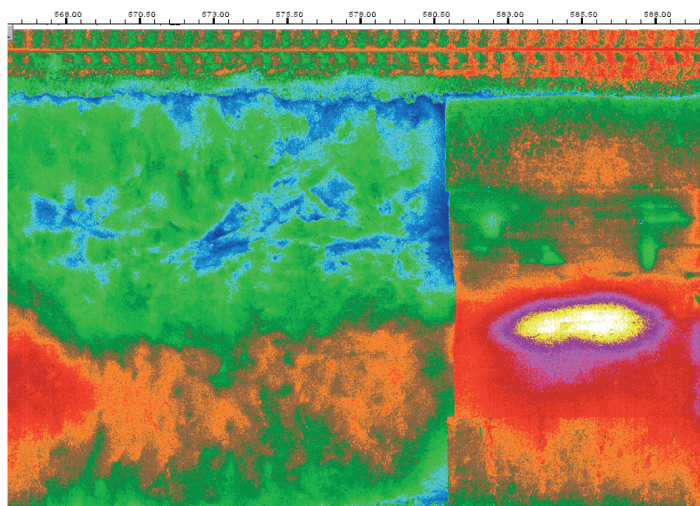


Fig. 5 - Scansione termografica – dalla progressiva 563,00 m alla progressiva 590,00 m (Galleria Santa Barbara). Thermographic Survey – in the interval from 563,00 m to 590,00m (Santa Barbara Tunnel).

nici 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.

La strumentazione utilizzata è caratterizzata da alta sensibilità termica ($< 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) ed è stata configurata im-

must therefore be preceded by a phase of monitoring of temperatures, internal and external, in order to seek the “environmental” conditions able to create the maximum thermal delta between objects and materials to collect.

The outcome of the so-carried-out thermographic survey provides support to the reading of coating surface defects, such as washing away, water leaks, etc.

The used equipment is characterized by a high thermal sensitivity ($< 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) and it was configured by setting the range (reading scale) within few $^{\circ}\text{C}$ (variance between the maximum and minimum representable temperature) in order to give greater emphasis to little temperature variances as well.

To illustrate the potentialities offered by the TSS system, we here report the results concerning the Santa Barbara tunnel which is, with its 618,14m of length, the “longest” of the 29 tunnels subject of this survey.

3.1. Photographic Survey

The first result of TSS Laserscan survey is a high-resolution photographic image of the entire tunnel cladding, railway platform included (fig. 6, 7, 8, 9).

The high-resolution photographic image, not conditioned by approximation and estimation typical of a traditional visual survey, will constitute the historical archive of all anomalies and facilities installed into the examined



Foto 2 - Galleria Santa Barbara. Santa Barbara Tunnel.

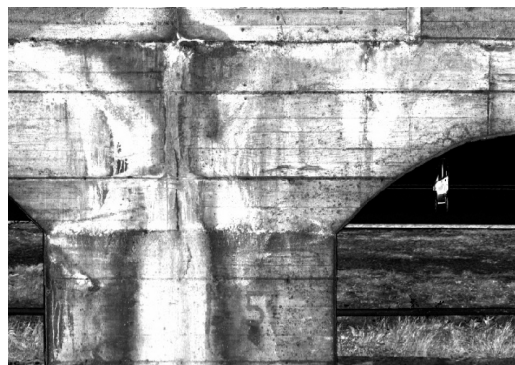


Fig. 6 - Particolare fotografico. Photographic Detail.



Fig. 7 - Particolare fotografico. *Photographic Detail*



Fig. 8 - Particolare fotografico. *Photographic Detail*

standone il range (scala di lettura) entro pochi °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 i risultati inerenti la galleria Santa Barbara che, con i suoi 618,14 m, è la "maggiore" delle 29 oggetti di questo rilievo.

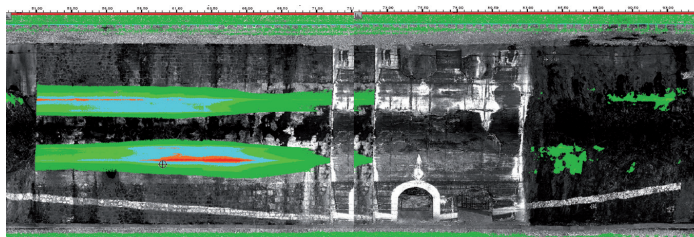


Fig. 9 - Scansione fotografica con interferenza sagoma limite dalla progressiva 69,00 m alla progressiva 95,50 m (Galleria Santa Barbara). *Photographic Survey with clearance height interference, in the interval from 69,00m to 95,50m (Santa Barbara Tunnel).*

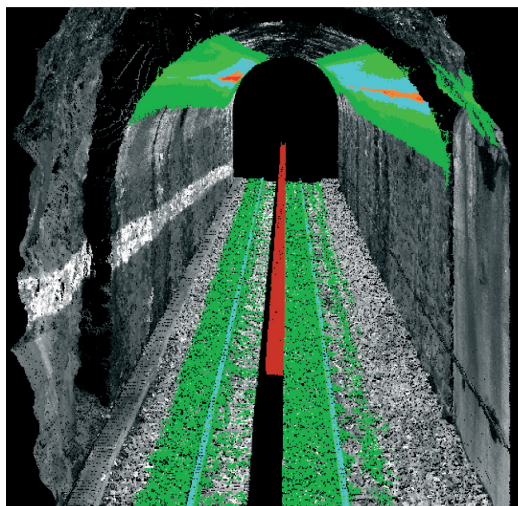


Fig. 10 - Galleria Santa Barbara: fotografico con interferenza sagoma limite da prog. 51,00 m a prog. 72,00 m. *Santa Barbara Tunnel: Photographic Survey with clearance height interference, in the interval from 51,00 m to 72,00 m.*

tunnel and it will permit the comparison with data collected by future surveys.

3.2. Thermographic Survey

The application of thermographic survey in the field of tunnels contextually to photographic and geometrical surveys permitted to obtain an important support in the analysis of photographic images. The thermographic survey (figg. 2, 5) not only highlights particular events (e.g. presence of water, cladding superficial reconditioning, and location of installations) but also it permitted, in combination with the photographic image, to more accurately appraise any anomalies in the tunnel.

3.3. Geometric Survey

The geometrical survey is converted into a tridimensional reconstruction of the tunnel, providing a visual representation of the conditions and, in particular, highlighting the presence of potential detaches of concrete portions from the surface or any other geometrical anomalies.

3.1. Rilievo fotografico

Il primo risultato del rilievo TSS Laserscan è stato l'immagine fotografica ad alta definizione dell'intero cavo di galleria, piattaforma ferroviaria inclusa (fig. 6, 7, 8 e 9).

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.

3.2. Rilievo termografico

L'applicazione del rilievo termografico nel settore delle gallerie contestualmente ai rilievi fotografici e geometrici ha consentito di ottenere un notevole supporto all'analisi dell'immagine fotografica: il rilievo termografico (figg. 2, 5) oltre ad 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.

3.3. 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 fornace e la realizzazione di un rivestimento.

Infine, grazie alla possibilità di ottenere il grafico dell'altezza di "gabarit" lungo l'intero cavo di galleria, è risultato agevole verificare la presenza di sezioni di fuori sagoma e programmare interventi di riprofilatura come da figg. 9, 10.

Besides tridimensional vision of photographic and thermographic surveys, the geometrical survey was used to create crosswise sections at any point (fig. 11) and to carry out completely automatic geometrical controls in relation to "gabarit" clearance height or other interferences between clearance usage and infrastructure.

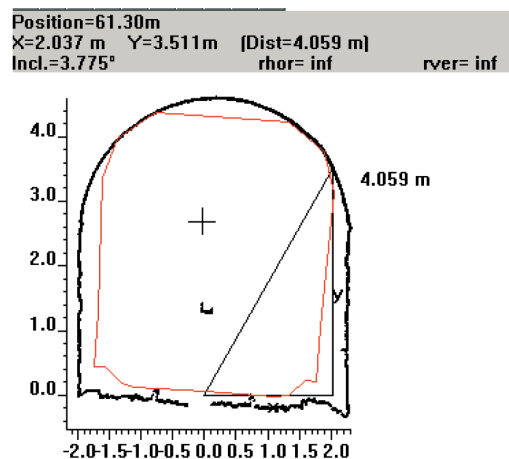


Fig. 11 - Galleria Santa Barbara: sezione trasversale, prog. 61,30 m.
Santa Barbara Tunnel: transversal section at 61,30 m

The survey permitted to obtain tunnel sections of 10,000 pixel/section which were acquired all along the line without stopping and with a minimum impact on traffic flow thanks to the acquisition speed.

Moreover, thanks to the amount of collected data, it is possible to extract crosswise sections at any point. This is an opportunity which can also be exploited in the development of engineering projects on barrel vault controls and cladding work.

Finally, thanks to the possibility of obtaining a graphic of "gabarit" height along the tunnel, it became easy to verify the presence of sections exceeding the clearance usage and to plan works of reprofiling, as shown in figg. 9, 10.

4. Interpretation of TSS survey and project analysis results

The post-elaboration work in the technical offices of FerrovieNord SpA is oriented on the basis of survey activity, as saying on scanning, high-definition photographic surveys and technical annotations.

The analysis of "gabarit" clearance heights was carried out starting with the photographic, thermographic and profilometric data.

4. Interpretazione dei risultati del rilievo TSS e analisi progettuale

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 negli uffici tecnici di FerrovieNord SpA.

A partire dal dato fotografico, termografico e profilometrico è stata condotta l'analisi delle altezze di "gabarit".

Il risultato del rilievo profilometrico ha evidenziato la presenza di zone fuori sagoma interpretabile dall'estrazione di sezioni successive e dall'analisi dell'interferenza (figg. 9, 10, 11).

Il rilievo termografico ha potuto evidenziare la presenza, in corrispondenza della volta, di zone ad emissività maggiore rispetto alla regione confinante, indicando un'area interessata da infiltrazioni.

Lo strumento per l'analisi dei dati: l'applicativo TuView.

Oggetto del servizio è stata infine la fornitura e l'installazione di uno specifico applicativo software denominato TuView per la visualizzazione e l'elaborazione dei dati forniti dal Tunnel Scanner System (TSS).

Sviluppato in base alle indicazioni e necessità dell'ingegneria del controllo e della sorveglianza, il software è costantemente oggetto di miglioramento sulla scorta delle indicazioni degli utilizzatori finali.

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

The result of the profilometric survey highlighted the presence of out-of-gauge areas, which can be appraised with the analysis of further sections and interference (figg. 9, 10, 11).

Thermographic survey highlighted the presence of areas, near the vault, with a higher emissivity compared to the neighboring area and this indicates an area affected by infiltrations.

The tool for data analysis: TuView Software

The service finally included the supply and installation of a specific software called TuView for the visualization and processing of data collected by using Tunnel Scanner System (TSS).

Developed on indications and necessities of control and surveillance engineering, the software is constantly updated on the basis of final users' hints.

Many of the functions the software offers today rely on expert users' guide lines. Therefore, the software results easy to use and an intuitive tool to complement the work of control engineers; it also permits to visualize, zoom and print bidimensional images in correspondence to any tunnel point (figg. 6, 7, 8).

The detail visual inspection is therefore transferred from the construction site to the office, and it reduces the interference with traffic flow thanks to the possibility of recording and directly quantifying any cladding anomalies on the tunnel photography – such as ruptures, detaches, presence of salts and/or incrustations, iron irregularities etc.

In fact, inspection data – which can be shown, with custom settings, as lines and surfaces on the tunnel photographic image – are managed as text and graphic "files" which contain spatial information on verified anomalies.

Moreover, it is possible to verify the consistency of installations and their location inside the barrel vault and, more generally, to proceed with the registration of

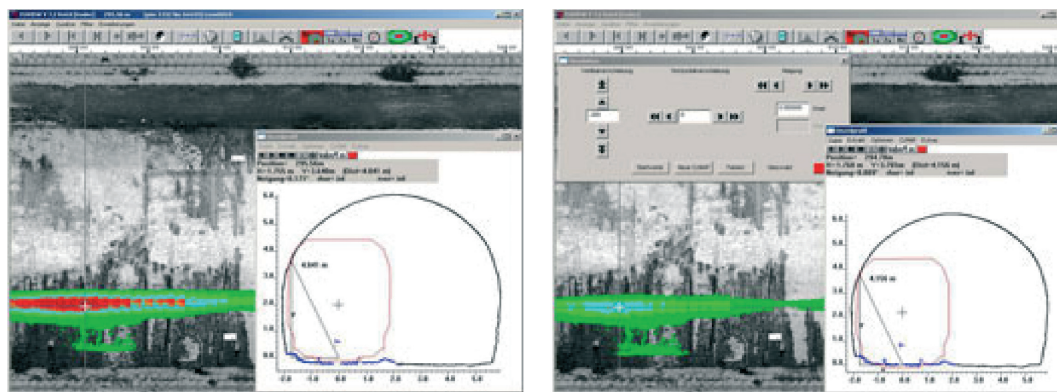


Fig. 12 - TuView: simulazione sezione trasversale prima e dopo rotazione binari di 200 (mm). TuView: simulation of transversal section before and after 200 mm track rotation.

e stampare immagini bidimensionali in corrispondenza di qualsiasi punto della galleria (figg. 6, 7, 8).

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 fornace e, più in generale, procedere all'accatastamento degli oggetti esistenti quali reti di protezione, segnaletiche, canalette etc..

Le principali caratteristiche del TuView sono qui di seguito esposte:

- a) visualizzazione a 360° della superficie della galleria;
- b) sincronizzazione di tutti i canali (fotografico, termico, profilometrico);
- c) zoom ad elevatissima definizione sino a 4x, modalità in cui il singolo pixel può essere selezionato, ingrandito e misurato;
- d) possibilità di modificare il contrasto e la luminosità delle immagini rappresentate;
- e) verbalizzazione del rilievo con possibilità di inserire commenti ed annotazioni;
- f) simulazione modifica profilo binari (fig. 12);
- g) zoom e rappresentazione 3D in modalità dettaglio (figg. 13, 14);
- h) immagini esportabili in formato TIFF o Bitmap;
- i) confronto tra le immagini attuali e quelle storizzate;
- j) profili esportabili in formato DXF per CAD;
- k) attribuzione di coordinate xy ai profili;
- l) calcolo del volume;
- m) interferenza sagoma limite via scala cromatica a tre colori;

existing object such as protection nets, signals, loglines etc.

We here list the main characteristics of TuView:

- a) 360° visualization of tunnel surface;
- b) 360° Synchronization of all channels (Photographic, thermo and profilometric);
- c) High-definition zoom, up to 4x, modality in which the single pixel can be selected, zoomed and measured;
- d) Possibility of modifying the contrast and brightness of represented images;
- e) Survey recording with the possibility of inserting comments and notes;
- f) Simulation of track profile modification (fig. 12);
- g) Zoom and 3D representation in detail modality (figg. 13, 14);
- h) Images to be exported in TIFF or Bitmap format;
- i) Comparison between up-to-date and previous images;
- j) Profiles to be exported in CAD DXF format;

k) Assignment of XY co-ordinates to profiles;

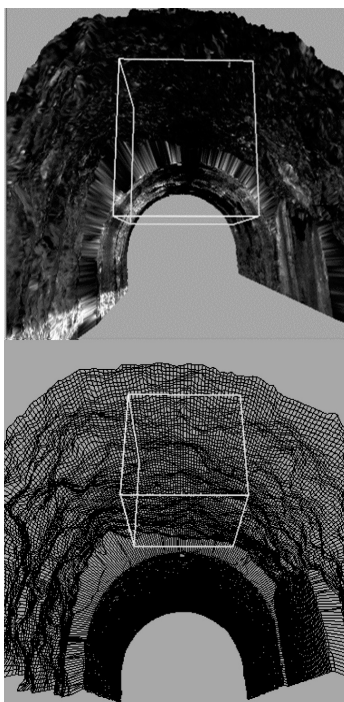


Fig. 13 - TuView: dettaglio fotografico della volta e relativa elaborazione grafica (Galleria Santa Barbara, prog. 51,12 m). *TuView: Photographic detail of vault and re-lated graphic elaboration (Santa Barbara Tunnel at 51,12 m).*

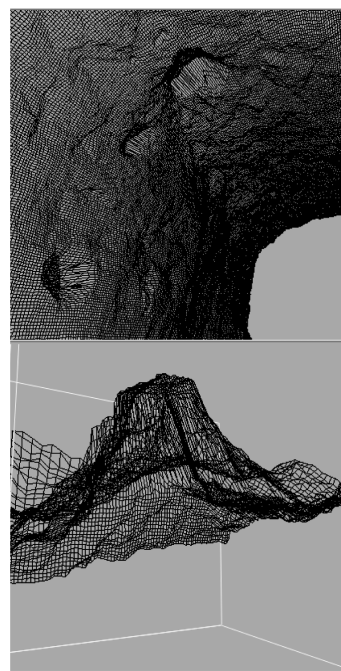


Fig. 14 - TuView: elaborazioni grafiche in dettaglio 3D della volta (Galleria Santa Barbara, prog. 112,43 m). *TuView: detailed 3D graphic elaborations of the vault (Santa Barbara Tunnel, point 112,43 m).*

- n) confronto sagoma limite, profilo teorico;
- o) elaborazioni profilo minimo e massimo.

5. Conclusioni e sviluppi

L'esperienza acquisita dai tecnici FerrovieNord nel rilievo mediante sistema Tunnel Scanner System e nell'analisi dei dati così ottenuti elaborati con l'applicativo *TuView* si configura efficace, preziosa e funzionale a tutto il processo di gestione delle gallerie di una rete ferroviaria. Tale sistema permette di effettuare in tempi rapidi, ispezioni documentate che forniscono una visualizzazione particolareggiata dei forni, evidenziando situazioni anomale ancor meglio valutabili dal confronto di nuovi elementi assunti con campagne successive. In tal senso, è nei propositi di FerrovieNord durre ulteriori campagne di rilevamento atte a verificare l'evoluzione dello stato conservativo dell'opera aggiornandone così puntualmente la banca dati.

Questo sistema costituisce pertanto la base per la programmazione dei piani di manutenzione fornendo, nel contempo, elementi determinanti alla progettazione dei ripristini.

- l) Volume calculation;
- m) Interference clearance height through 3-color chromatic scale;
- n) Comparison of clearance height, theoretical profile;
- o) Processing of minimum and maximum profile.

5. Conclusion and development

The experience acquired by FerrovieNord technicians on surveys through the Tunnel Scanner System and on the analysis of data collected with TSS and then elaborated with *TuView* software results incisive, important and functional for the entire process of tunnel management of railway network. This system permits to quickly carry out documented inspections which supply a detailed visualization of barrel vaults and highlight anomalies. Moreover, these anomalies can be better appraised by confronting new elements acquired in further works. In these terms, FerrovieNord is willing to carry out further survey works with the aim of verifying the progress of work conservation and to promptly update its database.

Therefore, this system constitutes the basic when scheduling maintenance projects and it simultaneously supplies fundamental elements for restore projects.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [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] D.Lgs. n° 264 del 5/10/2006. "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea". GU n. 235 del 9-10-2006 - S.O. n. 195.
- [5] Direttiva Comunitaria 54/2004/CE. "Requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea". GUCE L 167 del 30-04-2004.
- [6] Spacetec, 2005. *Tuview User's Manual*.
- [7] AA.VV. 2005. "Manuale di riconoscimento e valutazione delle anomalie". Sineco S.p.A.
- [8] AA.VV. 2005. "Manuale per la gestione dei dati ispettivi". Sineco S.p.A.
- [9] AA.VV. 2005. "Manuale per le ispezioni alle opere d'arte". Sineco S.p.A.