

MONITORAGGIO DELLE GALLERIE METODI INNOVATIVI DI ISPEZIONE

PER CONTROLLARE LO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE GALLERIE LA SOCIETÀ SINA UTILIZZA UN SISTEMA DI SORVEGLIANZA AVANZATO IN GRADO DI RACCOGLIERE TUTTE LE INFORMAZIONI NECESSARIE A INDIVIDUARE LE ATTIVITÀ MANUTENTORIE NECESSARIE

Nell'ambito delle attività di ispezioni e monitoraggio delle gallerie, la società SINA, si avvale di un sistema di sorveglianza strutturato che si basa su tecnologie di primo ordine in continuo sviluppo per la valutazione dello stato di conservazione delle gallerie. Infatti è necessario raccogliere un elevato numero di informazioni per rilevare lo stato di conservazione delle opere e, conseguentemente, per consentire la corretta individuazione delle attività manutentorie.

Come si può notare dalla figura 1, l'applicativo SIOS (Sistema Ispezioni Opere Sina) svolge un ruolo centrale in questo sistema in quanto in esso confluiscono tutti i dati e le risultanze di tutti i processi legati all'ambito ispettivo.

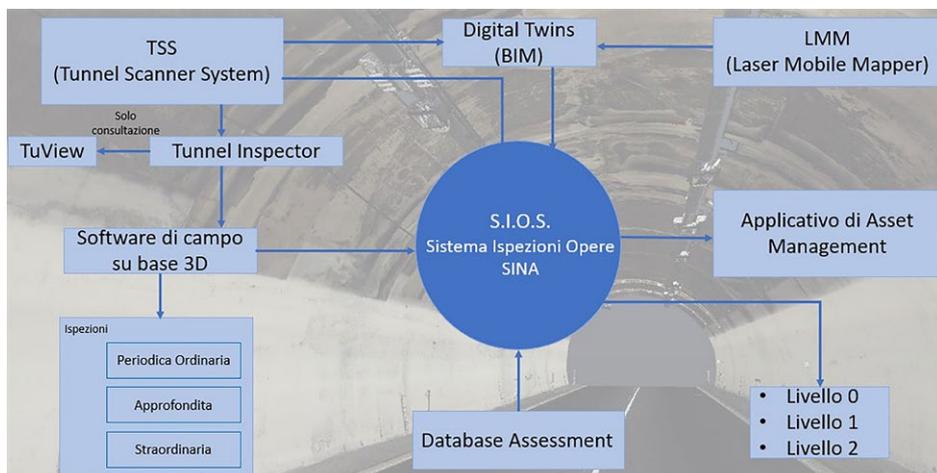
In particolare, SIOS è il software gestionale di tutto questo processo dove ogni opera analizzata oggetto di attività ispettiva, ivi comprese le gallerie, viene prima inserita e censita, partendo dalla creazione della struttura dell'opera e suddividendola in elementi tipologici. Oltre alla definizione della struttura, per ogni galleria vengono inserite una serie di informazioni: dati generali (concessionaria, tratta, codice, progressive, coordinate), aspetti geologici e idrogeologici, tipologia rivestimento, traffico e rete, manutenzione e monitoraggio, ecc ... Peculiarità di SIOS è il fatto di identificare per ogni elemento, a valle delle attività ispettive, un valore numerico del degrado che permette di analizzare

anche l'eventuale tendenza evolutiva della difettologia dell'elemento di riferimento.

Al fine di disporre di un sistema di supporto decisionale utile per individuare le migliori strategie manutentive di breve, medio e lungo termine, SIOS, per le gallerie, si basa sull'uso di diverse tecnologie che utilizzano come riferimento un rilievo strumentale periodico e metodico quale il TSS.

TUNNEL SCANNER SYSTEM (TSS)

Il Tunnel Scanner System è un sistema di rilievo automatico basato sull'impiego contemporaneo di raggi infrarossi e laser che consente di ottenere simultaneamente un'immagine fotogra-



1. Sistema di Sorveglianza SINA

fica e termografica, completa dello sviluppo di galleria (piedritti, volta e pavimentazione), e di acquisire tutti i dati necessari per il calcolo e la definizione di sezioni trasversali in corrispondenza di una qualsiasi progressiva.

Negli ultimi anni la strumentazione utilizzata per l'esecuzione del TSS ha subito uno sviluppo significativo per mezzo dell'aggiunta di un'ulteriore sensoristica costituita da telecamere ad alta risoluzione, disposte in modo che il campo visivo ricopra l'intera circonferenza del tunnel.

Le telecamere sono a scansione lineare e sono dotate di un'apposita illuminazione realizzata in modo da produrre una luce ad anello che illumina l'intera sezione del tunnel esattamente in corrispondenza della area di scansione delle telecamere.

Mentre lo scanner registra un'immagine continua, coprendo l'intera superficie del tunnel, anche le telecamere procedono con acquisizioni indipendenti che successivamente vengono assemblate in un'immagine perfettamente associata al rilievo laser scanner. Questo sviluppo ha permesso di avere un ulteriore canale di informazioni, consultabile mediante i software dedicati, consistente nel colore oltre ad un dettaglio visivo di alta definizione. Inoltre, l'implementazione del rilievo laser con l'immagine ad alta definizione migliora ulteriormente la qualità e la risoluzione dell'immagine visualizzabile.

Il TSS è stato ideato e progettato specificatamente per rilievi di gallerie ferroviarie e stradali con la prerogativa di:

- eseguire un rilevamento in automatico e in continuo, sui 360°, dell'intero sviluppo di galleria;
- ottenere un quadro generale della geometria dell'insieme della galleria;
- acquisire immagini fotografiche di dettaglio dell'interno della galleria tali da consentire di visualizzare ogni minimo particolare sia del rivestimento che dei servizi;
- contenere al minimo i disservizi al traffico in fase di acquisizione;

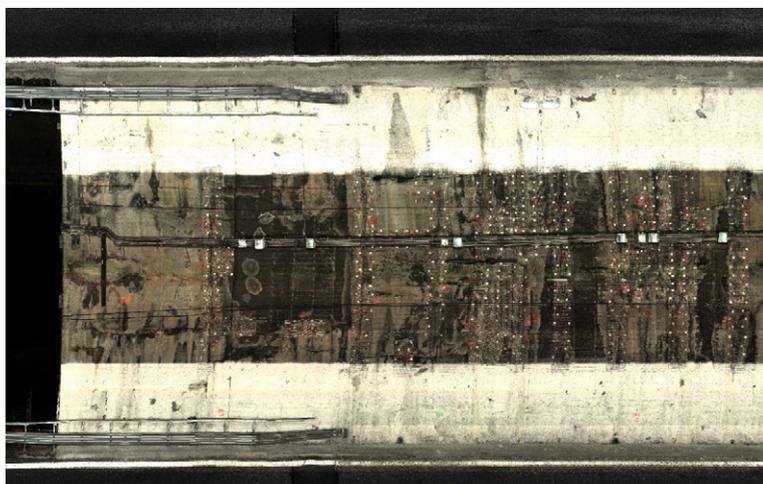


2. Esecuzione rilievo TSS

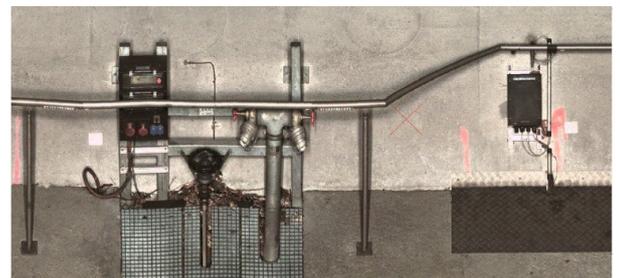
- trasferire l'ispezione visiva di dettaglio dal cantiere in ufficio, con la possibilità di registrare e quantificare le anomalie del rivestimento;
- verificare la consistenza degli impianti presenti lungo il fornice;
- costituire una banca dati aggiornabile nel tempo e verificare l'evoluzione dello stato conservativo dell'opera.

Le principali caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura utilizzata per le acquisizioni laser scanner possono essere così riassunte:

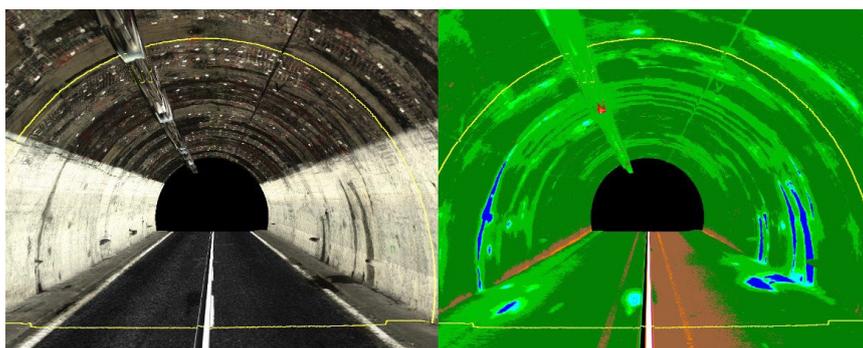
- velocità massima di rotazione della testa dello scanner: 150 giri al secondo;
- risoluzione massima rilievo fotografico: 10.000 pixel per scansione;
- risoluzione massima rilievo profilometrico: 10.000 pixel per scansione;



3. Immagine ad alta definizione dello sviluppo della galleria



4A e 4B. Immagini fotografiche di dettaglio



5. Rilevo fotografico e termografico

- acquisizione in contemporanea dei dati finalizzati al rilievo fotografico, termografico e profilometrico;
- possibilità di riconoscimento degli oggetti posti a una distanza fino a 15 m;
- temperatura d'esercizio compresa tra 0° e 40°; velocità di traslazione longitudinale in acquisizione: sino a 30 km/h, in funzione della risoluzione richiesta e della sezione di galleria.

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, in post-elaborazione mediante l'utilizzo di moduli software appositamente sviluppati da SINA – applicativi Tuviev e Tunnel Inspector – è possibile interpretare, localizzare e dimensionare i principali ammaloramenti superficiali e visibili del rivestimento, secondo catalogo difetti LLG Gallerie, riportandoli sull'immagine fotografica delle gallerie e ricavando, in automatico, tabelle e grafici di quantificazione che riepilogano l'esatta consistenza ed ubicazione di quanto rilevato.

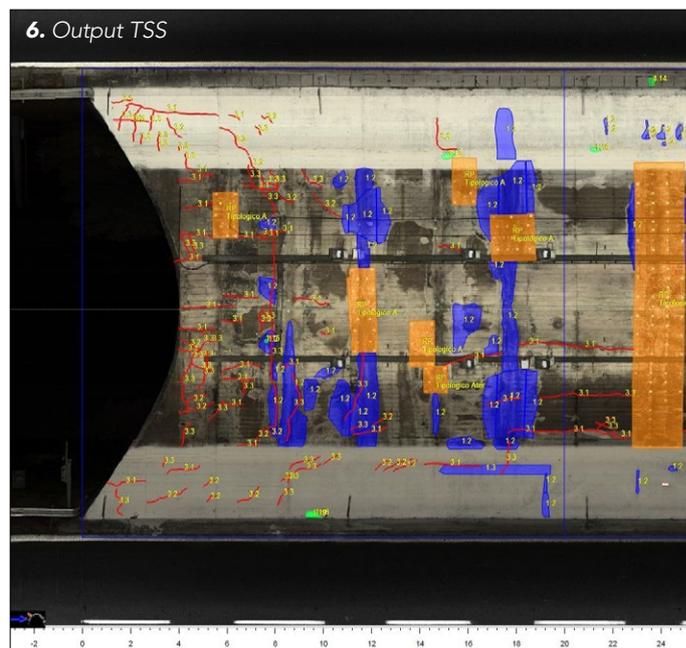
L'ispezione, se ripetuta negli anni, consente inoltre di confrontare i rilievi eseguiti evidenziando la formazione di nuove anomalie e l'evoluzione di quelle già presenti. SINA esegue rilievi TSS da oltre 25 anni: questo sistema, quindi, consente di confrontare i rilievi eseguiti su immagini ad alta definizione permettendo il controllo evolutivo dello stato della galleria. Tale raffronto viene espresso sia in forma di confronto grafico delle mappature dei

degradi riportati sull'immagine ottenuta mediante laser scanner sia come grafici di quantificazione.

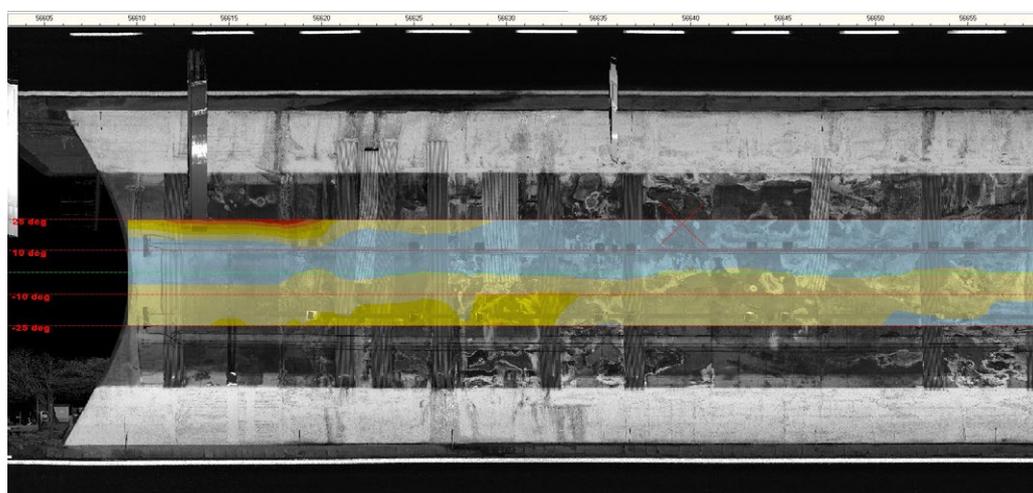
L'insieme di tutti i dati costituisce l'archivio storico che permette di collocare nel tempo l'evolversi o l'innescarsi di situazioni particolari, comprese eventuali lavorazioni effettuate all'interno delle gallerie.

I canali di consultazione sono individuabili in immagine visiva (B/N e colore), dato termico acquisito tramite termocamera ad infrarossi e rilievo geometrico cioè l'acquisizione dei dati necessari alla ricostruzione dei profili delle gal-

lerie. È inoltre possibile integrare ulteriori canali di informazione mediante la sovrapposizione sull'immagine del rilievo TSS, ad esempio, del rilievo Georadar dando evidenza della mappatura dei difetti riscontrati con l'indagine geofisica, con particolare



6. Output TSS



7. Sovrapposizione del rilievo Georadar sull'immagine TSS

Concrete Width

Geo Radar Parameters

Position X:

Position Y:

Starting offset:

Functions

Angles

Thicknesses Matrix

Color map

Geo Radar data

Data/Design difference

Option

Show theo. thick.

Data/Design threshold (%):

Show lines

Longitudinal profile

Distance: 0 m

Color display:

- : 70 % 80 %
- : 60 % 70 %
- : 50 % 60 %
- : 40 % 50 %
- : 30 % 40 %
- : 20 % 30 %
- : -20 % 20 %
- : -30 % -20 %
- : -40 % -30 %
- : -50 % -40 %
- : -60 % -50 %
- : -70 % -60 %
- : -80 % -70 %

Color transparency:

Auto interval

riferimento ai difetti profondi (sottospessori, vuoti). Permettendo quindi l'esecuzione di analisi di correlazione tra tutte le difettologie e criticità riscontrate eventualmente integrando anche le ulteriori indagini di laboratorio eseguite.

In figura 7 viene riportata una presentazione della variazione in percentuale degli spessori del rivestimento rispetto alla sezione di progetto. La rappresentazione delle differenze può essere predisposta sia in valori metrici assoluti sia in percentuale come riportato nell'immagine di esempio.

SVILUPPI PREVEDIBILI E FUTURI

L'obiettivo primario di SIOS è quindi dare supporto ai gestori di reti viarie nelle attività tecniche di "controllo", "esercizio" e "management" delle opere ovvero nell'individuazione, progettazione e pianificazione delle attività di manutenzione e di adeguamento delle infrastrutture.

Allo scopo di un continuo miglioramento e potenziamento del sistema SIOS che consenta in modo sempre più agevole ai tecnici di essere supportati nelle attività sia di studi di dettaglio sia di analisi di insieme, la società SINA è impegnata da sempre nel continuo sviluppo delle proprie tecnologie e nella loro integrazione con i più recenti ritrovati che la tecnica mette a disposizione.

In questo ambito sono in corso progetti di integrazione operativa del sistema che riguardano i seguenti ambiti di sviluppo:

- **Realtà Virtuale.** Un'altra tecnologia utilizzata in quest'ultimo periodo, offre la possibilità di effettuare a più tecnici localizzati in luoghi differenti, un sopralluogo virtuale tramite visori, consultando il dato ispettivo ed andando ad interrogare la struttura per quanto riguarda la mappatura dei difetti e degli apprestamenti presenti. Inoltre, consente di effettuare misure di rilevazione e di integrare le annotazioni con l'aggiunta di eventuali difettologie/apprestamenti.
- **BIM.** Infine, i dati ricavati tramite LMM e dalla documentazione storica progettuale, vengono utilizzati per costruire dei modelli georeferiti (modelli BIM) utili non solo per quanto riguarda la consultazione del dato ispettivo e di eventuali sistemi di monitoraggio ma anche per la gestione di tutto il processo (es: progettazione interventi).

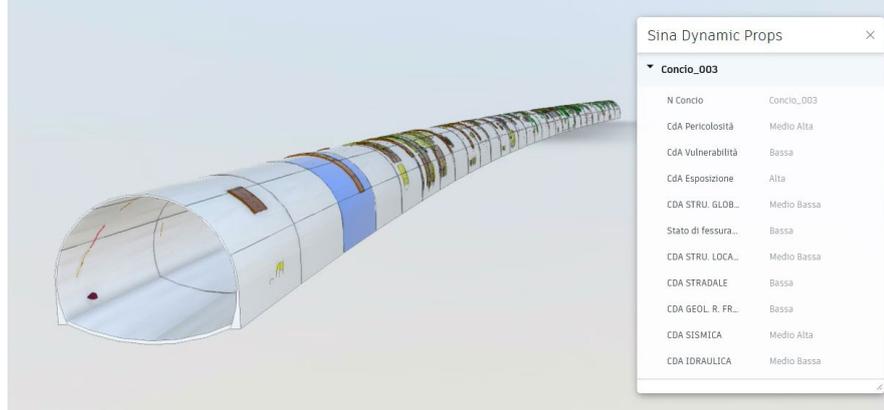
Soffermandoci sull'aspetto ispettivo si possono:

- rappresentare i degradi nei conci di appartenenza;
- localizzare prove e indagini di Assessment;
- visualizzare informazioni parametriche derivanti dalla banca dati SIOS aggiornati in tempo reale (CDA);
- Interrogare e tematizzare in base a criteri selezionabili.

ANALISI E INTERPRETAZIONE AUTOMATIZZATA TRAMITE A.I.

Il fine è quello di implementare un sistema basato su tecnologie di computer vision ed intelligenza artificiale in grado di analizzare in maniera automatica le scansioni ottenute dal sistema TSS. I vantaggi ricercati sono che l'esecuzione robotizzata di tali attività di pre-screening ed analisi automatica, consente di minimizzare l'impegno umano su analisi ripetitive che tipicamente

8. Schermata di consultazione delle CDA su Modello BIM



sono ad alto margine di errore e destinare tali risorse ad analisi a più alto valore aggiunto. Lo studio attuale è focalizzato sulle anomalie monodimensionali quali le "lesioni".

I passi salienti per lo sviluppo del progetto possono essere individuati in:

1. definizione del Dataset di apprendimento contenente i dati storici delle rilevazioni effettuate tramite TSS che verrà usato per il training della AI;
2. predisposizione del Dataset mediante utilizzo di moduli implementati ad hoc vengono trasformate le mappature in formato VGG Image Annotator (VIA) 2.0 che rappresenta uno degli standard accettati da una rete neurale di image segmentation.
3. analisi dell'ottimizzazione del sampling: complessità da considerare è come suddividere le scansioni del TSS in samples funzionali all'apprendimento della AI. Inoltre, in questa fase devono essere tenuti in conto vari fattori influenti sulla buona riuscita della mappatura, tra cui la risoluzione dei sample che sarà inferiore all'immagine di origine e la differenza di luminosità che dovrà essere ottimizzata per ogni sample;
4. analisi della segmentazione dell'immagine: da non sottovalutare sono le dimensioni dei dataset da analizzare, va ricercata la dimensione ideale di ogni sample. Attualmente di 220 pixel di lato;
5. mappatura delle difettosità;
6. metriche utilizzate e performance.

Il modello finale verrà valutato utilizzando la metrica Intersection over Union (IoU), che è particolarmente efficace nel misurare la sovrapposizione tra la "maschera di verità" e la "maschera di predizione". Questa metrica calcola l'area di intersezione tra le due maschere e la divide per l'area ottenuta mediante l'unione delle maschere stesse (intersezione sull'unione). Il risultato finale è l'accuratezza che può variare all'interno dell'intervallo [0,1], dove 0 indica una previsione completamente errata, mentre 1 indica una previsione perfetta. L'accuratezza target stimata del progetto è dell'80% (per tutta la soluzione di detection, composta dal modello di image segmentation e tecniche di computer vision). ■

⁽¹⁾ Ingegnere civile per ispezioni e analisi gallerie di Sina SpA

⁽²⁾ Responsabile Area Ispezioni Opere d'Arte di Sina SpA