



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, I SISTEMI INFORMATIVI E STATISTICI

DIREZIONE GENERALE PER LA VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

MANUALE ISPEZIONE GALLERIE

anno 2020

Il Direttore Generale : Dott. Felice Morisco

Il Responsabile Tecnico : Ing. Placido Migliorino

Rev.01 del 25/05/2020, ROMA



Sommario

1	PREMESSA	4
1.1	OGGETTO E SCOPO DEL DOCUMENTO	4
1.2	IL SISTEMA DI SORVEGLIANZA	4
2	LE GALLERIE NATURALI	7
2.1	LE GALLERIE DELLA RETE DI COMPETENZA	7
2.2	ELEMENTI COSTITUENTI UNA GALLERIA	7
2.2.1	<i>I portali</i>	7
2.2.2	<i>La sezione corrente (galleria naturale)</i>	8
3	ASSESSMENT DELLE GALLERIE	10
3.1	ISPEZIONE PRELIMINARE	10
3.2	PREPARAZIONE DELLA GALLERIA	11
3.3	MARCATURA DELLA GALLERIA	11
3.4	RILIEVO LASER-SCANNER TERMOGRAFICO E FOTOGRAFICO AD ALTA RISOLUZIONE	13
3.5	GEORADAR	13
3.6	ISPEZIONE APPROFONDATA (CARATTERIZZAZIONE PROFONDA DELLA STRUTTURA)	15
3.6.1	<i>Fase propedeutica conoscitiva</i>	16
3.6.2	<i>Fase esecutiva ispettiva</i>	16
3.6.2.1	I compiti dell'ispettore	18
3.6.2.2	Kit della squadra di ispezione (per 2 persone)	19
3.6.3	<i>Fase conclusiva</i>	21
3.6.3.1	Scheda identificativa di ispezione (SII)	21
3.6.3.2	Elaborato grafico	22
3.6.3.3	Report dell'ispezione	23
4	FLUSSO DOCUMENTALE DURANTE LE ISPEZIONI	28
5	NUOVO MANUALE DI ISPEZIONE E CATALOGO DIFETTI	30
5.1	LISTA DEI DIFETTI	30
5.2	ORIGINE DEI DIFETTI	33
5.3	RELAZIONE TIPOLOGIA VS FATTORE D'INFLUENZA DEL DIFETTO	33
5.3.1	<i>Analisi delle problematiche e proposte di interventi per le gallerie rivestite</i>	35
5.3.1.1	Rivestimento in muratura	35
5.3.1.2	Rivestimento in calcestruzzo non armato	36
5.3.1.3	Rivestimento in calcestruzzo armato	37
5.3.1.4	Rivestimento con calcestruzzo spruzzato	38
5.4	CLASSIFICAZIONE "IQOA"	38
5.4.1	<i>Classificazione elementi civili</i>	40
5.4.2	<i>Classificazione per le venute d'acqua</i>	41
6	TECNICHE DI INDAGINE PER LA VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSISTENZA DELLE GALLERIE	42
6.1	LASER SCANNER ABBINATO ALLA TERMOGRAFIA	46
6.1.1	<i>Metodologia di indagine</i>	46
6.1.2	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	47
6.2	GEORADAR	57
6.2.1	<i>Metodologia di indagine e riferimenti normativi</i>	57
6.2.2	<i>Modalità esecutive</i>	61
6.2.3	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	62
6.2.4	<i>Campagna di taratura del georadar</i>	64
6.2.5	<i>Esempi di restituzione</i>	65
6.3	VIDEOENDOSCOPIA	67



6.3.1	<i>Metodologia di indagine</i>	67
6.3.2	<i>Modalità esecutive</i>	67
6.3.3	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	67
6.4	CAROTAGGI E PROVE DI LABORATORIO	67
6.4.1	<i>Metodologia di indagine e riferimenti normativi</i>	67
6.4.2	<i>Modalità esecutive</i>	68
6.4.3	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	68
6.5	PROVE DI PULL-OUT.....	68
6.5.1	<i>Metodologia di indagine e riferimenti normativi</i>	68
6.5.2	<i>Modalità esecutive</i>	69
6.5.3	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	69
6.5.4	<i>Esempi di restituzione</i>	69
6.6	PROVE CON MARTINETTO PIATTO SEMPLICE.....	70
6.6.1	<i>Metodologia di indagine e riferimenti normativi</i>	70
6.6.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	71
6.6.3	<i>Modalità esecutive</i>	71
6.6.4	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	71
6.6.5	<i>Esempi di restituzione</i>	71
6.7	TOMOGRAFIA SISMICA	72
6.7.1	<i>Metodologia di indagine</i>	72
6.7.2	<i>Caratteristiche delle attrezzature</i>	73
6.7.3	<i>Modalità esecutive</i>	73
6.7.4	<i>Modalità di analisi e restituzione</i>	74
6.7.5	<i>Esempi di restituzione</i>	74
6.8	ANALISI DEL PROCESSO LOGICO DI APPROFONDIMENTO DELLA CONOSCENZA - SEQUENZA DELLE FASI DI INDAGINE	76
6.8.1	<i>Valutazione della sicurezza</i>	76



Indice delle Figure

TABELLA 1 – QUADRO RIEPILOGATIVO RETE DI COMPETENZA ASPi	7
FIGURA 2 – PORTALE.....	8
FIGURA 3 - ESEMPIO DI TARGHETTA PER L'IDENTIFICAZIONE DEL CONCIO.....	11
FIGURA 4 - ELEMENTI STRUTTURALI DELLA SEZIONE TRASVERSALE.....	12
FIGURA 5 - IMMAGINI DEL RILIEVO LASER-SCANNER	13
FIGURA 6 - NUMERO PROFILI (CERCHIO AZZURRO) DI SCANSIONE PER CARREGGIATA A DUE CORSIE (TRE PROFILI, A SINISTRA), E A TRE CORSIE (CINQUE PROFILI, A DESTRA).....	14
FIGURA 7 - ESEMPIO DI STRISCIATA TRASVERSALE SU ZONA DI INTERESSE.....	14
FIGURA 8 - CONFIGURAZIONE PLE PER CARREGGIATA A 3 CORSIE.....	17
FIGURA 9 - CONFIGURAZIONE PLE PER CARREGGIATA A 2 CORSIE.....	17
FIGURA 10 - ESEMPIO DI SCHEDA E DELLE ANNOTAZIONI IN LOCO	19
FIGURA 11 - ESEMPIO DI UN FESSURIMETRO	20
FIGURA 12 - LEGENDA DELLE DIFETTOSITÀ	22
FIGURA 13 - ESEMPIO DI UN DISEGNO AUTOCAD CON LA SCHEMATIZZAZIONE DELLE DIFETTOSITÀ	23
FIGURA 14 - CLASSIFICAZIONE PER DIFETTI CIVILI, A SINISTRA, E CLASSIFICAZIONE PER LE VENUTE D'ACQUA, A DESTRA.	39



1 PREMESSA

1.1 OGGETTO E SCOPO DEL DOCUMENTO

Il piano di indagini necessario per acquisire un adeguato grado di conoscenza dello stato di conservazione delle gallerie deve essere necessariamente propedeutico alla successiva valutazione della sicurezza strutturale oltreché della circolazione autostradale. Detto piano, inoltre, deve essere sviluppato in funzione delle seguenti esigenze primarie:

- velocità di esecuzione, per disporre nel minor tempo possibile di una valutazione sulle condizioni strutturali delle gallerie;
- profondità e accuratezza di indagine, tale da restituire un quadro definitivo dello status quo di ogni singolo fornice;
- minimizzare gli impatti sulla circolazione dei veicoli sulle tratte più sensibili.

Il piano di azione può essere sviluppato in più fasi, ed in particolare:

1. Ispezione preliminare della struttura, avente cadenza trimestrale di legge, nei tratti in cui la volta in calcestruzzo è visibile per la sua sostanziale interezza, e controllo di stabilità sia dei rivestimenti e delle canaline di raccolta e convogliamento delle acque di percolazione, sia degli ancoraggi di tutti gli apparati impiantistici.
2. Rilievo con laser-scanner (dimensionale), termografico e fotografico ad alta risoluzione, preceduto dal lavaggio della calotta.
3. Caratterizzazione profonda della struttura, realizzata anche attraverso l'ausilio di specifiche indagini strumentali e diagnostiche previa rimozione di tutti i rivestimenti presenti (onduline). Tale fase assorbe la valenza di ispezione annuale di legge.

Per le specifiche e l'articolazione di dettaglio di ciascuna fase si rimanda ai capitoli successivi.

Il presente documento si basa, inoltre, su una manualistica relativa alle modalità di esecuzione delle ispezioni in galleria, e su un modello di classificazione dei difetti, redatto in aderenza alle Linee Guida CETU (Centre D'Etudes des Tunnels) 2015 riguardanti le opere di genio civile, ed in particolare a:

- Road tunnel civil engineering inspection guide – *Book 1: from disorder to analysis, from analysis to rating* (January 2015)
- Road tunnel civil engineering inspection guide – *Book 2: Catalogue of deteriorations* (January 2015)

Tale sistema di classificazione sarà adottato per la restituzione dei rapporti di caratterizzazione profonda delle gallerie e delle successive ispezioni di legge.

1.2 IL SISTEMA DI SORVEGLIANZA

Il sistema di sorveglianza rappresenta il complesso delle attività di controllo, ispezione e monitoraggio delle gallerie che il gestore della rete infrastrutturale deve svolgere allo scopo di assicurare la disponibilità, la funzionalità e il mantenimento delle condizioni di sicurezza dell'infrastruttura stessa.

Di seguito sono esposti i criteri che si possono adottare per le attività di ispezione e valutazione dello stato di condizione delle gallerie, nonché le modalità secondo le quali i dati relativi alla condizione di integrità e di funzionalità delle gallerie possono essere raccolti, analizzati ed interpretati nel loro sviluppo temporale affinché sia resa possibile una efficace programmazione degli interventi di manutenzione ordinaria e, ove del caso, di manutenzione straordinaria.

Le attività di sorveglianza e monitoraggio sono strutturate in modo da comprendere sia ispezioni ordinarie e straordinarie sia l'esecuzione di campagne di indagini diagnostiche e l'installazione di sistemi per il monitoraggio strumentale in modalità periodica o permanente.



Il contenuto tipico di tale documentazione è articolato come segue:

Classificazione dei difetti IQOA

Per la restituzione dello stato di salute delle gallerie si è scelto di fare affidamento alla Classificazione "IQOA", "Image qualité des ouvrages d'art", che rappresenta il sistema di classificazione in uso al Traforo del Monte Bianco (TMB) e in altri trafori internazionali, approvato dal Centre d'Etude des Tunnels (CETU) e conforme alle prescrizioni delle Circolari del Ministero LL.PP. n. 6736/61 del 19.7.1967 e n. 34233 del 25.02.1991.

Manuale delle Ispezioni

Alla luce dell'esperienza positiva maturata al Traforo del Monte Bianco (TMB), si è scelto di dotarsi dello stesso Manuale delle Ispezioni adottato per l'attività di sorveglianza di tale tunnel. Il suddetto manuale, oltre a contenere un ampio catalogo dei difetti, fornisce le indicazioni necessarie a correlare ogni difetto alla sua potenziale causa scatenante, formulando ipotesi di diagnosi e proposte di rimedio.

Catalogo dei Difetti

A completamento del Manuale delle Ispezioni è stato messo a punto il Catalogo dei Difetti, che descrive i difetti tipici che possono essere osservati nelle gallerie a seconda del materiale di cui sono costituiti i rivestimenti. Tale documento si compone di una serie di schede difettologiche comprensive dei parametri di valutazione da adottare in fase di ispezione.

Schede Identificative di Ispezione

Elemento fondamentale del Manuale di Ispezione sono le Schede Identificative di Ispezione (SII) che vengono utilizzate, in forma cartacea oppure informatizzata su tablet, per le ispezioni in galleria.

Altre attività di sorveglianza

A corredo delle ispezioni visive sono inoltre previste ulteriori attività di sorveglianza che prevedono l'esecuzione di prove non distruttive e semidistruttive, prove di misura tensionale (ad es. con martinetti piatti) ed indagini di vario tipo (ad es. georadar, termografia, tomografia, videoendoscopie, prelievi di carote, etc).

Monitoraggio periodico o continuo

Ove richiesto dagli specialisti coinvolti nelle attività di sorveglianza, in particolare per i casi in cui sono state riscontrate particolari criticità o problematiche di dubbia valutazione, è previsto che vengano eseguite attività di monitoraggio, che potranno essere di due tipi:

- monitoraggio occasionale o periodico: di durata relativamente breve, eventualmente ripetuto, con regolarità per verificare l'evoluzione di un determinato difetto;
- monitoraggio permanente: concepito per rimanere funzionante a lungo periodo, sino a coprire, se necessario, l'intera vita dell'opera.

Il sistema di monitoraggio di volta in volta necessario dovrà essere progettato attenendosi alle indicazioni riportate nel documento UNI TR 11634:2016 "Linee Guida per il monitoraggio strutturale".

Tipologici di interventi

Al fine di garantire una pronta attivazione dei lavori nei casi in cui le ispezioni evidenziano problematiche da risolvere con urgenza o nell'immediato, si rende necessario predisporre una serie di interventi progettuali tipologici da attuare al fine di risolvere le problematiche più frequentemente riscontrabili durante l'ispezione. Resta inteso che per criticità di elevata complessità e/o di notevole estensione debbano essere predisposti tutti i necessari approfondimenti e approntati gli opportuni interventi specifici per risolvere la problematica nel suo complesso.

Tunnel Management System

Per il successo delle strategie di sorveglianza e monitoraggio è fondamentale l'utilizzo di un sistema unico e strutturato di raccolta, archiviazione e gestione di tutti i dati. Tale sistema di gestione dovrà essere in grado di raccogliere ed organizzare la seguente documentazione:

- Documentazione storica (as-built);
- Interventi di manutenzione ordinaria/straordinaria pregressa;



-
- Risultanze delle indagini eseguite (laser-scanner, georadar, carotaggi, etc);
 - Schede Identificative di Ispezione con relativa relazione;
 - Risultanze di eventuali sistemi di monitoraggio;
 - Progetti dei nuovi interventi;
 - Pianificazione della manutenzione ordinaria e straordinaria.

A partire dalle informazioni derivanti dalle attività di monitoraggio/sorveglianza delle gallerie, il sistema dovrà anche fornire un supporto decisionale all'Ente gestore che permetta di definire i flussi di lavoro e individuare i migliori scenari di manutenzione per attuare gli interventi necessari nelle varie gallerie.

La funzione del Tunnel Management System è pertanto duplice, ovvero di database e di strumento di supporto programmatico-organizzativo-decisionale.



2 LE GALLERIE NATURALI

Si descrive di seguito l'oggetto su cui si concentrerà l'attività di assessment illustrata nel presente documento, ovvero le gallerie naturali rivestite.

2.1 LE GALLERIE DELLA RETE DI COMPETENZA

E' opportuno che ogni società rediga un quadro riepilogativo dello sviluppo delle gallerie della rete di propria competenza, suddivise territorialmente e per decenni di costruzione, del tipo di quello elaborato dalla Società ASPI, che si riporta di seguito a titolo esemplificativo.

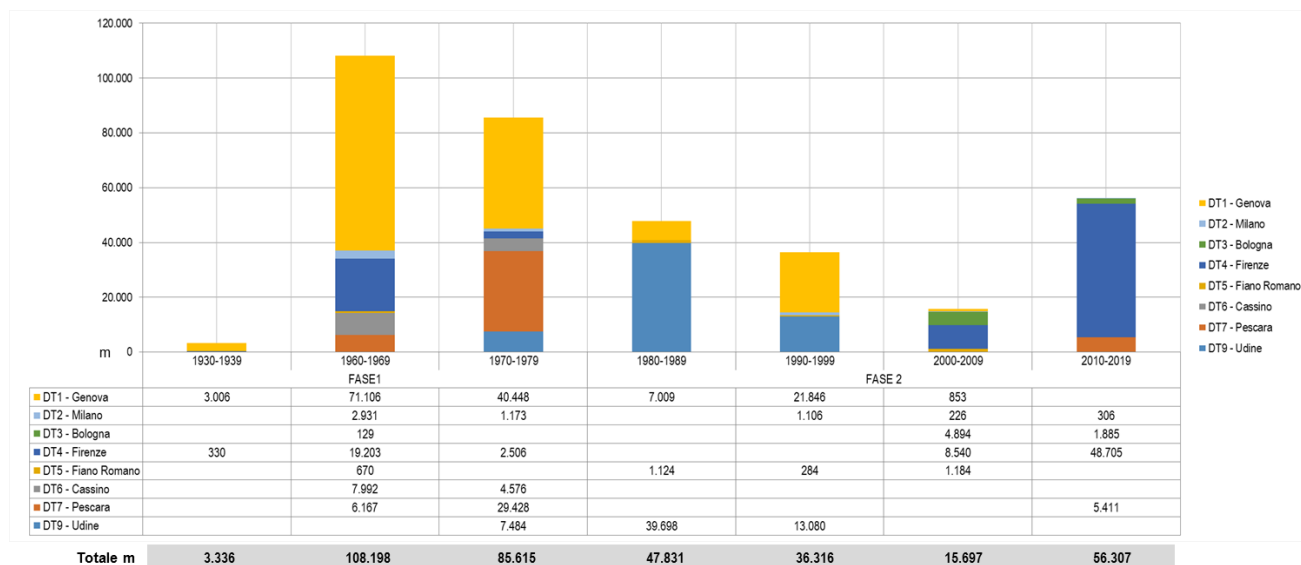


Tabella 1 – Quadro riepilogativo rete di competenza ASPI

2.2 ELEMENTI COSTITUENTI UNA GALLERIA

2.2.1 I portali

Questo termine ha due significati:

- spaziale: indica i punti di ingresso o di uscita alla struttura sotterranea;
- strutturale: si riferisce anche alle strutture specifiche che possono essere costruite alle estremità.

Il caso comune è quello di un'effettiva estensione del tunnel, formata all'aria aperta per una lunghezza di diversi metri.

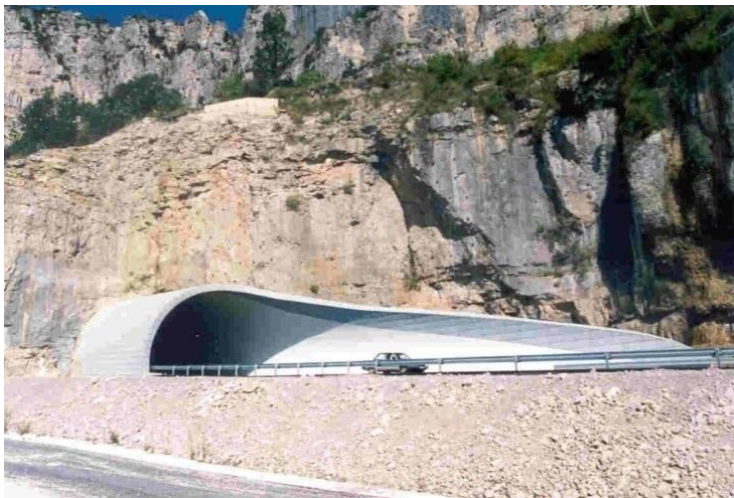


Figura 2 – Portale

2.2.2 La sezione corrente (galleria naturale)

Costituisce la parte di scavo (interna) della galleria in senso stretto. Il termine fa riferimento alla sezione trasversale preponderante lungo il tunnel. Esistono infatti nei tunnel spesso "zone atipiche" con caratteristiche particolari, come by pass, nicchie, rifugi, ecc.

Gli elementi fondamentali della sezione trasversale di una galleria sono specificati nel seguito.

Intradosso

Questo termine indica la superficie inferiore della calotta del tunnel e la superficie interna delle pareti laterali. È quindi la superficie visibile interna del rivestimento.

Estradosso

L'estradosso è definito come la superficie esterna convessa del rivestimento del tunnel a contatto con il terreno circostante (e quindi in generale non ispezionabile a livello visivo).

Rivestimento

Il rivestimento è la porzione curva visibile della galleria posizionata sopra la carreggiata. È composta da paramento/piedritto, reni e calotta.

Il rivestimento può essere realizzato in muratura, calcestruzzo spruzzato, calcestruzzo gettato in opera o prefabbricato.

Per le gallerie realizzate mediante scavo meccanizzato il rivestimento è tipicamente costituito da conci, elementi prefabbricati curvi assemblati tra loro a formare degli anelli. Possono essere realizzati in calcestruzzo semplice, cemento armato, acciaio, ghisa o ferro duttile. L'elemento di chiave consente la chiusura dell'anello di rivestimento e fornisce continuità di supporto attraverso la compressione degli altri conci contro il profilo di scavo.

Piedritti

I piedritti costituiscono le pareti laterali della sezione di una galleria, comprese tra i reni e la carreggiata/pavimentazione e possono essere verticali o leggermente concavi.

Calotta

La calotta costituisce il settore in sommità del rivestimento di galleria normalmente individuato come settore angolare di circa 90°.

Reni

Le reni costituiscono i settori del rivestimento di galleria compresi fra i piedritti e la calotta.

Arco rovescio



L'arco rovescio è la parte inferiore della galleria spesso costruita tra i due piedritti per rispondere ad esigenze di maggiore rigidità del rivestimento in presenza di terreni aventi scarse caratteristiche meccaniche, oppure esigenze legate all'impermeabilizzazione.

Onduline

Le onduline sono quegli elementi non facenti parte della struttura portante del tunnel, spesso costituite da lastre di metallo o plastiche installate successivamente alla costruzione, per intercettare e convogliare il flusso d'acqua che permea nelle zone di giunto costruttivo (tra due conci consecutivi) oppure attraverso il rivestimento della galleria in presenza di quadri fessurativi del medesimo.

Impermeabilizzazione

Rappresenta l'insieme dei dispositivi messi in opera per impedire alle acque provenienti dall'ammasso di entrare in contatto con il rivestimento della galleria. Spesso le impermeabilizzazioni nelle gallerie si accompagnano ad un sistema di drenaggio delle acque.

Pavimentazione

Con tale termine si indica lo strato di materiale posto in corrispondenza della zona carrabile. La pavimentazione si riduce ai soli strati di nero posati su una soletta di calcestruzzo nel caso di carreggiate sovrastanti condotti di ventilazione.



3 ASSESSMENT DELLE GALLERIE

Il presente documento, oltre alla descrizione delle attività previste nelle tre fasi costituenti l'assessment della galleria e alla illustrazione della nuova manualistica di ispezione e del nuovo modello di classificazione dei difetti, fornisce un quadro delle più comuni situazioni strutturali che si possono incontrare nelle gallerie e delle terminologie ad esse associate. Questa terminologia è essenziale per perfezionare la formazione degli ispettori e consentire di descrivere, con un vocabolario comune, le molte "particolarità" che si possono incontrare nelle strutture.

Inoltre, fornisce le indicazioni per l'analisi dei deterioramenti rilevati durante l'ispezione. Fornisce assistenza per valutare le condizioni del tunnel nella zona di ispezione definita, utilizzando osservazioni in loco e basandosi sullo studio dei documenti "as-built" del rivestimento della galleria. L'ispettore può quindi stabilire una priorità tra i deterioramenti in termini di gravità e segnalare le situazioni più critiche.

Effettuando un'ispezione da una posizione vicina al rivestimento del tunnel, il metodo di ispezione sviluppato in questa guida è visivo, supportato da martellamento. Questo metodo non distruttivo consente un'adeguata valutazione della condizione del rivestimento, ma non impedisce all'ispettore, in particolari condizioni potenzialmente critiche, di chiedere l'attuazione di ulteriori metodi di indagine per aiutarlo a valutare lo "stato di salute" di tutta o di una parte della struttura.

Infine, la guida propone per il rivestimento del tunnel il **metodo di valutazione IQOA** (*Image qualité de ouvrages d'art*) riportato nelle Linee Guida CETU 2015.

Lo scopo è quello di fornire due indicatori, uno riguardante lo stato delle componenti civili (matrice strutturale) e l'altro riguardante la presenza di acqua sul rivestimento, che consentono di classificare le zone in base alla criticità dei difetti incontrati.

Il Nuovo Catalogo dei Difetti, complementare a questo documento, è richiamato sinteticamente nel capitolo 5 con un elenco. Si farà riferimento a tale catalogo per la descrizione dettagliata dei difetti.

3.1 ISPEZIONE PRELIMINARE

L'ispezione preliminare, che va inquadrata come parte del processo di assessment, risponde principalmente all'obiettivo di avviare da zero una fase ricognitiva. Consentirà infatti, con notevole anticipo rispetto alla conclusione dell'intero processo di assessment, di disporre di un controllo accurato della stabilità e tenuta di tutti i rivestimenti installati nella galleria nel corso degli anni per la captazione e convogliamento delle acque di infiltrazione e degli altri presidi di contenimento (es. reti) delle parti potenzialmente instabili.

L'ispezione preliminare potrà assumere valenza di ispezione trimestrale di legge per le gallerie sostanzialmente prive di rivestimenti (come le onduline) o di altri presidi impeditivi per la visibilità diretta della calotta in calcestruzzo. Per le altre gallerie l'ispezione trimestrale o annuale sarà realizzata e formalizzata sulla base degli esiti della caratterizzazione profonda.

Nell'ispezione preliminare, svolta "per contatto" con la superficie della volta tramite piattaforma elevatrice, è previsto:

- Il controllo dell'integrità e del fissaggio dei pannelli e/o sistemi di captazione e convogliamento delle acque di infiltrazione, e delle reti di contenimento, ove presenti.
- Il rilievo di eventuali zone ammalorate visibili senza la rimozione delle canaline e delle reti di protezione già in opera. In particolare, ove risultino fessurazioni non capillari delimitanti un perimetro chiuso e quindi una zona di potenziale distacco, durante l'ispezione verranno attivati specifici approfondimenti con tomografie ad ultrasuoni e/o fori di sezione contenuta atti comunque a consentire il passaggio di videoendoscopi in modo da accertare l'eventuale presenza di superfici di delaminazione all'interno dello spessore del rivestimento. In altre situazioni con ammaloramenti visibili si indagherà, con ausilio di percussione con martello, la presenza di zone risonanti che indichino eventuali vuoti superficiali nel rivestimento. Nel corso dell'ispezione saranno all'occorrenza rimossi pannelli di rivestimento ove tale operazione si renda necessaria per completare l'analisi di quadri fessurativi visibili sulle superfici scoperte.
- Il rilievo di eventuali percolazioni non regimentate con interessamento del piano viabile.



- La pronta segnalazione di tutte le situazioni che richiedono un intervento contestuale all'ispezione (es. Disgaggi, posizionamento di reti di contenimento, rimozione, fissaggio o integrazione di canaline) o da eseguire, comunque, prima della riapertura al traffico della galleria.
- La pronta segnalazione, al referente tecnico per la progettazione, di eventuali anomalie di maggiore rilievo per le quali sia ritenuto opportuno valutare la realizzazione di un intervento di consolidamento della calotta o comunque strutturale prima della riapertura al traffico della galleria. In tale caso si svolgerà l'ispezione approfondita nelle modalità descritte di seguito e si valuterà sia le modalità, sia le tempistiche di intervento, sia la gestione dello stesso (indagini eventuali, specifiche di progetto, controllo in fase di esecuzione e attestazione finale di corretta esecuzione).
- La segnalazione, al coordinatore territoriale del piano di assessment designato, di eventuali approfondimenti strumentali o diagnostici che a parere dell'ispettore sarebbe opportuno realizzare nella successiva fase di caratterizzazione.

3.2 PREPARAZIONE DELLA GALLERIA

Con il termine "preparazione della galleria" si intendono tutte quelle operazioni da svolgere preliminarmente al fine di consentire l'ispezione della galleria in tutte le sue parti.

Si dovrà procedere, in primo luogo, al lavaggio della galleria in modo da rendere meglio visibile la superficie di calcestruzzo dei rivestimenti. Tale fase andrà eseguita con congruo anticipo rispetto alla fase ispettiva, affinché l'acqua del lavaggio possa considerarsi drenata/asciugata (ovvero non inficiare la fase di valutazione di presenza di umidità / venute d'acqua nei rivestimenti stessi durante l'ispezione).

Dovranno essere altresì indicati i "conci ispettivi", definiti al paragrafo successivo, ad esempio tramite targhetta posta (a fine concio, nella direzione crescente della progressiva) a 1,60 m dalla quota marciapiede, per singolo fornice oggetto d'ispezione.

3.3 MARCATURA DELLA GALLERIA

Al fine di svolgere al meglio la valutazione dei difetti riscontrati, è necessario suddividere l'opera in "conci di ispezione" (o conci ispettivi); ciò si rende necessario in quanto risulta difficoltosa, se non impossibile in alcuni casi, l'individuazione dei conci costruttivi in cui sono suddivise le gallerie.

Il "**concio di ispezione**" viene definito come la porzione longitudinale di galleria di 20 metri la cui posizione all'interno della galleria è identificata univocamente da una targhetta posta ad una quota di 1,6 metri dal marciapiede ed alla fine del concio a cui fa riferimento.



Figura 3 - Esempio di targhetta per l'identificazione del concio

La posizione e dimensione della targhetta deve essere tale da rendere facilmente individuabile l'ubicazione all'interno della galleria, anche durante l'ispezione in calotta.

La targhetta identificativa del concio ispettivo sarà posta secondo le progressive crescenti

Sulla Scheda Identificativa di Ispezione (SSI) che riporta tutte le difettosità rilevate dagli ispettori saranno puntualmente annotate, oltre, alla geometria dei conci ispettivi, anche il numero del concio posto in galleria.

La definizione del concio di ispezione è compito del gestore della galleria che procederà a comunicarne la posizione per ogni opera.



Definita la posizione univoca all'interno della galleria è necessario definire una nomenclatura unica delle sezioni trasversali della galleria; gli elementi definiti sono i seguenti, dove la posizione sinistra e destra è indicata osservando la sezione nella direzione del senso di marcia:

1. Marciapiede sinistro (se presente),
2. Piedritto sinistro,
3. Rene sinistro,
4. Calotta,
5. Rene destro,
6. Piedritto destro,
7. Marciapiede destro (se presente).

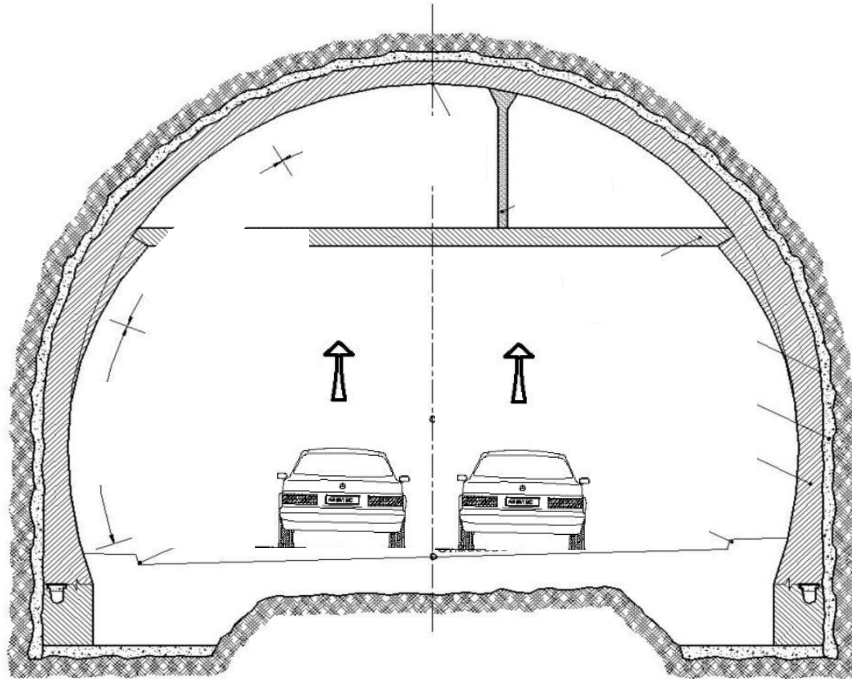


Figura 4 - Elementi strutturali della sezione trasversale



3.4 RILIEVO LASER-SCANNER TERMOGRAFICO E FOTOGRAFICO AD ALTA RISOLUZIONE

Il sistema laser-scanner per i rilevamenti di gallerie consente di effettuare un calco digitale 3D della superficie rilevata, con elevata velocità sia in fase di acquisizione in campo sia nella successiva fase di restituzione. I pregi di questa tecnologia sono il notevole grado di dettaglio e l'accuratezza del dato misurato, nonché l'elevata velocità di acquisizione con conseguente riduzione dell'interferenza tra le attività di rilevamento e l'esercizio della galleria.

L'abbinamento del laser scanner con la termografia permette, inoltre, di mappare (attraverso la temperatura) la presenza di zone umide e di venute d'acqua, che costituiscono la causa primaria degli ammaloramenti del rivestimento.

Di seguito si mostra un esempio delle restituzioni ottenute da una campagna laser-scanner:

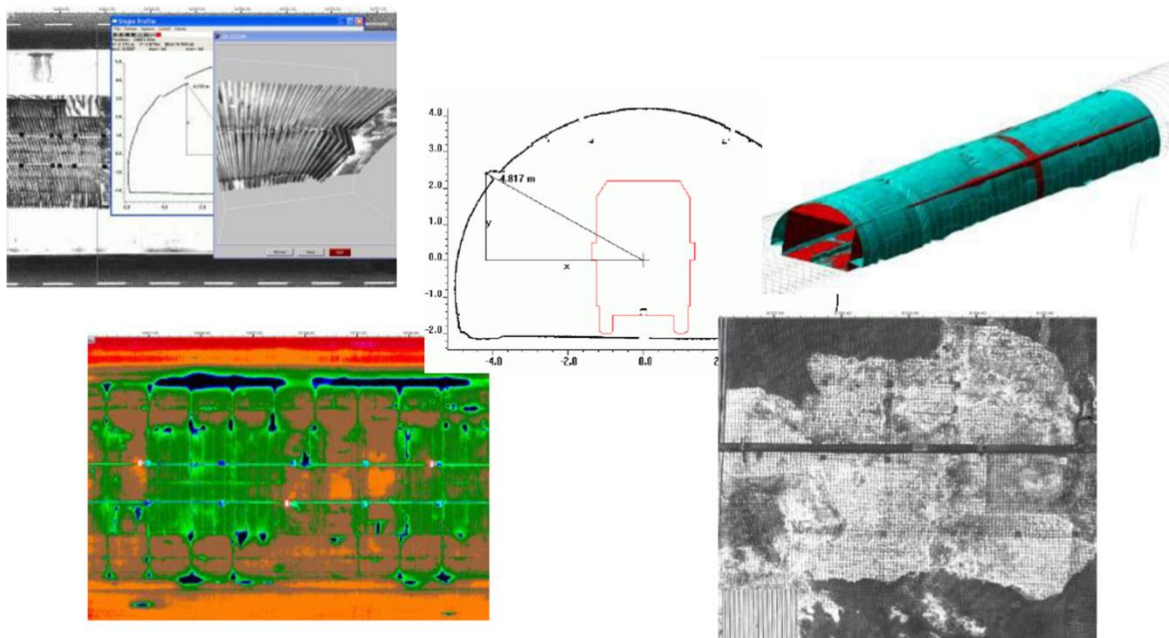


Figura 5 - Immagini del rilievo laser-scanner

3.5 GEORADAR

L'utilizzo del georadar in maniera estesa su tutto lo sviluppo delle gallerie consente di acquisire informazioni affidabili sullo spessore delle calotte, sulla presenza di vuoti a tergo e sulla presenza di armature. Per quanto attiene invece la difettosità e/o disomogeneità nel rivestimento, i risultati ottenuti non sempre consentono una interpretazione oggettiva e coerente con la realtà, in assenza di un'appropriata taratura. I primi costituiranno sicuramente la base informativa preliminare all'avvio delle ispezioni unitamente alla documentazione di progetto e di realizzazione reperibile.

La campagna di indagine con georadar può essere approfondita in corrispondenza di puntuali parti di gallerie che presentano particolari criticità e/o precedenti interventi di messa in sicurezza con reti. Al fine di investigare anche tali puntuali zone, possono essere previste indagini più approfondite attraverso l'utilizzo di georadar dotato di antenne ad alta frequenza e l'utilizzo di videoendoscopie per visionare in profondità lo stato di consistenza della matrice di calcestruzzo.



Esecuzione Georadar

Il rilievo Georadar può essere effettuato in due fasi; la I fase antecedente all'ispezione fornirà il materiale documentale di base, mentre la II fase avverrà contestualmente al "treno di ispezione", la cui composizione è indicata nei paragrafi successivi.

Nello specifico si descrivono le attività delle due fasi:

- **I fase:** passaggio speditivo con 3 o 5 profili di rilievo longitudinali a seconda dell'ampiezza della sezione della galleria:
 - Per le gallerie a 2 corsie si prevedono n.3 profili longitudinali con antenna a doppia frequenza 400-900MHz (200-600MHz opzionale in caso di forte presenza di acqua), uno in chiave e due sulle reni.
 - Per le gallerie a 3 corsie si prevedono n.5 profili longitudinali con antenna a doppia frequenza 400-900MHz (200-600MHz opzionale in caso di forte presenza di acqua); rispetto alla geometria precedente vengono quindi inseriti ulteriori 2 profili a 22,5° dalla posizione di chiave a migliorare la densità del rilievo sulla sezione a 3 corsie (maggior diametro).

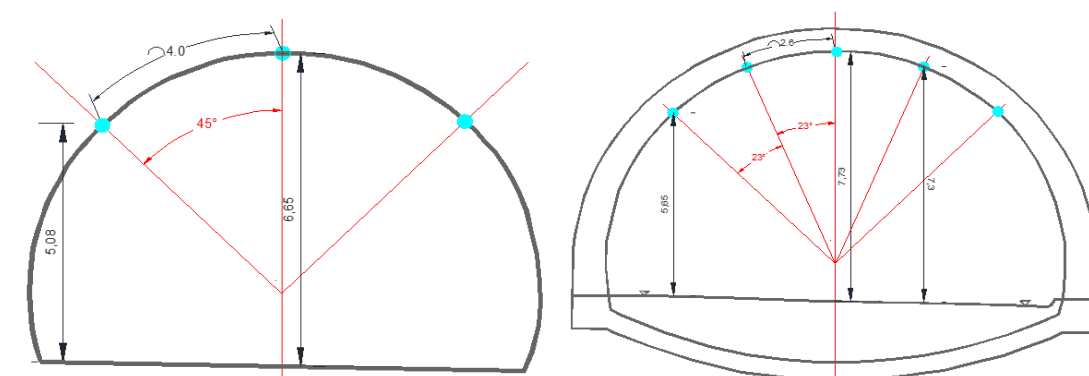


Figura 6 - Numero profili (cerchio azzurro) di scansione per carreggiata a due corsie (tre profili, a sinistra), e a tre corsie (cinque profili, a destra)

- **II fase:** approfondimento con stese localizzate in base alle risultanze delle ispezioni visive e sonore (con percussione a mano con martello) e del georadar di I fase, in particolare nelle zone su cui sono state rimosse le onduline.

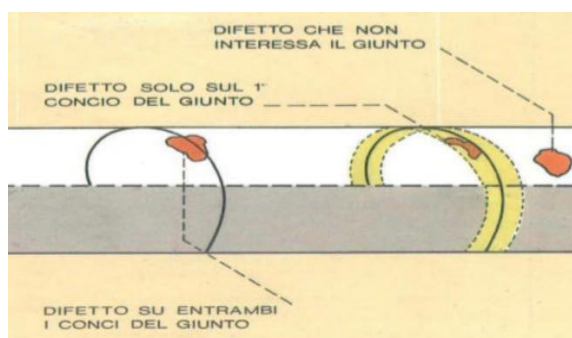


Figura 7 - Esempio di strisciata trasversale su zona di interesse

In aggiunta alla campagna di indagine georadar si può prevedere di eseguire, sempre in II fase, quanto segue:

- Fiorettature e videoendoscopie nelle posizioni di interesse (ad es. tratti occultati dalle onduline, zone caratterizzate dalla presenza di reti, zone bagnate dove la lettura del georadar non risulta significativa, etc) su tutto lo spessore del rivestimento;
- Prelievo di campioni di calcestruzzo per caratterizzare il materiale del rivestimento: in maniera estensiva si prelevano 3 campioni da 50 cm ogni 50 metri, uno in calotta e due sui piedritti; in aggiunta, nelle zone attenzionate in fase di ispezione, possono essere prelevate carote più lunghe per esaminare meglio la composizione del rivestimento e le sue eventuali difettosità.



- Prove di pull-out per caratterizzare lo strato superficiale del calcestruzzo al di sotto delle reti metalliche dove non è possibile effettuare prelievi.
- Prove con martinetti piatti per indagare lo stato tensionale del rivestimento.

3.6 ISPEZIONE APPROFONDATA (CARATTERIZZAZIONE PROFONDA DELLA STRUTTURA)

Con riferimento a quanto evidenziato in premessa, si precisa che tutti i rilievi strumentali, ancorché associati a fasi operative diverse per compatibilità delle velocità di avanzamento e ottimizzazione delle cantierizzazioni necessarie, sono ricompresi e parte integrante della caratterizzazione profonda della galleria.

La caratterizzazione profonda della struttura viene definita anche di “punto zero”.

Il piano di caratterizzazione sarà a sua volta articolato in due fasi, connotate da un diverso grado di priorità attribuito in funzione dell'epoca di costruzione delle gallerie:

1. Gallerie costruite fino all'anno 1979: prive di impermeabilizzazione
2. Gallerie costruite dopo il 1979: impermeabilizzate all'origine.

La caratterizzazione profonda della galleria è articolata a sua volta nelle seguenti fasi, successivamente descritte in modo dettagliato:

FASE PROPEDEUTICA CONOSCITIVA (per ogni galleria)

- Acquisizione dello Storico della documentazione di sorveglianza con congruo anticipo all'avvio delle ispezioni al fine di analizzarne il contenuto.
- Acquisizione degli As-built, compresi tutti gli interventi successivi realizzati nel tempo.
- Acquisizione dell'ispezione preliminare eseguita.
- Acquisizione ed analisi di ogni indagine precedentemente effettuata: georadar, laser scanner, ecc.

FASE ESECUTIVA ISPETTIVA (per ogni galleria)

- Smontaggio onduline attualmente disposte all'intradosso del rivestimento.
- Esecuzione della fase ispettiva, tipicamente in notturna, con 2 squadre di ispettori posizionati su PLE, più un quinto ispettore operante a terra.
- L'ispezione sarà principalmente di tipo visivo e mediante l'ausilio di attrezzature che comporranno il kit per singola squadra composta da 2 ispettori.
- Eventuale segnalazione di condizioni di difettosità “S” o “3U”, secondo classificazione IQOA.
- Eventuale rimontaggio onduline, qualora non si riscontrino difettosità classificate “S”, secondo la posizione originaria o in base a valutazioni aggiornate durante l'ispezione.
- Intervento per la raccolta ed allontanamento di eventuale materiale del rivestimento asportato durante le picchettature (martello).

FASE CONCLUSIVA (per ogni galleria)

- In caso di difettosità “3U” (intervento urgente a breve termine) o “S” (intervento immediato), si provvederà a risolvere la criticità previa valutazione e identificazione progettuale dell'intervento da attuare entro le tempistiche dettate dagli specialisti in accordo alla Direzione Lavori ed al Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione.
- Redazione della Scheda Identificativa di Ispezione (SII) per ogni concio ispezionato e redazione del report ispettivo finale.



3.6.1 Fase propedeutica conoscitiva

Con il termine “preparazione documentale” si intendono tutte quelle operazioni da svolgere al fine di realizzare la documentazione finale richiesta.

Il primo step fondamentale è lo studio della documentazione “as built”. L'ispettore deve infatti conoscere la galleria in anticipo da un esame approfondito degli archivi o documenti che gli vengono forniti (metodi di costruzione, riparazioni, misurazioni e osservazioni di tutti i tipi, riepiloghi o documenti tecnici).

In particolare, preliminarmente all'avvio delle ispezioni del rivestimento definitivo delle gallerie è necessario conoscere:

- Analisi globale di ogni singola canna sulla base delle seguenti informazioni:
 - Anno di costruzione
 - Tratte in roccia o in materiale sciolto
 - Presenza o meno di arco rovescio
 - Presenza di impermeabilizzazione
 - Tipo di drenaggio
 - Quantità d'acqua drenata (dove disponibile il dato)
 - Presenza di faglie e progressive
 - Tipologia di rivestimento (muratura, calcestruzzo armato, calcestruzzo non armato, calcestruzzo spruzzato)
 - Spessore del rivestimento

e prevedere

- lo studio ed analisi di quest'ultima, allo scopo di avere una base “cartografica” di riferimento, che è un dato di base di assoluta importanza per l'ispezione.

Una volta nota la configurazione della struttura sarà compito dell'ispettore verificare la suddivisione in “conci di ispezione” e creare un supporto cartaceo/digitale che permetta di annotare l'ubicazione e dimensione dei difetti in loco; tale operazione è necessaria per semplificare il lavoro di post-ispezione.

Ai fini dell'ispezione sarà quindi utilizzata la **Scheda Identificativa di Ispezione (SII)**, la cui struttura è presentata in un successivo paragrafo.

3.6.2 Fase esecutiva ispettiva

In questo paragrafo vengono presentati gli aspetti fondamentali di cui tener conto per eseguire l'ispezione.

L'ispezione verrà svolta secondo una modalità che viene denominata “treno ispettivo”, il quale sarà composto da:

- Impresa per la rimozione delle onduline, che precederà il team ispettivo con congruo margine (almeno 100 m), questo per lasciare un margine di tempo nel caso il lavoro di ispezione procedesse più velocemente rispetto allo smontaggio delle onduline.
La rimozione delle onduline si ritiene necessaria al fine di mettere a nudo le superfici coperte ed eventuali condizioni di difettosità civile e/o idraulica retrostanti.
- Team ispettivo, che oltre all'esame dello stato generale della galleria, eseguirà gli approfondimenti locali precedentemente citati (in corrispondenza delle onduline e nelle zone caratterizzate da reti).
- Impresa per eventuali approfondimenti locali sul rivestimento con martello laddove servano disaggi locali di materiale risonante.
- Impresa per il rimontaggio delle onduline (asportate al primo punto), secondo la posizione originaria o in base a valutazioni aggiornate dal team ispettivo, al fine di rendere la galleria fruibile, salvo rilevamento di difettosità classificate con la lettera “S”.

Eventuali altre imprese potranno essere presenti per puntuali e localizzate indagini.

Data la natura dell'ispezione supportata da martellamento, al termine delle operazioni, sarà necessario effettuare la raccolta ed allontanamento di eventuale materiale del rivestimento asportato.

Il team ispettivo opererà in totale assenza di traffico. Gli ispettori si divideranno i compiti di visionare i due piedritti e la calotta contemporaneamente, in modo tale da completare l'ispezione procedendo in una sola



direzione. Questa configurazione è fondamentale per permettere lo svolgersi dell'ispezione seguendo la struttura del "treno ispettivo".

Il team ispettivo si dividerà il compito di ispezionare la sezione trasversale della galleria nella seguente configurazione:

- Team 1: 1 o 2 ispettori a terra che ispezioneranno i piedritti;
- Team 2: 2 ispettori su piattaforma semovente ispezioneranno il rene sinistro e la parte sinistra della calotta;
- Team 3: 2 ispettori su piattaforma semovente ispezioneranno il rene destro e la parte destra della calotta;
- In maniera alternata, il team 2 e 3 torneranno a ispezionare la zona di chiave della calotta.

Si ipotizza una **velocità di avanzamento** differente per le gallerie in Tipologia 1, realizzate prima del 1979 e prive di impermeabilizzazione (e quindi verosimilmente maggiormente affette da situazioni di ammaloramento), e quelle in Tipologia 2, segnatamente:

- **Tipologia 1:** 350 m su 8 h (ivi incluso il tempo per e dal sito di ispezione)
- **Tipologia 2:** 600 m su 8 h (c.s.)

La velocità di avanzamento dipenderà dalla frequenza, tipologia ed estensione delle difettosità riscontrate, oltre che della sezione trasversale del rivestimento (sezione a 2 corsie o a 3 corsie) e dalle condizioni climatiche, che potrebbero incidere negativamente sulla velocità di avanzamento.

L'ispezione in calotta/reni sarà sempre condotta con l'**ausilio di 2 PLE**, sia per le gallerie a 3 corsie sia per quelle a 2 corsie, poste in modo opportuno affinché ciascuna possa ispezionare al meglio le reni ed almeno metà calotta, realizzando per la sezione in chiave un "sistematico doppio passaggio". Le PLE dovranno avere un'elevazione tale da consentire agevolmente il raggiungimento della volta, onde poter eseguire l'ispezione visiva e la martellatura della calotta. Nel caso generale si prevedono le seguenti configurazioni:

- Carreggiata a 3 corsie: le 2 PLE procederanno affiancate sovrastando le 2 linee di separazione delle corsie;

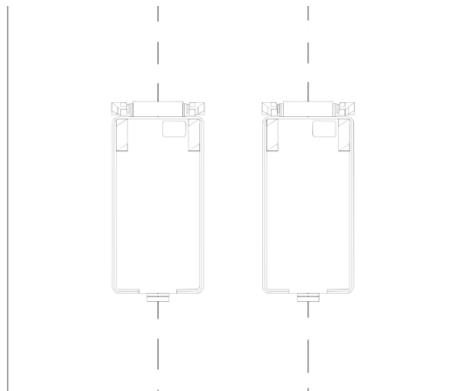


Figura 8 - Configurazione PLE per carreggiata a 3 corsie

- Carreggiata a 2 corsie: le 2 PLE procederanno leggermente sfalsate e distanziate di qualche metro lungo il senso di marcia, in modo da consentire il passaggio di un eventuale mezzo di soccorso.

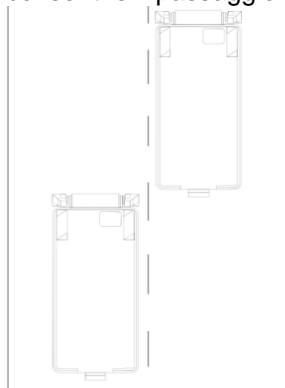


Figura 9 - Configurazione PLE per carreggiata a 2 corsie



3.6.2.1 I compiti dell'ispettore

Lo scopo dell'ispezione di una galleria consiste nell'individuare i difetti del rivestimento di galleria.

Indipendentemente dalle informazioni che sono già state acquisite attraverso lo studio dei documenti, l'ispettore deve esaminare tutto ciò che è visibile sull'intradosso.

L'ispezione "Punto Zero" sarà dettagliata con riferimento al rivestimento definitivo (piedritti, paramenti e volta) e prevede, a titolo di esempio non esaustivo:

- controllo visivo e sonoro delle zone critiche della superficie della volta, ponendo particolare attenzione alle zone che presentano alterazioni o fessure che potrebbero causare distacchi superficiali di materiale;
- rilevamento delle fessurazioni sul rivestimento con posizione verticale, orizzontale, diagonale, con indicazione se capillare o di ampiezza millimetrica (stimando col calibro l'ampiezza);
- indicazione se le lesioni sono calcificate o meno;
- tracce di sali, incrostazioni da stillicidio, depositi o incrostazioni;
- rilevamento umidità superficiale;
- rilevamento efflorescenza;
- rilevamento delle percolazioni o venute d'acqua;
- rilevamento distacchi superficiali e loro dimensione;
- rilevamento di esfoliazione;
- rilevamento rigonfiamenti corticali del calcestruzzo e loro dimensione (vedi foto precedente);
- rilevamento presenza di vespai corticali e loro dimensione;
- rilevamento tracce di ruggine;
- rilevamento di ferri a vista;
- rilevamento di eventuali reti di protezione e loro sistema di appensione;
- etc.

Fa parte integrante del presente documento il "**Nuovo Catalogo dei Difetti**".

L'ispettore deve annotare, sui disegni della struttura preparati nella fase propedeutica conoscitiva (paragrafo 3.6.1), i dettagli strutturali e i difetti osservati e annotare qualsiasi segno che gli consenta di valutare la situazione e di sviluppare una diagnosi preliminare.

È quindi molto importante che gli ispettori abbiano una buona conoscenza dei deterioramenti strutturali (sintomi, cause, possibili conseguenze), nonché una buona conoscenza generale del comportamento delle strutture, al fine di poter rilevare «il problema» il cui sviluppo potrebbe generare gravi difetti.

Durante l'ispezione sarà compito di ciascuna squadra annotare su tablet/cartaceo tutti i difetti riscontrati durante l'ispezione, avendo cura di indicare i seguenti parametri:

- Tipo di difetto in relazione al catalogo difetti riassunto al paragrafo 5.1;
- Valutazione IQOA del difetto come indicato al paragrafo 0;
- Ubicazione del difetto, facendo riferimento al concio di ispezione e quota rispetto alla sezione trasversale, nel caso di difetti estesi si deve fare riferimento alla progressiva di inizio e fine difetto;
- Forma ed estensione del difetto:
 - Per difetti estensivi (per esempio ammaloramento calcestruzzo, efflorescenze, vespai ecc.) va indicata una stima della superficie in metri quadri e tramite uno schizzo la forma del difetto;
 - Per difetti localizzati come lesioni va indicato lo spessore, in millimetri, e la lunghezza, in metri, quindi tramite uno schizzo si annota la direzione.

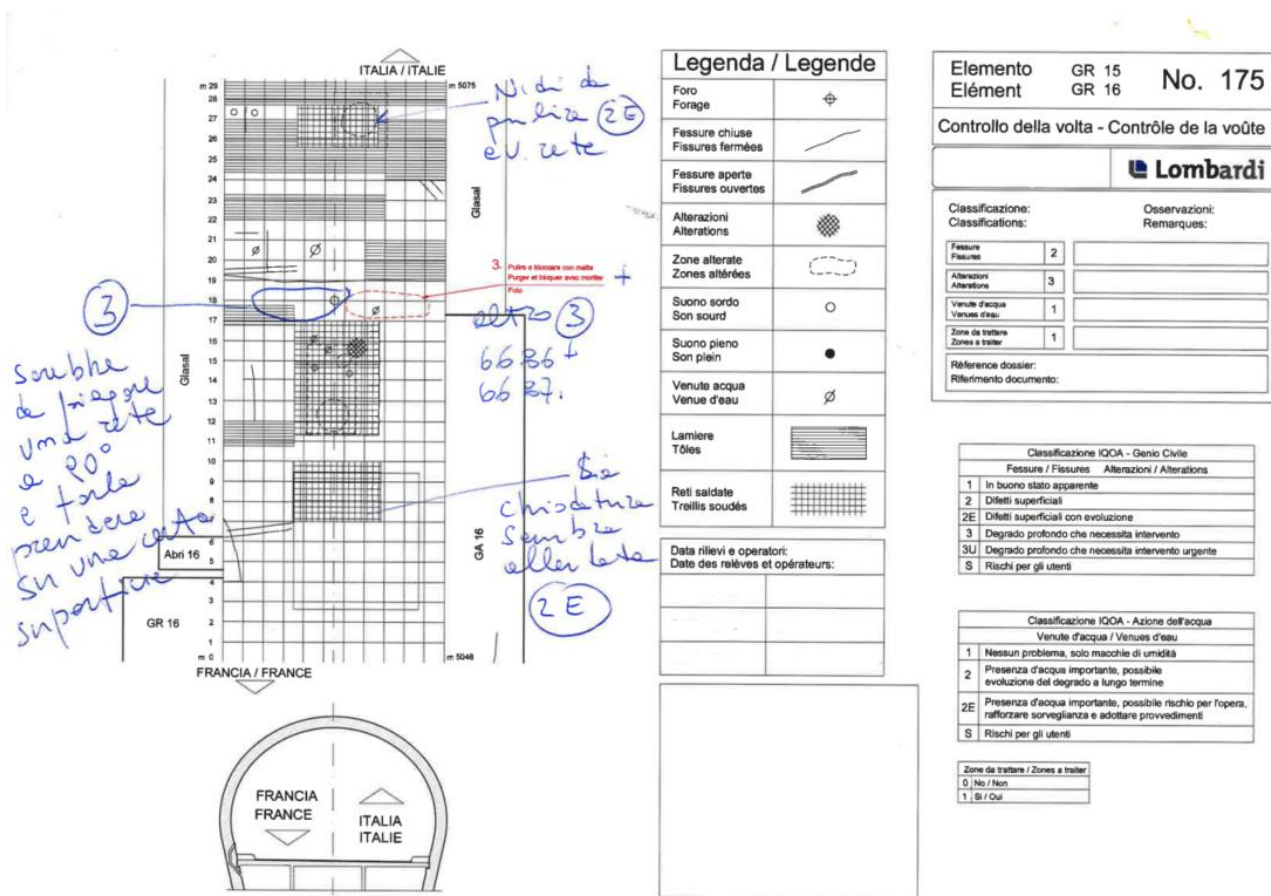


Figura 10 - Esempio di scheda e delle annotazioni in loco

Le fotografie d'insieme ed i primi piani saranno utilizzate per integrare i rapporti. Tuttavia, per un migliore utilizzo in ufficio e risultati migliori, le fotografie devono essere facilmente riconducibili all'ubicazione dello scatto.

In generale, una fotografia grandangolare consente di localizzare il problema nel tunnel; una vista ravvicinata consente di apprezzarne le dimensioni allegando anche un segno di scala che possa rendere comprensibile le dimensioni del difetto.

Eseguite le ispezioni, le Schede Identificative di Ispezione saranno oggetto di restituzione grafica in backoffice e, terminata l'ispezione della galleria, sarà redatto un report, con in allegato o richiamate le Schede Identificative di Ispezione, la cui struttura verrà presentata nei paragrafi successivi.

La restituzione grafica di quanto rilevato seguirà, per quanto possibile, lo stato di avanzamento delle ispezioni, concludendosi con l'ispezione dell'ultimo concio e con il report relativo entro una settimana dalla data di termine dell'ispezione.

Inoltre, è compito dell'ispettore segnalare immediatamente, durante l'ispezione stessa, le condizioni di difettosità valutate "3U" o "S", definite al paragrafo 0, le quali richiedono interventi urgenti al fine di prevenire potenziali rapide degradazioni (nel caso di "3U") o essere tali per cui non può essere garantita la sicurezza degli utenti (nel caso di "S") e rendere necessaria la chiusura della galleria.

Il compito dell'ispettore sarà quello di raccogliere tutto il materiale redatto durante l'ispezione in loco, annotazioni, votazioni IQOA, fotografie e di consegnare tutto il materiale alle persone incaricate di svolgere il lavoro di caricamento e realizzazione della scheda identificativa di ispezione (SII).

3.6.2.2 Kit della squadra di ispezione (per 2 persone)

Ciascuna squadra di ispettori eseguirà l'ispezione visiva avvalendosi delle attrezzature di seguito elencate (kit valido per una squadra composta da due ispettori):



- “martello”, il cui utilizzo varia in base al grado di ammaloramento della superficie oggetto di ispezione:
 - Un’azione di **martellamento più decisa** è prevista nel caso evidente di superfici prive di difetti, questo per valutare attraverso la risposta sonora la presenza o meno di vuoti a tergo (suono sordo, che potenzialmente può nascondere difettosità o quadri fessurativi nello spessore del rivestimento);
 - **Nessuna azione di martellamento** è prevista nel caso di manifesti e importanti quadri fessurativi passanti o ramificati o su parti di rivestimento fortemente ammalorate (ad esempio, questa condizione potrebbe verificarsi in corrispondenza delle zone a cavallo dei giunti strutturali con o senza flussi di acqua); rientrano in tale casistica anche le superfici coperte da reti metalliche.
In tal caso, l’Ispettore dovrà segnalare l’eventuale criticità, delimitando il difetto tramite l’uso della bomboletta spray, e richiede l’intervento immediato dell’impresa specializzata (messa a disposizione dal gestore della galleria), che attraverso l’uso del martello potrà verificare localmente il rivestimento in disamina.
 - Un’azione di **martellamento leggera** è prevista nel caso di difetti superficiali, non rientranti nella casistica precedente (difettosità corticali). In presenza di siffatte condizioni, la parte corticale del rivestimento non dovrà essere asportata.
In tal caso, l’Ispettore dovrà segnalare la criticità, delimitando il difetto tramite l’uso della bomboletta spray, e questa dovrà essere risolta durante la fase di ispezione, attraverso il coinvolgimento di impresa specializzata (messa a disposizione dal gestore della galleria), che attraverso l’uso del martello potrà verificare localmente il rivestimento asportando le parti instabili.
- Metro a nastro
 - Questo è uno strumento che consente di creare punti di riferimento in un tunnel che non contiene ancora alcun segno (da evitare a tutti i costi) o di misurare le dimensioni di parti della struttura.
 - Per i contrassegni di riferimento, al fine di limitare gli errori cumulativi, si consiglia una lunghezza del nastro di 50 m;
- Distanziometro laser;
- Fessurimetro
 - Questo strumento consente segnalare la larghezza di eventuali fessurazioni osservate durante l’ispezione che potranno essere monitorate nel tempo.

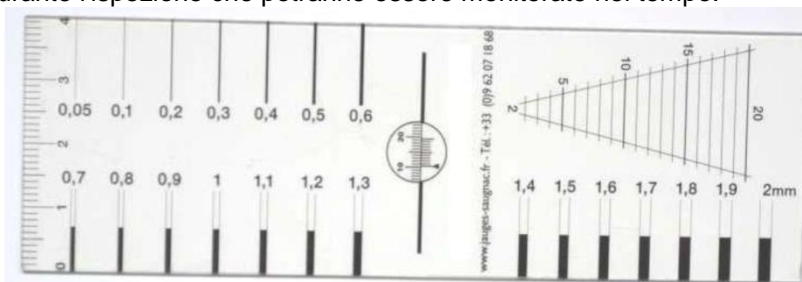


Figura 11 - Esempio di un fessurimetro

- Calibro;
- Lampada manuale
 - L’illuminazione installata nelle gallerie non è normalmente sufficiente per consentire l’esecuzione di buone osservazioni, in particolare della calotta. È quindi essenziale disporre di un’illuminazione aggiuntiva il più potente possibile. Questa illuminazione (fornita da terzi) dovrebbe essere in grado di illuminare una vasta area del rivestimento.
- Bomboletta spray di colore giallo o arancio:
 - In presenza di difettosità oggetto di approfondimenti immediati o urgenti, l’ispettore evidenzierà sul rivestimento la posizione e la possibile teorica estensione, identificando la zona con una sigla.
- Apparecchio fotografico
 - Il dispositivo deve anche essere in grado di scattare primi piani (modalità macro) per dettagli, ad esempio l’apertura di una crepa;



- Dispositivi di Protezione Individuale (DPI) di III categoria per i lavori in quota:
 - dispositivi di protezione del capo
 - dispositivi di protezione delle vie respiratorie
 - dispositivi di protezione degli occhi
 - dispositivi di protezione degli arti superiori
 - dispositivi di protezione degli arti inferiori
 - dispositivi anticaduta
 - abbigliamento di protezione del corpo
- Sclerometro:
 - Durante l'ispezione visiva, si potranno eseguire alcune battute sclerometriche (non certificate) nelle zone in cui la superficie del rivestimento lo consente, evitando pertanto, sistematicamente aree con alterazioni corticali evidenti, le quali saranno comunque segnalati ma non investigate con battute sclerometriche.
- Tablet (eventualmente)

3.6.3 Fase conclusiva

Con la fase conclusiva si intendono tutte quelle attività da svolgere una volta terminata la fase esecutiva ispettiva.

Qualora vi fosse una segnalazione "S" (problema di sicurezza che non consente la riapertura al traffico della galleria) si attiva in automatico un protocollo di intervento; un tavolo tecnico progettuale stabilirà il tipo di intervento provvisorio da attuare in modo tale che l'apertura al traffico della galleria possa avvenire prima possibile, compatibilmente con l'intervento di «messa in sicurezza» da attuarsi.

L'intervento eseguito ha quindi la finalità di ripristinare temporaneamente la fruizione dell'opera con una minima attività di lavori in previsione di un intervento più strutturato definitivo.

3.6.3.1 Scheda identificativa di ispezione (SII)

Ogni team di ispezione dovrà compilare la Scheda Identificativa di Ispezione (SII), in cui la parte identificativa conterrà le seguenti informazioni:

- la data di ispezione
- la fascia oraria in cui si è condotta l'ispezione
- la tratta autostradale
- il nome della galleria compresa la direzione (est/ovest, nord/sud, direzione principale)
- identificazione del concio ispettivo
- la tipologia di struttura esaminata (piedritto, paramenti, volta)
- eventuale altro personale presente (escluso gli ispettori)
- il nome e la firma degli ispettori
- il timbro dell'impresa
- note eventuali

La compilazione della SII rappresenta la conclusione del lavoro di ispezione. La sua efficienza e completezza è indispensabile per la realizzazione di un database storico che possa seguire l'evoluzione dei difetti o la loro riparazione.

È fondamentale che il rapporto sia il più chiaro possibile e che sia di facile interpretazione, senza ambiguità, da chiunque in futuro necessiti di consultarlo nel caso di intervento, di qualsiasi natura. Deve mostrare chiaramente le aree della struttura che possono mettere in pericolo la sicurezza degli utenti o l'integrità della struttura.

Inoltre, è richiesta coerenza tra le diverse schede, a tale scopo sono state definite delle figure e dei simboli per codificare materiali, difetti e strumentazioni in maniera univoca.

Alla scheda identificativa di ispezione (SII) si alleggeranno i seguenti elaborati oggetto di specifica verifica/analisi in backoffice:

1. Elaborato AutoCAD
2. Report dell'ispezione



3.6.3.2 Elaborato grafico

Nella **fase di backoffice**, il rilievo riportato sulla **Scheda Identificativa di Ispezione (SII)** del concio i-esimo, sarà riprodotto su formato editabile in formato .dwg, eventualmente sovrapposto al rilievo laser-scanner (se disponibile) in via preliminare all'avvio delle ispezioni, costituendo la parte grafica di riferimento della reportistica che sarà redatta al termine dell'ispezione della singola galleria.

La restituzione grafica di quanto rilevato seguirà, per quanto possibile, lo stato di avanzamento delle ispezioni, concludendosi con l'ispezione dell'ultimo concio e con il report relativo entro una settimana dalla data di termine dell'ispezione. Al fine di garantire omogeneità tra le diverse schede sarà obbligatorio l'uso della codifica racchiusa nella seguente tabella:

Legenda difetti		
Descrizione	Simbolo	Codici
Cavità		IQOA
Fessure chiuse		IQOA
Fessure aperte		IQOA
Zone alterate		IQOA
Alterazioni		IQOA
Suono sordo		IQOA
Venute acqua		IQOA

Figura 12 - Legenda delle difettosità

In questo modo verrà redatto uno schema dell'intradosso della galleria, a titolo esemplificativo si riporta quello di ASPI, considerandolo come se fosse visto dall'alto e sviluppato su una superficie piana divisa in settori di lunghezza 1m:

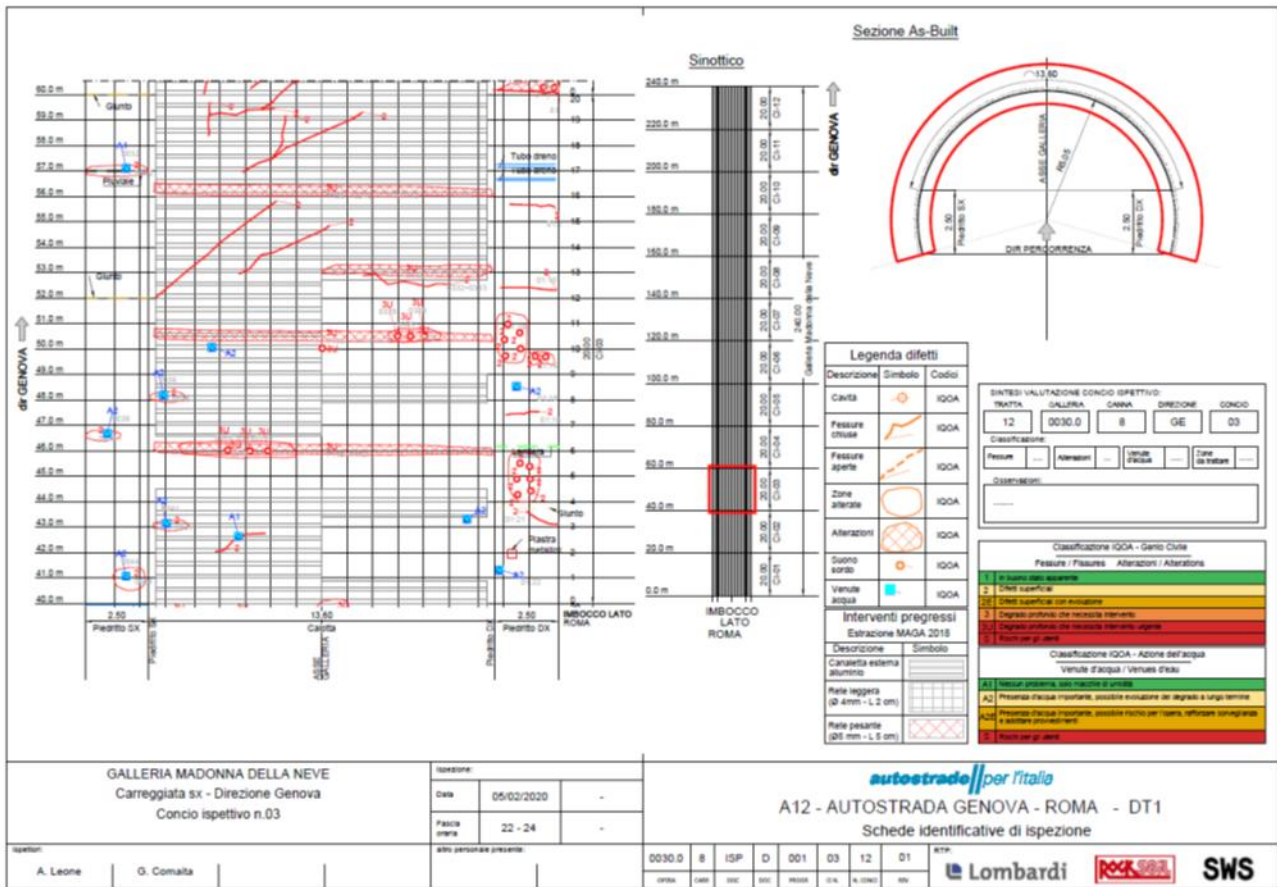


Figura 13 - Esempio di un disegno AutoCAD con la schematizzazione delle difettosità

L'adozione di una codifica generale è indispensabile per i seguenti motivi:

- La prima indagine dell'intradosso costituisce il punto di partenza delle future ispezioni con relativi aggiornamenti.
- È importante che questi disegni possano essere eseguiti, e modificati, da tecnici diversi da quelli che hanno condotto il rilievo iniziale, sfruttando la stessa codifica di base.
- Deve essere possibile in futuri interventi, per qualsiasi scopo, che qualsiasi persona possa comprendere lo stato del rivestimento in modo inequivocabile,
- Il documento deve mostrare chiaramente le aree del rivestimento che incidono sulla sicurezza degli utenti o della struttura stessa,
- La definizione e l'applicazione di una politica coerente per il monitoraggio e la manutenzione di una serie di tunnel sarà facilitata dall'uso di disegni pienamente comparabili.

Questo primo output è particolarmente utile nei seguenti casi:

- per il gestore stesso, infatti nelle future ispezioni potrà essere usato come documento cartaceo di base da utilizzare in loco per appuntare eventuali evoluzioni/riparazioni,
- per eventuali riparazioni, in modo che le persone incaricate possano conoscere in anticipo posizione, gravità e forma dei difetti da riparare, riducendo così la possibilità di incomprensioni/errori.
-

3.6.3.3 Report dell'ispezione

In generale il report di ispezione sarà emesso al termine della fase ispettiva.

Il report di ispezione costituisce il secondo output dell'ispezione; il suo scopo è quello di far conoscere, nella maniera più precisa possibile, lo stato della struttura al momento dell'ispezione.



Se si osservassero deterioramenti significativi, si ritiene opportuno emanare un rapporto preliminare mostrando chiaramente le varie sezioni e aree identificate nella struttura.

Nei casi più complessi in cui sussistono ancora incertezze, la relazione dovrà anche suggerire misure o ulteriori indagini da intraprendere e da concordare con il gestore della galleria.

Qui di seguito viene riportato un esempio di modello, con tutti i punti chiave consigliati di trattare, per la restituzione del report di ispezione:

3.6.3.3.1 1 - IDENTIFICAZIONE

- Gestore della galleria:
- Nome della galleria:
- Canna:
- Direzione (tipo di corsia, numero di corsie):
- Progressiva dell'origine:
- Regione:
- Città:
- Identificativo della galleria:
- Date di costruzione (*inizio e fine dei lavori*):
- Data di apertura al pubblico

Nota bene relativo ai §2 e 3: i seguenti tre paragrafi formano un riepilogo dei dati completi che possono essere trovati sulla documentazione "as-built". Questo riassunto ha lo scopo di facilitare la comprensione del rapporto per un lettore che non avrebbe accesso alla scheda tecnica. Dovrebbe essere stabilito al primo controllo e poi aggiornato su base regolare.

3.6.3.3.2 2 – CARATTERISTICHE GENERALI

- Riassunto delle caratteristiche di ciascuna canna (numero di canne, lunghezza e larghezza transitabile di ciascuna canna, distanza tra piedritti, etc.)
- Struttura della galleria (falso portale, trincea coperta, rivestimento, etc.), definite per canna, ove applicabile
- Geometria (piedritto, rene, calotta, ecc) definita per ogni canna e per "concio di ispezione", dove applicabile.
- Modalità di scavo (*eventuale*)
- Drenaggio e impermeabilizzazione (*eventuale*)
- Piattaforma e marciapiede (se presente)
- Strutture correlate (sotterranee ed esterne)
- Riparazioni o miglioramenti degni di nota

3.6.3.3.3 3 – CONTESTO GEOLOGICO E GEOTECNICO (breve descrizione)

- Condizioni geologiche e idrogeologiche
- Promemoria delle particolari caratteristiche geologiche che causarono difficoltà durante la costruzione.
- Richiamo di risultati relativi a monitoraggi effettuati (*eventuale*)

3.6.3.3.4 4 – VITA DELLA GALLERIA

- Documenti di riferimento (date delle precedenti ispezioni dettagliate e riferimenti dei fascicoli, data dell'ultima valutazione IQOA (se presente) e riferimento del fascicolo, breve riepilogo delle conclusioni di ispezioni o ispezioni precedenti (se presenti))
- Descrizione sintetica (qualora disponibili le informazioni) degli interventi eseguiti dall'ultima ispezione
- Indagini specifiche o monitoraggio attuato (misurazioni, risultati e analisi)
- Misure di sicurezza speciali adottate

3.6.3.3.5 5 – CARATTERISTICHE DELL'ISPEZIONE

- Date, durata
- Mezzi utilizzati (attrezzature, veicoli specifici, restrizioni al traffico, chiusura completa, personale di sicurezza, ecc.)



- Definizione dei “conci di ispezione” identificati dalla posizione univoca.
- Definizione precisa delle parti di galleria ispezionata
- Condizioni metereologiche

3.6.3.3.6 6 – DESCRIZIONE DEI DIFETTI PRINCIPALI RILEVATI

Descrive sinteticamente i difetti e gli altri fatti principali rilevati durante l'ispezione.

Muratura

- descrizioni generali sullo stato dei blocchi, della malta ecc,
- descrizione delle venute d'acqua,
- condizione delle vecchie riparazioni (se presenti),
- deformazioni, cedimenti, fessurazioni, aree di suono cavo;

Calcestruzzo

- Descrizione dell'aspetto generale,
- Descrizione dei giunti,
- descrizione del quadro fessurativo (ritiro, rottura...), aree di suono cave, venute d'acqua, vari deterioramenti;

Non rivestito

- posizione esatta e descrizione delle formazioni rocciose instabili o potenzialmente instabili (natura, volume);
- venute d'acqua.

3.6.3.3.7 7 – CLASSIFICAZIONE IQOA

Da eseguirsi sulle parti oggetto dell'ispezione: piedritti, reni, calotta.

Difetti civili

- Valutazione dei difetti all'interno di ciascun “concio di ispezione”,
- Riepilogo delle votazioni.

Venute d'acqua

- Valutazione dei difetti all'interno di ciascun “concio di ispezione”,
- Riepilogo delle votazioni

3.6.3.3.8 8 – MONITORAGGI

Descrive la proposta di eventuali ulteriori indagini, prove e misurazioni (ragione, natura, descrizione e analisi dei risultati) effettuate dall'ultima ispezione.

Raccomandazioni (eventuali) per nuove indagini/monitoraggi, ove applicabile.

3.6.3.3.9 9 – CONCLUSIONI A VALLE DELL'ISPEZIONE

Conclusioni sull'ispezione

- Variazioni rispetto alle precedenti ispezioni (se presenti)
- Eventuale riassunto ed interpretazione delle misurazioni, delle indagini e delle prove eseguite dall'ultima ispezione

Suggerimenti conclusivi (se necessari)

- Proposte su misure di sicurezza e, se necessario, per una modifica del regime di monitoraggio (modifica della periodicità, intensità del regime di monitoraggio, ecc.)
- Raccomandazioni su eventuali indagini aggiuntive
- Raccomandazioni relative alla manutenzione ordinaria e specializzata
- Proposte relative alle riparazioni da programmare (grado di urgenza, tipo di azione).

I punti che minacciano l'immediata sicurezza degli utenti (e/o delle strutture) devono essere immediatamente e chiaramente definiti e contrassegnati. Il gestore della galleria deve essere informato immediatamente.



3.6.3.3.10 10 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E GRAFICA

Riporta le foto eseguite durante l'ispezione e rimanda all'elaborato Autocad dell'ispezione

3.6.3.3.11 ALLEGATI

Appendici aggiuntive (secondo necessità: prove, misurazioni, grafici, tabelle etc).

Si mostra nel seguito un esempio di output riassuntivo delle valutazioni IQOA, utilizzato da ASPI, per i conci ispettivi della singola galleria.

1. Numero dei difetti per concio ispettivo con classificazione IQOA:

Opera: 12.01.0030.8-Madonna della neve_dir-GE



TRATTA	TRONCO	COD	DIR	Pk Inizio	L tot
12	01	0030.8	GE	41+917.0	240

ASSESTEMENT GALLERIE AUTOSTRADALI

Numero dei difetti suddivisi secondo il codice IQOA



Difetti del rivestimento

Cod IQOA	CONCI												Totale complessivo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	9	11	33	27	19	11	26	27	12	21	17	24	237
2E		4		9	7	3	3	2	1	1		1	31
3					1				3		2		6
3U	2	15	13	7	5	5	10	3	4	8	9	9	90

CLASSIFICAZIONE IQOA Fessure / alterazioni	
1	in buono stato apparente
2	difetti superficiali
2E	difetti superficiali con evoluzione
3	degrado profondo che necessita intervento
3U	degrado profondo che necessita intervento urgente
3S	sicurezza per gli utenti

2. Aree dei difetti (mq) con classificazione IQOA:

Opera: 12.01.0030.8-Madonna della neve_dir-GE



TRATTA	TRONCO	COD	DIR	Pk Inizio	L tot
12	01	0030.8	GE	41+917.0	240

ASSESTEMENT GALLERIE AUTOSTRADALI

Resoconto AREE difetti secondo il Codice IQOA
[valori in mq]



Difetti del rivestimento

Cod IQOA	CONCI												Totale complessivo	Cod IQOA	% aree con difetti
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
2	11.8	6.9	30.8	35.8	13.8	9.3	20	20.8	6.5	17	19.2	19.2	211.1	2	4.7%
2E		22.7		12.1	7	3.8	4.7	9.4	2.1	0.1		2	63.9	2E	1.4%
3									19.2		1.5		23.7	3	0.5%
3U	10.7	29.4	28.1	37.5	15.5	25.7	41.7	16.9	45.3	38.6	42.2	47.9	379.5	3U	8.5%

CLASSIFICAZIONE IQOA Fessure / alterazioni	
1	in buono stato apparente
2	difetti superficiali
2E	difetti superficiali con evoluzione
3	degrado profondo che necessita intervento
3U	degrado profondo che necessita intervento urgente
3S	sicurezza per gli utenti

Area complessiva rivestimento [mq] 4464 1 84.8%



3. Percentuale dei difetti per singolo concio ispettivo con classificazione IQOA:

Opera: 12.01.0030.8-Madonna della neve_dir-GE

autostrade *per l'italia*

TRATTA	TRONCO	COD	DIR	Pk Inizio	L tot
12	01	0030.8	GE	41+917.0	240

ASSESTEMENT GALLERIE AUTOSTRADALI

Resoconto PERCENTUALE difetti per Cod IQOA

Lombardi **ROCKSOIL** SWS

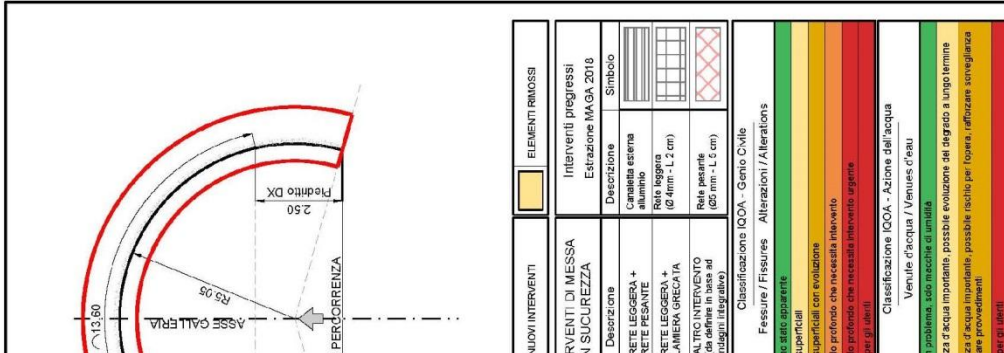
Difetti del rivestimento

Cod IQOA	CONCI												Cod IQOA	% aree con difetti
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2	3.2%	1.9%	8.3%	9.6%	3.7%	2.5%	5.4%	5.6%	1.7%	4.6%	5.2%	5.2%	2	4.7%
2E		6.1%		3.3%	1.9%	1.0%	1.3%	2.5%	0.6%	0.0%		0.5%	2E	1.4%
3					0.8%				5.2%			0.4%	3	0.5%
3U	2.9%	7.9%	7.6%	10.1%	4.2%	6.9%	11.2%	4.5%	12.2%	10.4%	11.3%	11.9%	3U	8.5%
CLASSIFICAZIONE IQOA Fessure / alterazioni													1	84.8%
1	in buono stato apparente													
2	difetti superficiali													
2E	difetti superficiali con evoluzione													
3	degrado profondo che necessita intervento													
3U	degrado profondo che necessita intervento urgente													
3	sicurezza per gli utenti													

Questo secondo output è necessario al responsabile della galleria per avere una visione semplice e immediata dello stato di salute dell'opera.



0



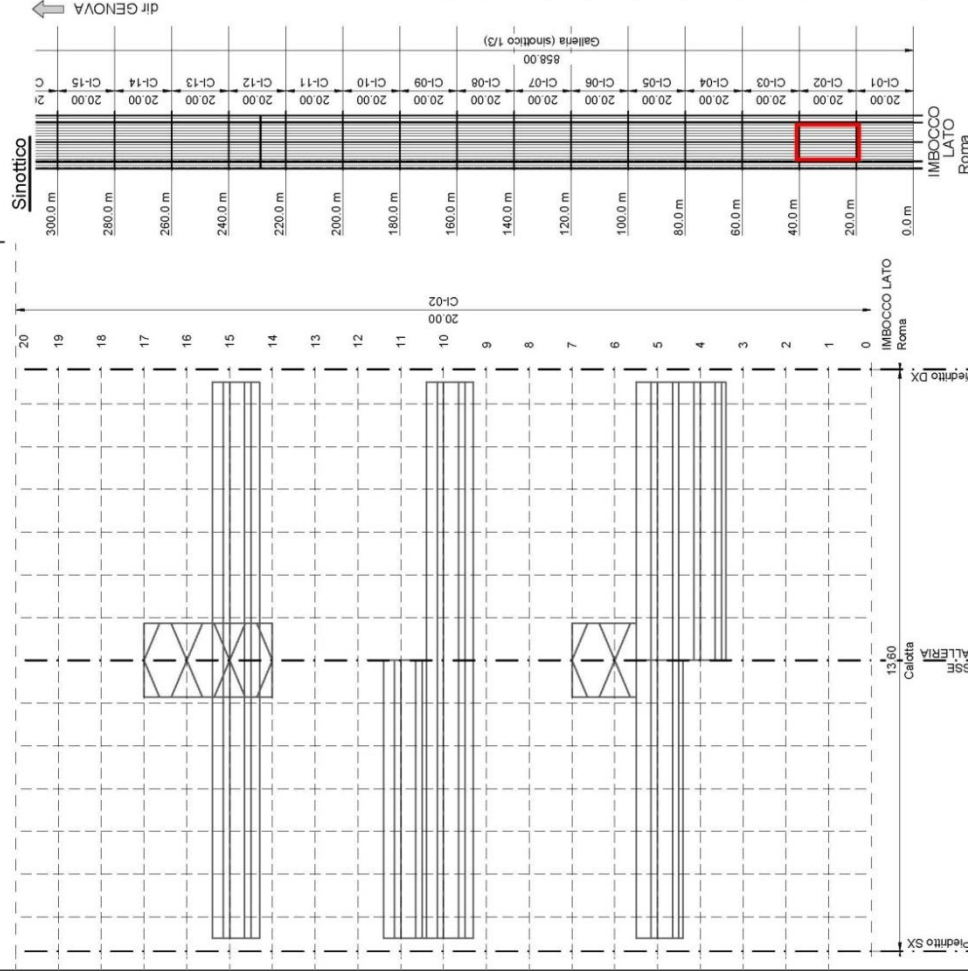
NUOVI INTERVENTI		ELEMENTI RIMOSI	
Descrizione	Canale esterna	Simbolo	[X]
RETE LEGGERA + RETE PESANTE	Reti leggere (Ø min. - L 4 cm)	Interventi progressi Estrazione MAGA 2018	[X]
RETE LEGGERA + AMMERA GRECIA	Reti pesanti (Ø2 min. - L 5 cm)	Interventi progressi Estrazione MAGA 2018	[X]
ALTRIC INTERVENTO da definire in base ad indagini integrative			

Classificazione IOQA - Genio Civile	
Fessure / Fissures	Alterazioni / Alterations
Difetti superficiali	
Difetti superficiali con evoluzione	
Degradato profondo che necessita intervento	
Degradato profondo che necessita intervento urgente	
Rischi per gli utenti	
Classificazione IOQA - Azione dell'acqua	
Venute d'acqua / Venues d'eau	
Nessun problema, solo macchie di umidità	
Presenza d'acqua importante, possibile evoluzione del degrado a lungo termine	
Presenza d'acqua importante, possibile rischio per l'opera, rafforzare sorveglianza e adottare provvedimenti	
Rischi per gli utenti	

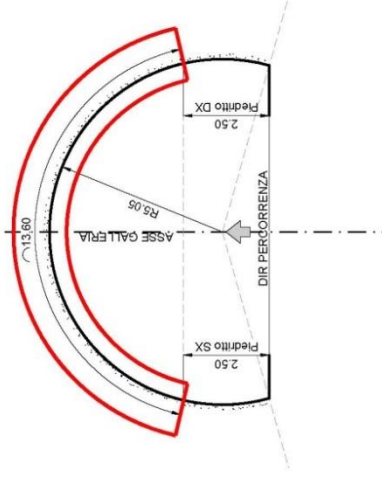
italia
GENOVA-ROMA
Scheda identificativa degli interventi



SWS



Sezione As-Built



Descrizione	Simbolo	Codici
Cavità	[Symbol]	IOQA
Fessure chiuse	[Symbol]	IOQA
Fessure aperte	[Symbol]	IOQA
Zone alterate	[Symbol]	IOQA
Alterazioni	[Symbol]	IOQA
Suono sordo	[Symbol]	IOQA
Venute acqua	[Symbol]	IOQA

SINTESI VALUTAZIONE CONCIO ISPETTIVO:			
TRATTA	GALLERIA	DIREZIONE	PARTE
A12	GN037	GE	CA
CONCIO 02			

Classificazione IOQA - Azione dell'acqua	
Venute d'acqua / Venues d'eau	
Nessun problema, solo macchie di umidità	
Presenza d'acqua importante, possibile evoluzione del degrado a lungo termine	
Presenza d'acqua importante, possibile rischio per l'opera, rafforzare sorveglianza e adottare provvedimenti	
Rischi per gli utenti	

GALLERIA SANT'ANNA
Canna direzione Genova
Concio ispettivo n.02
Calotta

Data: FEBBRAIO 2020
Fascia oraria: 22 - 06
altro personale presente:

TRONCO 1 - Autostrada A12 GENOVA-ROMA
Scheda identificativa di ispezione



cod documento:

DT1-A12-GN037-GE-CA-02

pagina:

02 / 43

rev.:

01

RTP:

Lombardi



SWS



5 NUOVO MANUALE DI ISPEZIONE E CATALOGO DIFETTI

I deterioramenti o difetti osservati più spesso durante l'ispezione di gallerie sono stati raggruppati insieme e classificati per tipologia sotto forma di un catalogo che compone il catalogo difetti allegato a questo manuale.

Gli ispettori dispongono quindi di definizioni e immagini pratiche utili per una classificazione, nei limiti della ragione, oggettiva dei difetti.

5.1 LISTA DEI DIFETTI

L'elenco completo dei difetti è riportato nella seguente tabella:

Interazione con l'acqua	
Infiltrazioni d'acqua	HY-1
Concrezioni	HY-2
Effetti del gelo	HY-3
Efflorescenze su malta o calcestruzzo	HY-4
Deterioramenti dovuti al terreno circostante	
Carsi e cavità	ZI-1
Deterioramento dei portali	ZI-2
Instabilità dei pendii	ZI-3
Deterioramenti nelle sezioni non rivestite	
Distacco di blocchi da roccia alterata	NR-1
Distacco di porzioni da roccia stratificata	NR-2
Deterioramento dei materiali di rivestimento	
Rivestimenti in muratura o pietra	
Deterioramento superficiale a nido d'ape	RM-1
Desquamazione	RM-2
Esfoliazione	RM-3
Distaccamenti dovuti a carichi di compressione	RM-4
Deterioramento dei letti di malta	RM-5
Deterioramento dei materiali di rivestimento	
Rivestimenti in calcestruzzo (gettato in opera o prefabbricato)	
Scheggiatura	RB-1
Rigonfiamenti	RB-2
Lesioni e distacchi dovuti a carichi di compressione	RB-3
Lesioni e distacchi dovuti a corrosione delle armature	RB-4
Deterioramento dello shotcrete	RB-5
Deterioramento dei sistemi di impermeabilizzazione, drenaggio e raccolta acque superficiali	
Deterioramento del drenaggio d'intradosso	ED-1
Deterioramento delle canalette di raccolta in calotta	ED-2
Deterioramento delle canalette di raccolta in carreggiata	ED-3
Deterioramento delle membrane impermeabilizzanti	ED-4
Deterioramento delle onduline	ED-5
Rigonfiamento delle membrane impermeabilizzanti	ED-6
Deterioramento dei rivestimenti in malta	ED-7
Deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili	ED-8
Deterioramento dei cordoli idroespandibili	ED-9

**Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria****Fessure**

Fessure orizzontali	FI-1
Fessure diagonali	FI-2
Fessure verticali	FI-3
Fessure da ritiro	FI-4
Fessure curvilinee (mezzaluna)	FI-5

Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria**Deformazioni**

Abbassamento in chiave – Innalzamento in chiave – Deformazione asimmetrica	DF-1
Imbozzamento localizzato	DF-2
Disassamento dei conci murari	DF-3
Deterioramento dell'arco rovescio	DF-4
Rottura dell'arco	DF-5

Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria**Difetti legati alla realizzazione dell'opera**

Fondi di fori di scoppio instabili	MO-1
Vuoti superficiali nel rivestimento	MO-2
Vespai	MO-3
Deterioramento dei giunti in calcestruzzo	MO-4
Difetti superficiali nel calcestruzzo	MO-5

Altri deterioramenti

Difetti della carreggiata stradale	EQ-1
Deterioramento di lastre e tamponature	EQ-2

Deterioramenti associati al fuoco

Deterioramenti dovuti al fuoco	IN-1
--------------------------------	------

Deterioramenti causati da scarsa manutenzione

Scarsa manutenzione	EN-1
---------------------	------

Per ogni difetto è allegata, all'interno del catalogo difetti, una scheda riassuntiva che descrive nel dettaglio gli aspetti fondamentali di cui tenere conto, un esempio di scheda tipo è riportato nel seguito:

Nome del difetto	Tipo-No
Descrizione (evidenze della presenza del difetto)	
Come il deterioramento si manifesta all'osservatore	Metodo d'ispezione
Metodo per rilevare il deterioramento, specialmente se non è visibile.	Parametri da caratterizzare
Materiale o elementi misurabili ad esso collegati.	Difetti associati di cui valutare la presenza
Elementi utili per la diagnosi.	Origini e possibili cause
Interpretazioni fatte, basate sulla conoscenza della struttura.	Fattori aggravanti



Elementi in grado di aggravare o accelerare l'evoluzione del difetto.

Conseguenze, possibile evoluzione

Descrizione delle conseguenze in assenza di lavori di manutenzione o riparazione del difetto.

Pericoli per gli utenti

Immediata possibilità di pericolo per gli utenti (ove applicabile, il colore rosso della banda indica la possibile esistenza di un pericolo dovuto alla presenza del difetto).

Pericoli per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Possibile variazione a breve o medio termine della stabilità della struttura o degli elementi strutturali (il colore delle bande corrisponde al voto massimo IQOA che può essere assegnato al difetto).

Monitoraggio

Misure da adottare e osservazioni a breve o medio termine.

Misure correttive

Considerazioni su possibili rimedi per prevenire, eliminare o rallentare l'evoluzione del difetto.

Osservazioni

Elementi legati ad altri difetti o che presentano alcuni dei punti precedenti.

Informazioni aggiuntive

Descrizioni, fotografie e diagrammi che spiegano e illustrano il difetto.

Se possibile, durante l'ispezione, è necessario comprendere l'origine di tali deterioramenti e difetti.

Infatti, ciascuno dei fenomeni di degrado rilevati ed identificati, potrà essere anche classificato in base alla causa dominante che l'ha generato con riferimento ai *fattori di influenza (difettosità)* di base quali: **Sito** e **Costruzione**.

Relativamente al **Sito** i fattori di difettosità sono riconducibili a:

- azione dell'acqua;
- ambientale (gelo – disgelo, chimica dell'acqua, etc)

mentre alla **Costruzione** sono riconducibili a:

- progettazione
- esecuzione
- materiale utilizzato

I difetti dovuti al sito sono quelli che colpiscono un elemento o una parte della struttura e che si manifestano gradualmente o velocemente denotando un cambiamento. Le cause principali di deterioramento sono dovute ad alterazioni del materiale, al comportamento del terreno circostante e all'azione dell'acqua.

I difetti di costruzione sono il risultato di una lavorazione che non è stata svolta a regola d'arte; queste imperfezioni, generalmente, non hanno conseguenze, ma possono essere parte di un problema, provocarne o aggravarne uno.

Esempi:

- difetti nell'aspetto del rivestimento
- errore di allineamento in muratura o di conci di calcestruzzo durante la costruzione
- deformazione puntuale di una cassaforma, eventualmente riprodotta in ciascuna sezione gettata
- segregazioni o riprese di getto di calcestruzzo troppo frequenti in parti gettate in opera

I difetti cambiano e evolvono in maniera differente e si possono classificare nei seguenti termini:

- difetti estinti: sono relativi ad una riparazione che ha soppresso la causa del problema anche se le tracce di esso sono ancora visibili (ad esempio, muratura ricostruita ma la deformazione è ancora evidente);



- difetti dormienti dove il problema esiste e potrebbe essere riattivato da qualche cambiamento delle condizioni locali (ad esempio: rigonfiamento legato all'idratazione delle argille, ecc.);
- difetti attivi: il problema esiste e le condizioni attuali impediscono che diventi dormiente. I difetti attivi possono essere:
 - continui (per esempio alterazione chimica),
 - periodici (per esempio deformazione, crepe),
 - ciclici (ad esempio, il deterioramento legato alle differenze stagionali di temperatura), senza necessariamente diventare grave nel tempo.

5.2 ORIGINE DEI DIFETTI

Lo scopo di un'ispezione in galleria è identificare i deterioramenti che si verificano nel tempo al fine di stabilire una diagnosi delle condizioni della struttura. Eventuali difetti rilevati sono quindi le conseguenze di un meccanismo di deterioramento che può avere varie cause tra le quali:

- le condizioni geologiche, geotecniche e idrogeologiche dell'ammasso roccioso o del terreno che circonda la sezione del tunnel e che insistono sull'estradosso, se esiste un rivestimento, o direttamente sul profilo di galleria in caso contrario;
- la costruzione del tunnel quando esistono difetti nella progettazione, nell'impiego o nella natura stessa dei materiali che costituiscono il rivestimento di galleria;
- l'invecchiamento dei materiali causato dai vari attacchi chimici a cui è sottoposta la struttura.

5.3 RELAZIONE TIPOLOGIA VS FATTORE D'INFLUENZA DEL DIFETTO

Nella seguente tabella sono riportati i difetti presenti al paragrafo 5.1 indicando con il simbolo "+" l'origine del difetto e con il simbolo "++" il fattore dominante:

Lista dei difetti	Foglio num.	Fattore d'influenza							
		Sito			Costruzione			Vita della struttura	
		Terreno circostante	Azione dell'acqua	Condizioni ambientali	Progetto	Metodo di costruzione	Natura dei materiali	Operatività	Monitoraggio
Interazione con l'acqua									
Infiltrazioni d'acqua	HY-1	++	++	+			+		
Concrezioni	HY-2	+	++	+					
Effetti del gelo	HY-3		++	+			++		
Efflorescenze su malta o calcestruzzo	HY-4	+	++				+		
Deterioramenti dovuti al terreno circostante									
Carsi e cavità	ZI-1	++	+						
Deterioramento dei portali	ZI-2	+	+	+		+			+
Instabilità dei pendii	ZI-3	++	+						
Deterioramenti nelle sezioni non rivestite									
Distacco di blocchi da roccia alterata	NR-1	++	+	+		+			+
Distacco di porzioni da roccia stratificata	NR-2	++	+	+		+			+
Deterioramento dei materiali di rivestimento									
Rivestimenti in muratura o pietra									



Deterioramento superficiale a nido d'ape	RM-1		+	+				++	
Desquamazione	RM-2		+	+				++	
Esfoliazione	RM-3		+					++	
Distaccamenti dovuti a carichi di compressione	RM-4	++				+	+		
Deterioramento dei letti di malta	RM-5		++	+	+	+		++	
Deterioramento dei materiali di rivestimento									
Rivestimenti in calcestruzzo (gettato in opera o prefabbricato)									
Scheggiatura	RB-1			+		+			++
Rigonfiamenti	RB-2		++	+		+	+		
Lesioni e distacchi dovuti a carichi di compressione	RB-3	++				+			
Lesioni e distacchi dovuti a corrosione delle armature	RB-4		++		+	+			
Deterioramento dello spritzbeton	RB-5	+	+			+			
Deterioramento dei sistemi di impermeabilizzazione, drenaggio e raccolta acque superficiali									
Deterioramento del drenaggio d'intradosso	ED-1		+	+	+	++	+	+	++
Deterioramento delle canalette di raccolta in calotta	ED-2		+		+	++	+		++
Deterioramento delle canalette di raccolta in carreggiata	ED-3		+		+	++	+		++
Deterioramento delle membrane impermeabilizzanti	ED-4					++			
Deterioramento delle onduline	ED-5		+			+	+	++	+
Rigonfiamento delle membrane impermeabilizzanti	ED-6		++	+	+	+	+		
Deterioramento dei rivestimenti in malta	ED-7		++	+	+	+	+		
Deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili	ED-8				+	+			
Deterioramento dei cordoli idroespandibili	ED-9		++			++	+		
Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria									
Fessure									
Fessure orizzontali	FI-1	++							
Fessure diagonali	FI-2	++							
Fessure verticali	FI-3	++							
Fessure da ritiro	FI-4					+	+		
Fessure curvilinee (mezzaluna)	FI-5					++			
Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria									
Deformazioni									
Abbassamento in chiave – Innalzamento in chiave – Deformazione asimmetrica	DF-1	++			+	+	+		
Imbozzamento localizzato	DF-2	+	+		+	++	++		
Disassamento dei conci murari	DF-3					++			
Deterioramento dell'arco rovescio	DF-4	+	+		+	+		+	
Rottura dell'arco	DF-5	+	+			+	+		
Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria									
Difetti legati alla realizzazione dell'opera									
Fondi di fori di scoppio instabili	MO-1	+				++			+



Vuoti superficiali nel rivestimento	MO-2					++	+		
Vespai	MO-3					++	+		
Deterioramento dei giunti in calcestruzzo	MO-4				+	++			
Difetti superficiali nel calcestruzzo	MO-5					++	+		
Altri deterioramenti									
Difetti della carreggiata stradale	EQ-1	+	+			+	+	+	+
Deterioramento di lastre e tamponature	EQ-2				+	+		+	
Deterioramenti associati al fuoco									
Deterioramenti dovuti al fuoco	IN-1				+		+	+	+
Deterioramenti causati da scarsa manutenzione									
Scarsa manutenzione	EN-1							+	++

5.3.1 Analisi delle problematiche e proposte di interventi per le gallerie rivestite

Si riportano nel seguito le problematiche e soluzioni comuni dei rivestimenti in muratura, cemento non armato, cemento armato o spritzbeton.

5.3.1.1 Rivestimento in muratura

Studio preliminare
Condizioni sfavorevoli del terreno al momento della costruzione
- Cambiamento delle condizioni del terreno non adeguatamente prese in considerazione durante la costruzione
Deterioramenti al momento della costruzione
- Scarsa qualità dell'attrezzatura, della pietra e/o della malta - Scarsa costruzione del rivestimento (vuoti)
Identificazione dei deterioramenti e del loro sviluppo
Problemi indotti
- Degradazione che porta all'apertura e all'indebolimento dei letti di malta - Deformazione del rivestimento, in particolare con profili non circolari - Distacco se il rivestimento è sovrasollecitato dal carico del terreno
Rischi
- Impatto e contatto con autocarri (la deformazione locale riduce l'altezza utile della galleria) - In caso di danneggiamenti del rivestimento sorge la possibilità di cadere pezzi di muratura sugli utenti - Crollo della struttura
Evoluzione
- Sviluppo di fessure (generalmente lo sviluppo avviene lentamente e l'individuazione è resa maggiormente complicata dalla presenza di sporco che riveste la muratura) - Creazione di nuovi deterioramenti a seguito di riparazioni inadeguate
Indagini supplementari
- Ispezioni visive più frequenti in aree identificate come sensibili alla degradazione - Breve perforazione intrusiva (circa 3 m) seguita dall'uso della fotocamera del foro
Diagnosi finale
Analisi
- Revisione delle cause dei difetti rilevati, della loro velocità di cambiamento, dei rischi - Valutazione dei principali fattori responsabili dei deterioramenti



Rimedi

- Muratura solo leggermente degradata: drenaggio e riposizionamento
- Muratura altamente degradata e/o deformata: ancoraggio/bullonato, ricostruzione localizzata, stucco, iniezioni, ecc..

5.3.1.2 Rivestimento in calcestruzzo non armato

Studio preliminare
Condizioni sfavorevoli del terreno al momento della costruzione
<ul style="list-style-type: none">- Cambiamento delle condizioni del terreno non adeguatamente prese in considerazione durante la costruzione
Deterioramenti al momento della costruzione
<ul style="list-style-type: none">- Calcestruzzo molto vecchio: generalmente eterogeneo ma non molto ben compattato, la permeabilità favorisce la degradazione anche in profondità all'interno della struttura che può risultare particolarmente pericolosa per le parti più sottili.- Calcestruzzo più recente (non impermeabile): possibile formazione di crepe trasversali dovute al ritiro, nessun altro difetto critico mostrato- Insufficiente progettazione dei giunti- Difetti legati all'impermeabilizzazione: questi possono, nel tempo, influenzare la stabilità di alcuni conci- stuccatura insufficiente- Vespai, distacco di inerti- Calcestruzzo sottoposto a congelamento e scongelamento, a volte quando viene gettato per la prima volta- Scarsa resistenza delle riparazioni localizzate o vecchie- Alterazione con la diffusione del sale antighiaccio (soprattutto alla base delle pareti laterali)
Identificazione dei deterioramenti e del loro sviluppo
Deterioramenti indotti
<ul style="list-style-type: none">- Attacco chimico legato all'afflusso di acqua aggressiva, esacerbato dove il calcestruzzo è permeabile- Effetto delle pressioni esterne del terreno che possono generare fessure e distaccamenti, i quali possono indicare la presenza di una deformazione in corso.- Indebolimento o lesioni dovute ad impatto
Rischi
<ul style="list-style-type: none">- Caduta di calcestruzzo o detriti degradati- Rottura locale dell'arco
Evoluzione
<ul style="list-style-type: none">- Creazione di nuovi deterioramenti a seguito di riparazioni inadeguate
Indagini supplementari
<ul style="list-style-type: none">- Misurazione della deformazione (monitoraggio della fessura, convergenza, livellamento)- Misurazione dello spessore del rivestimento e della struttura di supporto (radar, impatto-eco combinato con controlli distruttivi)- Misurazione del profilo- Foratura investigativa, carotaggio- Prove di laboratorio (analisi di calcestruzzo, acqua, ecc.)
Diagnosi finale
Analisi
<ul style="list-style-type: none">- Spiegazione delle cause dei difetti rilevati, della loro velocità di cambiamento, dei rischi indotti- Spiegazione dei principali fattori responsabili dei deterioramenti
Rimedi



- Riparazione una tantum di alcuni deterioramenti limitati (aree congelate, deterioramenti specifici tra i giunti dei conci, ecc.)
- Trattamento dell'intero rivestimento a causa della degradazione generale del calcestruzzo vecchio derivante da origine chimica (questo tipo di degradazione non è stato incontrato fino ad oggi nel calcestruzzo recente)
- Rinforzo, possibilmente complesso, del rivestimento fratturato (questo rimedio potrebbe non essere sufficiente se la rottura è dovuta al carico del terreno)

5.3.1.3 Rivestimento in calcestruzzo armato

Studio preliminare
Condizioni sfavorevoli del terreno al momento della costruzione
<ul style="list-style-type: none">- Cambiamento delle condizioni del terreno non adeguatamente prese in considerazione durante la costruzione
Deterioramenti al momento della costruzione
<ul style="list-style-type: none">- Mancanza di copriferro - armatura troppo vicina alle casseforme (calcestruzzo gettato in sito)- vespai, distacco di inerti- Calcestruzzo sottoposto a congelamento e scongelamento, a volte quando viene gettato per la prima volta- difetti associati all'impermeabilizzazione- Scarsa resistenza delle riparazioni localizzate o vecchie
Identificazione dei deterioramenti e del loro sviluppo
Deterioramenti indotti
<ul style="list-style-type: none">- Corrosione delle barre di armatura con conseguente distacco del copriferro- Indebolimento o frattura per impatto- Distaccamento delle aree soggette a riparazione- Attacco chimico legato agli afflussi aggressivi di acqua, tanto più deleteri in quanto il calcestruzzo è permeabile- Effetto delle pressioni esterne del terreno che possono generare fessure e distaccamenti, i quali possono indicare la presenza di una deformazione in corso.
Rischi
<ul style="list-style-type: none">- Caduta di calcestruzzo o detriti degradati
Evoluzione
<ul style="list-style-type: none">- Sviluppo di segni visibili di difetti (cambiamento prevedibile se il monitoraggio strutturale è condotto correttamente)- Creazione di nuovi deterioramenti a seguito di riparazioni inadeguate
Indagini supplementari
<ul style="list-style-type: none">- Misurazione della deformazione (monitoraggio della fessura, convergenza, livellamento, misurazione del profilo)- Misurazione del rivestimento, misurazione della profondità della carbonatazione- Misura della riduzione di sezione di armatura resistente e analisi della capacità residua tale da garantire un margine di sicurezza (staffe di supporto del solaio di ventilazione, ad esempio)- Prove di laboratorio (analisi di calcestruzzo, acqua, ecc.)
Diagnosi finale
Analisi
<ul style="list-style-type: none">- Spiegazione delle cause dei difetti rilevati, della loro velocità di cambiamento, dei rischi indotti- Spiegazione dei principali fattori responsabili dei deterioramenti
Rimedi
<ul style="list-style-type: none">- Rimozione del calcestruzzo degradato- Applicazione di passivante sulle armature e ricostruzione del copriferro- Rinforzo, possibilmente complesso, del rivestimento fratturato (questo rimedio potrebbe non essere sufficiente se la rottura è dovuta al carico del terreno)



5.3.1.4 Rivestimento con calcestruzzo spruzzato

Studio preliminare
Condizioni sfavorevoli del terreno al momento della costruzione
<ul style="list-style-type: none">- Cambiamento delle condizioni del terreno non adeguatamente prese in considerazione durante la costruzione
Deterioramenti al momento della costruzione
<ul style="list-style-type: none">- Spessore insufficiente o irregolare del materiale che può portare a instabilità- Scarsa copertura della rete saldata o insufficiente contenuto di fibre- Calcestruzzo sottoposto a congelamento quando spruzzato
Identificazione dei deterioramenti e del loro sviluppo
Deterioramenti indotti
<ul style="list-style-type: none">- Allentamento del rivestimento dovuto al rigonfiamento del terreno o da cicli di gelo disgelo- Ritiro eccessivo del calcestruzzo che può portare a fessurazione e perciò a ridurre la stabilità del rivestimento- Espulsione locale del copriferro dovuta all'ossidazione della rete saldata- Indebolimento o rottura del rivestimento a causa di impatto- Attacco chimico legato alla presenza di flussi d'acqua aggressiva, maggiormente deleteri nel caso di calcestruzzo permeabile- Pressione del terreno circostante che si manifesta tramite la comparsa di fessure o distaccamenti che possono indicare il modo in cui si deforma la struttura .
Rischi
<ul style="list-style-type: none">- Sottile rivestimento non rinforzato: distacco e caduta di materiale sulla carreggiata nel caso di rigonfiamento del terreno.
Evoluzione
<ul style="list-style-type: none">- Evoluzione del degrado (il cambiamento è prevedibile se il monitoraggio viene effettuato con molta attenzione)- Creazione di nuovi deterioramenti a seguito di riparazioni inadeguate
Indagini supplementari
<ul style="list-style-type: none">- Misurazione della deformazione (monitoraggio delle fessure, convergenza, livellamento, misurazione del profilo)- Misurazione dello spessore del rivestimento- Ispezione per la presenza di rinforzo (fibre o maglie)- Prove di laboratorio (analisi del calcestruzzo, acqua, ecc.)
Diagnosi finale
Analisi
<ul style="list-style-type: none">- Spiegazione delle cause dei difetti rilevati, della loro velocità di cambiamento, dei rischi indotti- Spiegazione dei principali fattori responsabili dei deterioramenti
Rimedi
<ul style="list-style-type: none">- Rimozione del materiale deteriorato- Applicazione di passivante sulle maglie o reti saldate e applicazione del calcestruzzo- Riabilitazione grazie a un miglioramento del drenaggio e, se necessario, al consolidamento della roccia circostante con bulloni

5.4 CLASSIFICAZIONE "IQA"

L'ispezione di una struttura è un approccio basato principalmente sull'osservazione e la descrizione del difetto e/o deterioramento. Durante l'ispezione l'obiettivo è l'individuazione ed il rilievo dei deterioramenti e



difetti piuttosto che definire le cause e/o i fattori che li hanno generati. Preme evidenziare che la loro gravità non è sempre necessariamente proporzionale alla loro "visibilità".

A tale scopo si fa riferimento alla **Classificazione "IQOA"**, "Image qualité des ouvrages d'art", che come definito nel nome permette di avere una visione dello stato di salute della struttura.

Questo sistema di classificazione è già in uso al Traforo del Monte Bianco (TMB) (ed in altri trafori e gallerie). approvato dal Centre d'Etude des Tunnels (CETU) nell'anno 2015 e, per quanto concerne la tratta del Traforo in territorio italiano, è conforme alle prescrizioni delle Circolari del Ministero LL.PP. n. 6736/61 del 19.7.1967 e n. 34233 del 25.02.1991.

La **classificazione delle difettosità secondo il Sistema IQOA** è ampiamente riportata nelle Linee Guida CETU (Centre D'Etudes desTunnels) 2015 riguardanti le opere di genio civile:

- Road tunnel civil engineering inspection guide – *Book 1: from disorder to analysis, from analysis to rating* (January 2015)
- Road tunnel civil engineering inspection guide – *Book 2: Catalogue of deteriorations* (January 2015)

Tale classificazione si scompone in due parti, la prima permette la classificazione dei difetti civili, la seconda classifica le venute d'acqua.

CLASSIFICAZIONE IQOA Fessure / alterazioni	
1	in buono stato apparente
2	difetti superficiali
2E	difetti superficiali con evoluzione
3	degrado profondo che necessita intervento
3U	degrado profondo che necessita intervento urgente
S	sicurezza per gli utenti

CLASSIFICAZIONE Venute d'acqua	
1	nessun problema, solo macchie d'umidità
2	presenza d'acqua importante, possibile evoluzione dei degni a lungo termine
2E	presenza d'acqua importante, possibile rischio per l'opera, rafforzare sorveglianza e adottare provvedimenti
S	sicurezza per gli utenti

Figura 14 - Classificazione per difetti civili, a sinistra, e classificazione per le venute d'acqua, a destra.

Con riferimento alla parte civile, la Classificazione IQOA prende in considerazione quadri fessurativi, lesioni ed alterazioni in genere, identificandole, durante la fase di ispezione, con un codice alfanumerico che ne individua la gravità/pericolosità, in relazione alla quale l'intervento può essere programmato nel tempo, programmato urgentemente (nel giro di qualche giorno/settimana), immediato, in quanto riguarda la sicurezza degli utenti.

La Classificazione IQOA considera anche le difettosità relative alle venute d'acqua, la cui presenza, come ovvio, può esaltare ed accelerare il degrado strutturale, in relazione anche alle caratteristiche chimiche dell'acqua, sia sulla matrice di calcestruzzo che sulle barre di armatura qualora presenti.

Inoltre, la presenza di venute d'acqua (con gocciolamento), tipicamente distanti dal giunto costruttivo o da lesioni trasversali (circonferenziali), è sintomatico di quadri fessurativi più o meno ampi che devono essere rilevati e classificati opportunamente, in quanto veicoli di difettosità e degni evolutivi molto pericolosi per la sicurezza degli utenti.

Si precisa che queste valutazioni indicano zone puntuali presenti nelle diverse tratte, e non riguardano quindi tutta l'opera; per cui anche una singola anomalia classificata 3U può far apparire grave la situazione, sebbene essa non riguardi la sicurezza strutturale dell'intero tratto dell'opera, ma solo un singolo punto che



potrebbe costituire, comunque, un pericolo per l'utenza (p.e. caduta di frammenti) e che, pertanto, richiede un intervento urgente se classificato 3U o immediato se alla classificazione si aggiunge **la lettera S**.

In presenza di difettosità classificate con la **lettera S**, l'opera non può essere più fruibile se non dopo la risoluzione della criticità rilevata.

Le zone caratterizzate da una classificazione più critica, con particolare riferimento al calcestruzzo, dovranno essere sedi di approfondimenti urgenti mediante saggi puntuali allo scopo di definire la qualità del calcestruzzo e la presenza o meno di vuoti o lesioni interne non visibili.

Con la procedura d'ispezione e la classificazione proposta, l'ispezione ed il monitoraggio si rende sempre più efficace; esso permette, infatti, di sorvegliare in modo ottimale l'opera e di reagire tempestivamente ad ogni eventuale problema riscontrato, consentendo anche di prevedere l'andamento del suo stato nel tempo.

Ad ogni valutazione (3,3U, S) corrisponderà una tempistica di intervento al fine di riparare/ridurre l'entità del difetto:

- Votazione 3: intervento nell'arco di pochi mesi;
- Votazione 3U: intervento nell'arco di poche settimane;
- Votazione S: intervento immediato.

5.4.1 Classificazione elementi civili

La valutazione di un difetto è definita dal tipo e severità che il deterioramento comporta sulla capacità della struttura di mantenersi operativa, le 6 votazioni definite in Figura 14 sono meglio descritte come segue:

Classe 1

Area di stato buono apparente.

Le aree di classe 1 richiedono solo manutenzione ordinaria e manutenzione preventiva programmata.

Classe 2

Area con difetti superficiali (in un'area d'influenza, sulla struttura o sugli impianti civili), che non mettono in pericolo la stabilità della struttura e non riflettono l'instabilità del terreno/roccia retrostante.

Le aree di classe 2 possono richiedere una manutenzione correttiva specializzata non urgente, oltre alla manutenzione necessaria per le aree di classe 1.

Classe 2E

Area che include i deterioramenti di classe 2 (sulla struttura e nella sua area d'influenza), che potrebbero degradarsi e aumentare di estensione, mettendo in pericolo la stabilità della struttura

oppure

Aree che includono impianti civili che sono stati seriamente danneggiati o di cui la stabilità può essere compromessa.

Le aree di classe 2E richiedono un monitoraggio specifico e un'urgente manutenzione correttiva per prevenire il rapido sviluppo di un deterioramento più sostanziale della struttura, oltre alla manutenzione necessaria per le aree di classe 1.

L'indice "E" riflette una possibile evoluzione a breve termine del difetto.

Classe 3

Area con degrado profondo in cui i difetti rilevati indicano che la struttura (rivestimento) è stata alterata oppure che la stabilità dell'area in questione è probabilmente compromessa.

Le aree di classe 3 richiedono lavori di protezione, riparazione o rinforzo non urgenti. Tuttavia, è necessaria un'analisi rapida.

Classe 3U

Area con degrado profondo in cui i deterioramenti rilevati indicano che il danno è profondo e che la stabilità complessiva dell'area è stata compromessa a breve o medio termine.

Le aree di classe 3U richiedono riparazioni urgenti per garantire la conservazione a lungo termine della struttura o impedire qualsiasi rapido sviluppo di difetti più gravi. I lavori di riparazione devono essere generalmente preceduti da indagini geotecniche per stabilire le condizioni del terreno circostante, che



spesso sono poco conosciute.

L'indice "U" riflette la natura urgente delle azioni da intraprendere.

Indicazione "S"

Questo indicatore aggiuntivo "S" è assegnato a una delle classi, quando specifici difetti rilevati, indipendentemente dalla sezione in questione, possono mettere in pericolo la sicurezza degli utenti e quindi richiedere un'azione correttiva immediata.

L'indicatore aggiuntivo "S" riflette l'esistenza di un difetto in una sezione della struttura che influenza la sicurezza degli utenti e una non conformità con le norme di sicurezza.

5.4.2 Classificazione per le venute d'acqua

In maniera analoga a quanto definito per gli elementi civili si esplicitano le motivazioni dietro ogni voto per le venute d'acqua:

Classe 1

Area senza flusso d'acqua visibile;

oppure

Area in cui vengono rilevate macchie di umidità su rivestimenti o marciapiedi.

Le aree di classe 1 richiedono solo manutenzione ordinaria e manutenzione preventiva specializzata con reti di drenaggio e controllo dell'inquinamento.

Classe 2

Area con presenza di acqua importante:

- gocciolamento (di qualsiasi portata),
- pozzanghera locale con una profondità non superiore a cinque millimetri,
- macchia di umidità sull'asfalto,
- flusso continuo tale da creare un film d'acqua lungo il rivestimento, con una profondità inferiore di un millimetro.

Le aree di classe 2 sono caratterizzate da una possibile evoluzione dei degradi a lungo termine e devono essere soggette a sorveglianza regolare da parte del servizio di gestione in aggiunta alle azioni necessarie per le aree di classe 1.

Classe 2E

Area con presenza di acqua importante:

- flusso continuo tale da creare un film d'acqua lungo il rivestimento, con una profondità maggiore di un millimetro
- ingresso di acqua sotto pressione,
- flusso continuo sull'asfalto (di qualsiasi portata),
- pozzanghera con una superficie di oltre 10 metri quadrati o una profondità superiore a cinque millimetri.

La classe 2E viene utilizzata quando la portata d'acqua in ingresso, o la presenza di grandi volumi d'acqua (pozzanghera) è tale da mettere a rischio la sicurezza dell'opera.

Le aree di classe 2E richiedono un monitoraggio specifico e un'urgente manutenzione correttiva.

Indicazione "S"

Questo indicatore aggiuntivo "S" è assegnato a una delle classi, quando la presenza di acqua è tale da mettere in pericolo la sicurezza degli utenti. Richiede interventi di manutenzione immediati.

L'indicazione S è specificamente utilizzata quando la presenza di acqua:

- è suscettibile al congelamento, ciò potrebbe portare alla formazione di stalattiti, superfici ghiacciate sull'asfalto o influenzare negativamente l'uso di dispositivi di sicurezza;
- è combinata con sostanze disciolte che possono ridurre l'attrito tra la pavimentazione stradale e gli pneumatici causando scivolamenti;
- potrebbe rappresentare un pericolo per il traffico stradale, a causa dell'assenza o del blocco del sistema di drenaggio, inondando la carreggiata.



6 TECNICHE DI INDAGINE PER LA VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSISTENZA DELLE GALLERIE

La vigente normativa in materia di costruzioni è il D.M. 17/01/2018, detto in breve NTC18, corredato dalla Circolare esplicativa n.7 del Febbraio 2019, pur concentrandosi prevalentemente su costruzioni di nuova realizzazione, affronta al cap. 8 il tema delle costruzioni esistenti specificando che in tal caso le incertezze intrinseche nel metodo di valutazione della sicurezza di un'opera (metodo semi-probabilistico agli stati limite) possono essere ridotte in funzione del livello di conoscenza che si è in grado di raggiungere su tali aspetti, ovvero dell'affidabilità con cui si possono definire modelli di calcolo, azioni, resistenze proprie delle membrature portanti. La conoscenza della costruzione rappresenta, quindi, un passaggio cruciale per aumentare l'accuratezza delle verifiche di sicurezza, consentendo di comprendere il reale comportamento dell'opera mediante l'approfondimento delle vicende costruttive, dei fenomeni di degrado, dell'impegno statico sperimentato e delle eventuali modifiche apportate alla galleria durante la vita di servizio, che possono aver comportato cambiamenti nell'assetto originario.

Per raggiungere un appropriato livello di conoscenza, e quindi di affidabilità delle valutazioni di sicurezza sull'opera, è necessario preliminarmente condurre un'analisi storico-critica di tutta la documentazione disponibile (progetto originario, documenti di contabilità, progetti di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria già realizzati, schede di ispezione, relazioni di indagini pregresse, etc.), effettuando sopralluoghi e rilievi geometrico-strutturali per verificare la corrispondenza alla realtà di quanto riportato nella documentazione storica. Le informazioni già disponibili sulla geometria, sui materiali e sullo stato di conservazione dell'opera sono poi necessariamente da verificare ed integrare con opportune indagini sperimentali, finalizzate ad attestare la corrispondenza delle geometrie in gioco e delle resistenze dei materiali ai requisiti di progetto e a valutare l'effettiva consistenza del degrado riscontrato definendone tipologia, estensione e gravità.

Nei paragrafi precedenti sono stati illustrati i dettagli di alcune delle analisi e indagini che è possibile eseguire e che consentono di caratterizzare lo stato di conoscenza e salute della galleria, i cui obiettivi possono essere di seguito sintetizzati:

- 1) Definire/verificare le caratteristiche geometriche e costruttive del rivestimento in termini di:
 - a. Geometria della galleria
 - b. Spessore del rivestimento
 - c. Presenza di armature in intradosso e valutazione del copriferro
 - d. Presenza e posizione centine (single e/o doppie) del pre-rivestimento
- 2) Analizzare le eventuali criticità del rivestimento definitivo e della sua interfaccia con l'ammasso roccioso in termini di:
 - a. Quadro fessurativo
 - b. Presenza di venute d'acqua e zone di umidità
 - c. Presenza di possibili vuoti a tergo del rivestimento
 - d. Presenza di discontinuità/lesioni all'interno dello spessore del rivestimento
 - e. Presenza di situazioni di degrado o disomogeneità all'interno dello spessore del rivestimento
 - f. Analisi dello stato corticale del rivestimento (primi 30cm)
 - g. Quadro deformativo
- 3) Determinare/verificare le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo del rivestimento a tutto spessore
- 4) Determinare/verificare le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo nella parte corticale d'intradosso del rivestimento per la verifica degli ancoraggi di sovrastrutture (impianti, reti di protezione, onduline, etc..)
- 5) Definire lo stato tensionale del rivestimento definitivo ed eventualmente monitorare situazioni critiche
- 6) Verificare lo stato di consistenza del rivestimento coperto da reti di protezione
- 7) Analizzare mediante indagini indirette (geofisiche) l'ammasso a tergo del rivestimento, definendo lo stato tensionale che si riversa sul rivestimento.



Dal momento che le attività di ispezione delle gallerie fanno riferimento alla classificazione dei difetti desunta dal metodo IQOA, si riporta di seguito la tabella che mostra come gli obiettivi della campagna di indagini di fatto contemplano la disamina di tutte le tipologie di difetti che sono presi in esame dagli ispettori durante i loro sopralluoghi nelle gallerie.

Codice IQOA	Descrizione difetto secondo classificazione IQOA	Obiettivi legati allo stato di consistenza dell'opera e del suo contesto							
		2.a) Analisi del quadro fessurativo	2.b) Presenza di venute d'acqua e zone di umidità	2.c) Presenza di possibili vuoti a tergo del rivestimento	2.d) Presenza di discontinuità/lesioni all'interno dello spessore del rivestimento	2.e) Presenza di degrado/disomogeneità all'interno dello spessore del rivestimento	2.f) Analisi dello strato corticale del rivestimento	2.g) Analisi del quadro deformativo	6) Stato di consistenza del rivestimento coperto da reti di protezione
HY	Interazione con l'acqua								
HY-1	Infiltrazioni d'acqua		X						
HY-2	Concrezioni							X	
HY-3	Effetti del gelo								
HY-4	Efflorescenze su malta o calcestruzzo								
ZI	Deterioramenti dovuti al terreno circostante								
ZI-1	Carsi e cavità			X					X
ZI-2	Deterioramento dei portali								
ZI-3	Instabilità dei pendii								
NR	Deterioramenti nelle sezioni non rivestite	Casistica non presente nelle gallerie autostradali in esame							
NR-1	Distacco di blocchi da roccia alterata								
NR-2	Distacco di porzioni da roccia stratificata								
RM	Deterioramento dei materiali di rivestimento - Rivestimenti in muratura o pietra								
RM-1	Deterioramento superficiale a nido d'ape				X	X	X		
RM-2	Desquamazione				X	X	X		
RM-3	Esfoliazione				X	X	X		
RM-4	Distaccamenti dovuti a carichi di compressione								
RM-5	Deterioramento dei letti di malta								
RB	Deterioramento dei materiali di rivestimento - Rivestimenti in calcestruzzo								
RB-1	Scheggiatura				X	X	X		
RB-2	Rigonfiamenti				X	X	X		
RB-3	Lesioni e distacchi dovuti a carichi di compressione				X	X	X		
RB-4	Lesioni e distacchi dovuti a corrosione delle armature								
RB-5	Deterioramento dello shotcrete								
ED	Deterioramento dei sistemi di impermeabilizzazione, drenaggio e raccolta acque superficiali								
ED-1	Deterioramento del drenaggio d'intradosso								
ED-2	Deterioramento delle canalette di raccolta in calotta								
ED-3	Deterioramento delle canalette di raccolta in carreggiata		X				X	X	
ED-4	Deterioramento delle membrane impermeabilizzanti								
ED-5	Deterioramento delle onduline								
ED-6	Rigonfiamento delle membrane impermeabilizzanti								
ED-7	Deterioramento dei rivestimenti in malta								
ED-8	Deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili								
ED-9	Deterioramento dei cordoli idroespandibili								
FI	Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria - Fessure								
FI-1	Fessure orizzontali	X							
FI-2	Fessure diagonali								
FI-3	Fessure verticali							X	
FI-4	Fessure da ritiro								
FI-5	Fessure curvilinee (mezzaluna)								
DF	Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria - Deformazioni								
DF-1	Abbassamento in chiave – Innalzamento in chiave – Deformazione asimmetrica							X	
DF-2	Imbozzamento localizzato								
DF-3	Disassamento dei conci murari								
DF-4	Deterioramento dell'arco rovescio								
DF-5	Rottura dell'arco								
MO	Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria - Difetti legati alla realizzazione dell'opera								
MO-1	Fondi di fori di scoppio instabili				X	X	X		
MO-2	Vuoti superficiali nel rivestimento								
MO-3	Vespai								
MO-4	Deterioramento dei giunti in calcestruzzo								
MO-5	Difetti superficiali nel calcestruzzo								
EQ	Altri deterioramenti								
EQ-1	Difetti della carreggiata stradale							X	
EQ-2	Deterioramento di lastre e tamponature								
IN	Deterioramenti associati al fuoco	Da valutare in funzione della natura del difetto riscontrato							
IN-1	Deterioramenti dovuti al fuoco								
EN	Deterioramenti causati da scarsa manutenzione	Da valutare in funzione della natura del difetto riscontrato							
EN-1	Scarsa manutenzione								



In funzione dell'obiettivo di volta in volta prefissato dalla campagna di indagine estensiva possono essere indicate alcune delle tecniche di indagine tra quelle attualmente disponibili, sfruttando l'esperienza consolidata anche da concessionarie per importanti tunnel internazionali, come ad esempio il citato Traforo del Monte Bianco.

La seguente tabella inquadra, seppur a livello non esaustivo e non vincolante, le tecniche di indagine utilizzabili per il raggiungimento degli obiettivi indicati.

OBIETTIVI		LASER SCANNER CON TERMOCAMERA	GEORADAR A DOPPIA FREQUENZA (200-600 MHz o 400-900 MHz)	GEORADAR AD ALTA FREQUENZA (>2 GHz)	VIDEOENDOSCOPIA	CAROTAGGI E TEST DI LABORATORIO	PULL-OUT	MARTINETTO PIATTO SEMPLICE	TOMOGRAFIA SISMICA
1) Caratteristiche geometriche e costruttive del rivestimento	a) Geometria fornice	X							
	b) Spessore del rivestimento		X						
	c) Presenza di armature in intradosso e valutazione del copriferro		X						
	d) Presenza e posizione centine (single e/o doppie)		X						
2) Criticità del rivestimento definitivo	e) Quadro fessurativo	X							
	f) Presenza di infiltrazioni d'acqua e zone di umidità	X							
	g) Presenza di possibili vuoti a tergo del rivestimento		X						
	h) Presenza di discontinuità/lesioni all'interno dello spessore del rivestimento		X						
	i) Presenza di situazioni di degrado o disomogeneità all'interno dello spessore del rivestimento		X						
	j) Analisi dello stato corticale del rivestimento (primi 30cm)			X					
	k) Quadro deformativo	X							
3) Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo del rivestimento a tutto spessore						X			
4) Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo nella parte corticale d'intradosso del rivestimento per la verifica degli ancoraggi di sovrastrutture (reti di protezione, onduline, etc..)							X		
5) Stato tensionale del rivestimento definitivo ed eventuale monitoraggio di situazioni critiche								X	
6) Stato di consistenza del rivestimento coperto da reti di protezione			X		X		X		
7) Valutazione mediante indagini indirette (geofisiche) dell'ammasso a tergo del rivestimento e/o tra i due fornici									X

Per pervenire ad un accurato livello di conoscenza delle gallerie risulta estremamente utile, come detto, poter disporre della documentazione storica di progetto e/o di contabilità, da cui desumere importanti informazioni riguardanti la configurazione geometrica dell'opera, le sue modalità costruttive e il suo inserimento nel contesto circostante. Anche nei casi fortunati in cui tale documentazione risulti disponibile, tuttavia, è sempre necessario poter verificarne l'attendibilità con alcuni mirati controlli in sito. Di prioritaria importanza è infatti verificare gli effettivi spessori dei rivestimenti e la presenza di zone dotate di armatura. Di



analoga importanza è poter verificare la presenza di centine utilizzate in fase di costruzione per il pre-rivestimento.

Per assolvere a tale obiettivo, che qui viene indicato come **“1) Definire/verificare le caratteristiche geometriche e costruttive del rivestimento”**, l'accoppiamento delle due tecniche del Laser Scanner e del Ground-Penetrating Radar (GPR), detta brevemente georadar, risulta indubbiamente una ottima scelta. Entrambe le tecniche, infatti, offrono molteplici vantaggi legati alla loro rapidità di esecuzione e ad una chiara restituzione, oltre ad essere metodologie di indagine di tipo non distruttivo e quindi assolutamente non invasive per l'opera indagata. Più in dettaglio, il Laser Scanner consente un accurato rilievo della geometria del fornice e della piattaforma stradale, incluse tutte le dotazioni impiantistiche e le eventuali predisposizioni di sicurezza presenti, mentre il Georadar effettua un'indagine delle parti non visibili, ovvero dell'intero spessore del rivestimento, incluse le eventuali gabbie di armatura e/o centine presenti. In particolare in questa campagna di indagine, noto il range di variabilità degli spessori di rivestimento delle gallerie, che usualmente si aggira attorno a 0.80-1.5 m, si può optare per l'adozione di un georadar a doppia frequenza in grado di lavorare tra le frequenze di 200-600 MHz e di 400-900 MHz. La scelta della frequenza dipende dalla profondità di penetrazione e di risoluzione che si desidera avere: in generale antenne a frequenza più elevata rilevano meglio lo strato più superficiale, mentre quelle a frequenza minore riescono a penetrare meglio in profondità, consentendo quindi di esplorare sia l'intero spessore del rivestimento sia la zona di interfaccia con l'ammasso roccioso retrostante.

Oltre ai controlli relativi alla geometria e alla tecnica costruttiva, risulta di fondamentale importanza poter riscontrare la presenza anche di eventuali problematiche all'interno del getto del rivestimento. Per il raggiungimento di tale obiettivo, che qui viene indicato come **“2) Analisi di eventuali criticità del rivestimento definitivo”**, le tecniche del Laser Scanner e del Georadar possono tornare nuovamente utili. Mentre il Laser Scanner si concentra sull'indagine della superficie del rivestimento mappandone il quadro fessurativo, il Georadar è in grado di approfondire l'indagine a diverse profondità in funzione dell'antenna utilizzata. Come verrà meglio descritto nel seguito, può essere utile l'utilizzo di antenne georadar con differenti range di frequenza, di cui il primo set, a frequenza medio-bassa (200-600 MHz e di 400-900 MHz), dedicato ad esaminare lo strato più profondo del rivestimento e la prima fascia dell'ammasso roccioso, e il secondo, ad alta frequenza (>2 GHz), dedicato invece ad indagare lo strato corticale relativo ai primi 30 cm circa del rivestimento. In tale ambito l'indagine georadar è in grado di rilevare la presenza di eventuali lesioni, discontinuità e vuoti sia all'interno del rivestimento sia appena dietro. In ogni caso, per pervenire ad un completo quadro conoscitivo di tali anomalie risulta necessario affiancare al georadar ulteriori indagini quali videoendoscopie o carotaggi in maniera da quantificare l'estensione di eventuali lesioni o cavità presenti e di verificare de visu eventuali disomogeneità di getto o eccessive porosità del calcestruzzo.

Per assolvere all'obiettivo **“3) Caratterizzazione meccanica del calcestruzzo del rivestimento a tutto spessore”** si può far ricorso al classico metodo di prelievo di campioni di calcestruzzo da far testare in laboratorio. Nel caso invece la ricerca sia finalizzata ad avere un dato di resistenza relativo al solo strato corticale del rivestimento (obiettivo **“4) Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo nella parte corticale d'intradosso del rivestimento per la verifica degli ancoraggi di sovrastrutture (reti di protezione, onduline, etc..)”**) si potrà invece ricorrere a prove di pull-out in maniera da limitare le più invasive prove distruttive.

In alcuni casi, i rivestimenti definitivi, a causa delle mutate condizioni al contorno quali elevata presenza di acqua e zone di umidità (dovute all'assenza di impermeabilizzazione della calotta), presenza di cavità, importanti quadri fessurativi (spesso legati alle modalità realizzative delle opere), hanno subito una modifica delle originarie condizioni di sollecitazione in base alle quali erano stati progettati. In questi casi, al fine di completare il quadro conoscitivo finalizzato a valutare il miglior intervento da attuare per risolvere le criticità emerse, risulta importante poter quantificare l'impegno statico attualmente richiesto e controllare anche la sua evoluzione nel tempo. A tale scopo, qui indicato come obiettivo **“5) Valutazione dello stato tensionale del rivestimento definitivo ed eventuale monitoraggio di situazioni critiche”**, risponde la proposta di ricorrere a prove con martinetti piatti che, grazie alla loro modesta invasività e alla loro immediata restituzione, sono in grado di quantificare le tensioni agenti nello strato corticale del rivestimento.

Con riferimento alle gallerie realizzate prima degli anni Ottanta si riscontrano frequentemente problematiche legate ad infiltrazioni d'acqua causate essenzialmente dall'assenza di impermeabilizzazione. Il conseguente dilavamento del calcestruzzo, combinato in molti casi anche ad altri fenomeni, ha portato ad avere zone disgregate e incoerenti, che sono state cautelativamente protette con l'interposizione di reti metalliche a maglia fine, a volte accoppiate anche a teli di tessuto-non-tessuto. Dal momento che tali aree non risultano di facile ispezione visiva a causa appunto della schermatura delle reti di protezione, si è proposto di meglio valutarne lo stato di consistenza (obiettivo **“6) Stato di consistenza del rivestimento coperto da reti di**



protezione”) mediante la combinazione di diverse tecniche quali il georadar a doppia frequenza, videoendoscopie e prove di pull-out.

In ultimo, per indagare lo **stato dell’ammasso roccioso a tergo del rivestimento (obiettivo 7)** si propone il ricorso alla tecnica della tomografia.

Di seguito sono illustrati più nel dettaglio le metodologie di indagini, già accennate nei paragrafi precedenti, e che possono consentire di raggiungere un adeguato livello di conoscenza ai fini delle verifiche strutturali previste dal capitolo 8 delle NTC2018.

6.1 LASER SCANNER ABBINATO ALLA TERMOGRAFIA

La tecnica del Laser Scanner, abbinata alla termografia, viene proposta come metodologia non distruttiva di indagine con i seguenti obiettivi:

1. Rilievo di precisione della geometria della galleria
2. Rilievo degli impianti e di tutte le dotazioni di protezione (onduline, reti metalliche, etc)
3. Rilievo del quadro fessurativo superficiale
4. Rilievo di cavità e ammaloramenti superficiali
5. Mappatura delle zone umide e delle infiltrazioni d'acqua
6. Rilievo del quadro deformativo

Il Laser Scanner è una tecnologia molto utile per il rilievo di opere complesse e di notevoli dimensioni, come può essere appunto una galleria. Rispetto ad un tradizionale rilievo topografico, il vantaggio competitivo di un rilievo laser è quello di ottenere un’informazione sia geometrica che fotografica per sua natura continua, completa e metricamente rigorosa dell’oggetto. L’elevata quantità di dati acquisiti in breve tempo consente, infatti, di eseguire il rilievo geometrico della struttura e delle sue dotazioni con un ragguardevole livello di dettaglio e completezza. Si tratta inoltre di un sistema di misurazione diretta in quanto permette di ottenere delle misurazioni correlate ad una precisione strumentale testimoniata da un certificato di calibrazione, che documenta ufficialmente i risultati della misura.

La velocità di acquisizione, la rapidità nella fase di elaborazione ed utilizzazione dei dati geometrici testimoniano inoltre la flessibilità di questa tecnica di rilievo diretta alla modellazione tridimensionale delle infrastrutture. Ciò consente anche di programmare un rilievo sistematico da ripetere periodicamente sulle gallerie in maniera da poter eseguire un importante confronto di precisione tra le geometrie rilevate in periodi diversi. La possibilità di acquisire forme tridimensionali referenziate topograficamente permette, infatti, di realizzare anche un monitoraggio strumentale per valutare la risposta della struttura nel tempo mantenendo sotto controllo eventuali fenomeni evolutivi in atto.

6.1.1 Metodologia di indagine

Il laser scanner è un dispositivo elettro-ottico meccanico che, attraverso la tecnica di scansioni successive, permette di rilevare automaticamente un oggetto nelle sue tre dimensioni. Esso utilizza un fascio di luce strutturata che non danneggia o altera la consistenza materica delle superfici misurate.

In dettaglio, lo strumento utilizzato, generando una coppia di impulsi laser sinusoidali, rileva la distanza attraverso algoritmi specifici che misurano la misura tramite la differenza di fase tra l’onda emessa e quella ricevuta. Questi laser scanner sono particolarmente veloci ed hanno una griglia di punti molto densa. La loro possibilità di sfasamento però limita la gittata massima di 15 metri, comunque sufficienti per i rilievi in gallerie anche a 3 corsie. Allo stesso tempo ad ogni punto viene associato un valore di riflettanza, che dipende dalle caratteristiche dei materiali rilevati ed identificato attraverso un parametro cromatico detto RGB.

Essendo un segnale luminoso, il laser colpisce la superficie da rilevare secondo l’angolo dettato dal punto di vista dello strumento, ragione per cui per una completa descrizione dell’oggetto sono in generale necessarie più scansioni, che poi vengono unificate per mezzo di una rete di target opportunamente posizionati, a ciascuno dei quali vengono assegnate, attraverso un classico rilievo topografico di precisione, le coordinate riferite al sistema prescelto. Dal momento però che i scanner laser possono essere anche installati su mezzi



motorizzati è possibile anche dare continuità all'acquisizione, specie per la conformazione delle gallerie, e misurare in un tempo relativamente ridotto un notevole numero di punti sulla superficie dell'oggetto.

Il prodotto di una scansione laser scanner è una nuvola di punti di coordinate x y z , visualizzabile direttamente sul monitor di un computer come una "fotografia tridimensionale" formata da milioni di punti che descrivono dettagliatamente la superficie dell'oggetto rilevato e dalla quale è possibile ricavare informazioni dimensionali e colorimetriche.

Il laser scanner adottato nella presente campagna di indagine è anche dotato di una termocamera ed è quindi in grado di rilevare l'intensità di radiazione emessa dagli oggetti nello spettro dell'infrarosso e di convertirla in una temperatura. Dal momento che le caratteristiche della termocamera sono influenzate dal tipo di sensore adottato, risulta fondamentale un sistema di raffreddamento incorporato e di misura della temperatura ambientale per effettuare le necessarie correlazioni.

In dettaglio, il principio di funzionamento di una termocamera è il seguente: l'energia all'infrarosso emessa da un oggetto viene fatta convergere dai componenti ottici verso un detector all'infrarosso e quest'ultimo invia le informazioni al sensore elettronico per l'elaborazione dell'immagine, che può essere visualizzata immediatamente su un LCD o a monitor. La termografia trasforma quindi un'immagine ad infrarossi in un'immagine radiometrica su cui è possibile leggere i valori della temperatura. Ogni pixel dell'immagine radiometrica è infatti una misurazione di temperatura, ottenuta grazie ad algoritmi complessi presenti nella termocamera. Le *mappe di temperatura* delle superfici esposte che si ottengono da questo tipo di indagine risultano di grande utilità in fase ispettiva per individuare eventuali disuniformità di materiali e zone di concentrazione di umidità, nonché per monitorare, attraverso la comparazione di misurazioni effettuate in tempi successivi, l'evoluzione dei fenomeni di bagnatura/essiccazione delle superfici.

6.1.2 Modalità di analisi e restituzione

La restituzione che si ottiene da un rilievo laser scanner consiste in un'informazione geometrica e fotografica molto più completa e significativa di un "semplice" report fotografico in quanto riproduce con estrema accuratezza e in tre dimensioni la topologia dell'opera.

Il raggio laser ha inoltre diversi valori di riflettanza a seconda del tipo di materiale che incontra e questi diversi valori si traducono in una variazione del valore cromatico dei punti acquisiti. Grazie a questa proprietà, se si imposta una visualizzazione in scala di grigio si ottiene una percezione della nuvola di punti come se fosse effettivamente mappata con una texture fotorealistica in bianco e nero ad altissima risoluzione e la lettura interpretativa risulta estremamente agevole e potenziata, come mostrano le seguenti immagini.



L'elaborazione del rilievo eseguito con tecnologia laser scanner consente di ottenere in automatico da qualsiasi piano di sezione e di proiezione, elaborati tradizionali quali piante, prospetti e sezioni, nonché



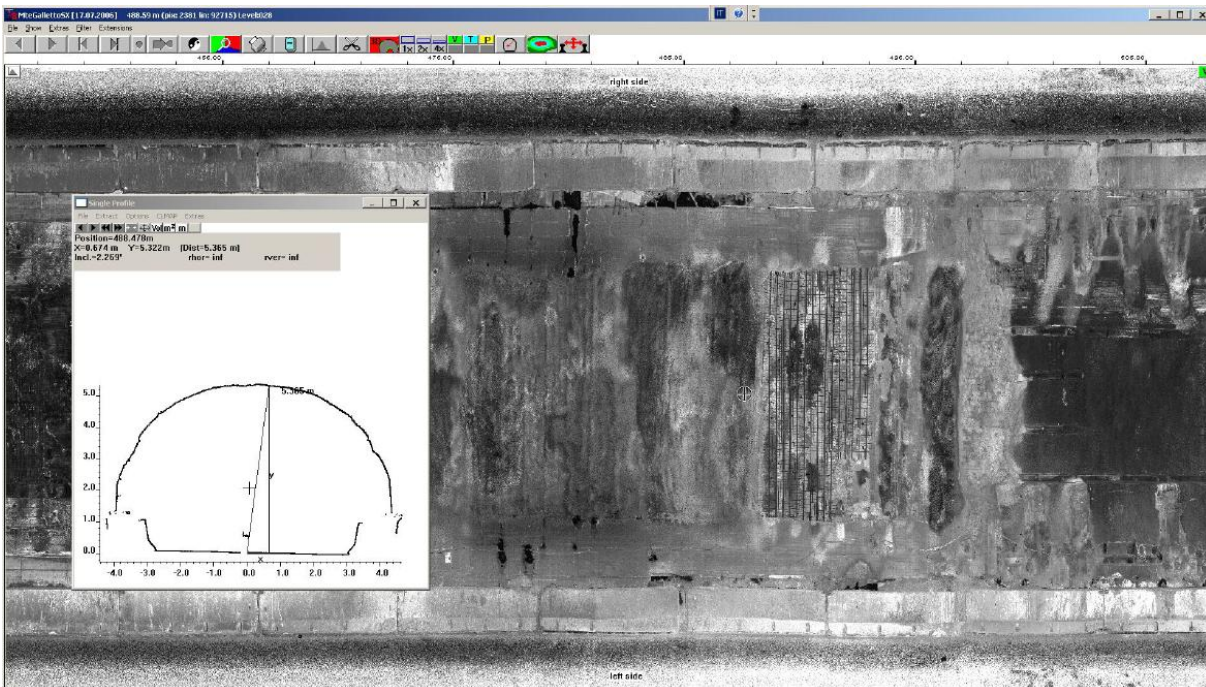
assonometrie e prospettive. E' inoltre possibile creare fotopiani e ortofoto digitali applicando la documentazione fotografica direttamente sul modello con una resa grafica eccellente. E' infine possibile utilizzare il rilievo laser scanner per effettuare una navigazione virtuale all'interno della galleria, focalizzando, laddove di interesse, dettagli ad una scala calibrata appositamente allo scopo.

La possibilità di interrogare la nuvola di punti 3D in ogni istante e di navigare e visualizzare il rilievo in tridimensionale permette, quindi, all'ispettore/progettista di effettuare operazioni di misurazione, approfondimento e catalogazione degli elementi di suo interesse. Il modello generato può inoltre essere utilizzato per tutte le operazioni di "data mining" ovvero di estrazione automatica o semiautomatica di informazioni da enormi quantità di dati.

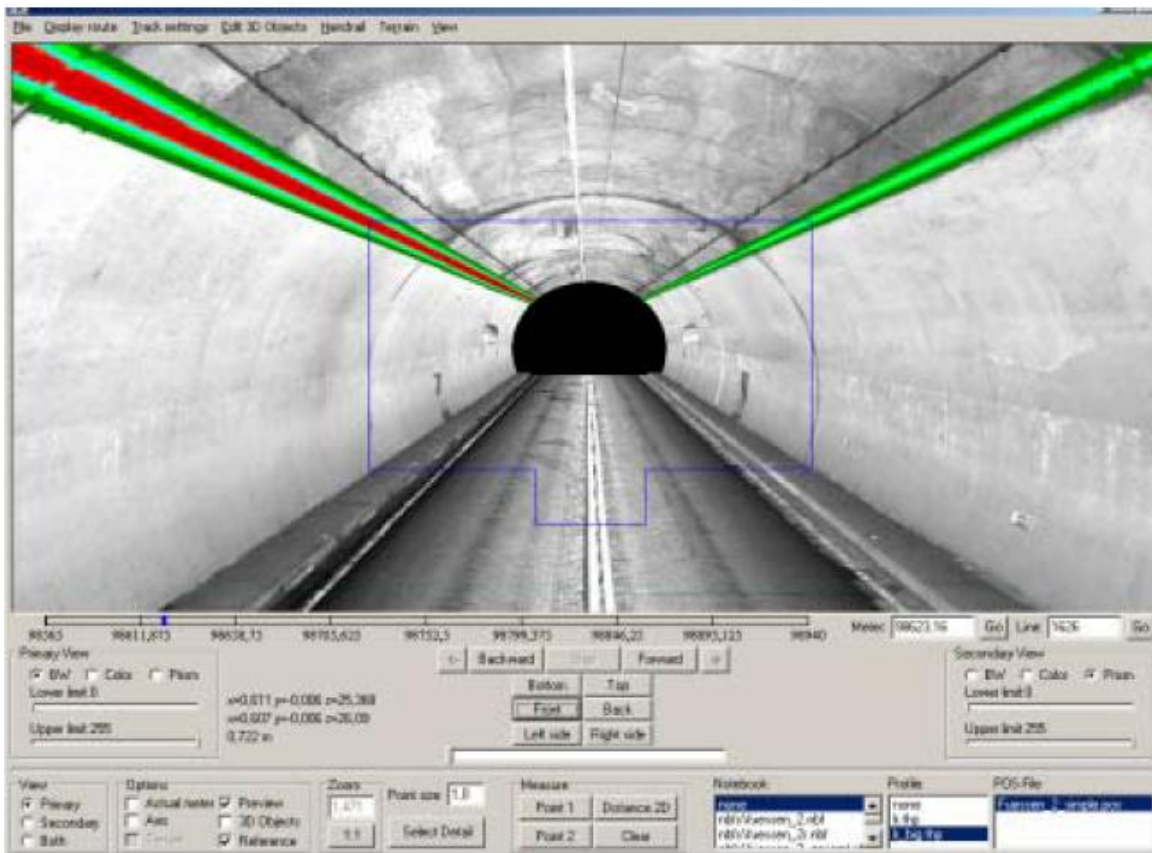
La scansione laser di una galleria restituisce un'immagine tridimensionale ad elevata precisione di tutto il fornice, inclusa la carreggiata stradale e le sue dotazioni impiantistiche. Oltre alla possibilità di navigare all'interno del rilievo tridimensionale, è possibile visualizzare specifiche viste di dettaglio e interrogarlo richiedendo misurazioni puntuali, ad esempio per verificare il rispetto dei franchi altimetrici.



Vista tridimensionale della restituzione laser scanner



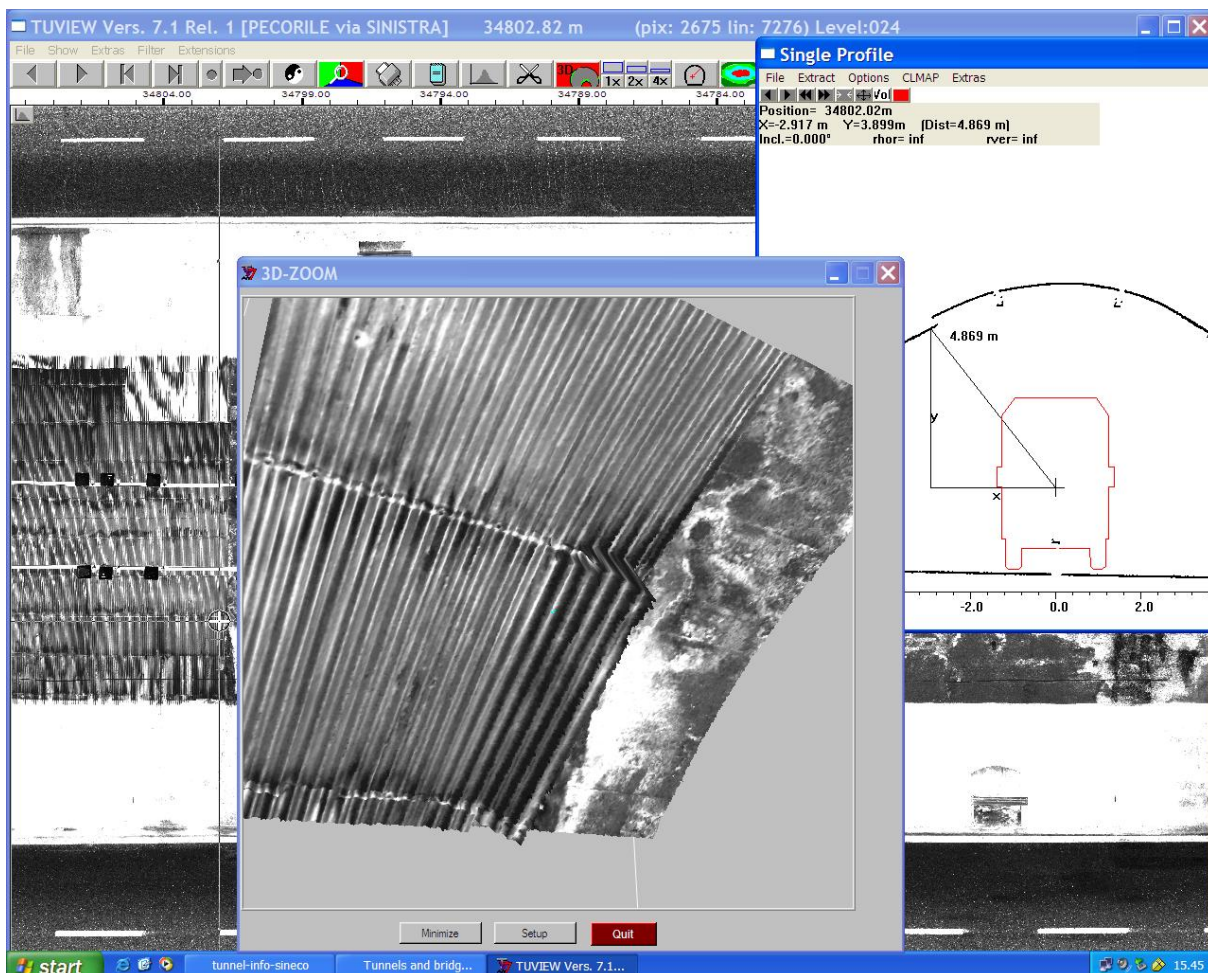
Vista 2D del profilo longitudinale della restituzione laser scanner con il dettaglio di una specifica sezione trasversale per la quale è stata richiesta la misura della massima altezza disponibile



Visualizzazione del gabarit disponibile sulla base della restituzione laser scanner con evidenza in rosso del mancato soddisfacimento del valore minimo richiesto

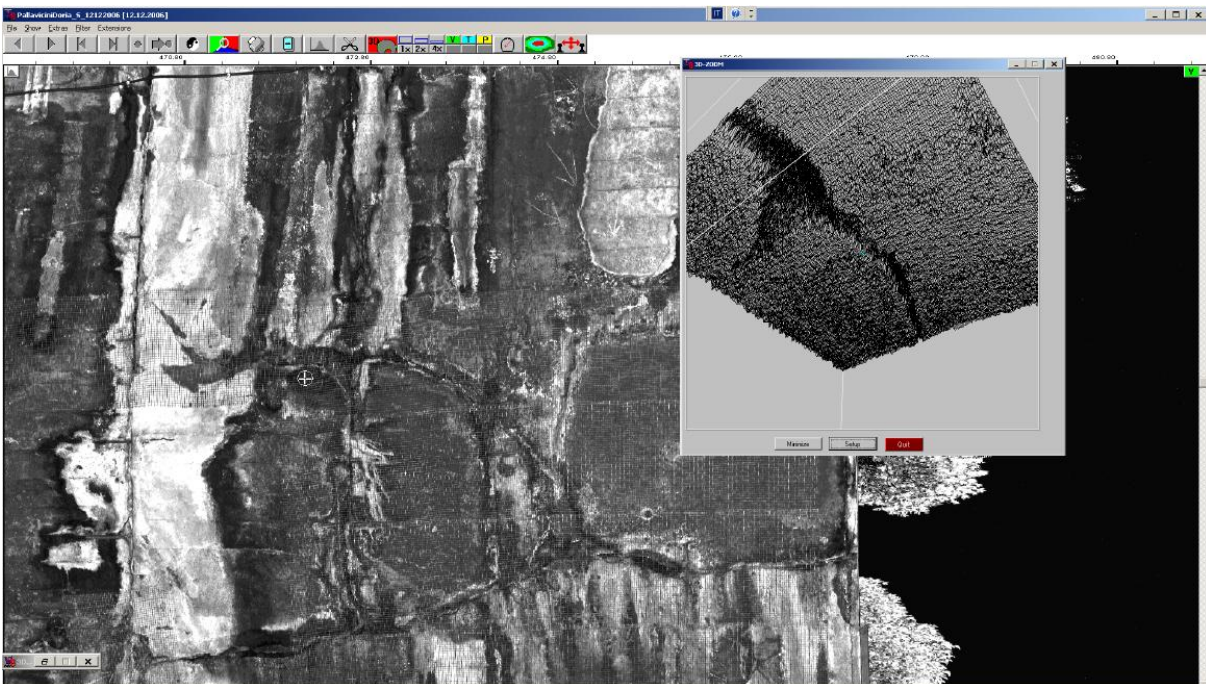


La scansione laser di una galleria è in grado di documentare con elevata precisione la presenza di tutti gli impianti e delle varie dotazioni presenti in galleria. Oltre a censire tali oggetti e a restituirne dimensioni e posizione, la restituzione consente anche di rilevarne lo stato di conservazione e di evidenziare eventuali anomalie o criticità, come nel caso mostrato in figura dove si mostra l'allentamento di un lembo di una ondulina presente in calotta.



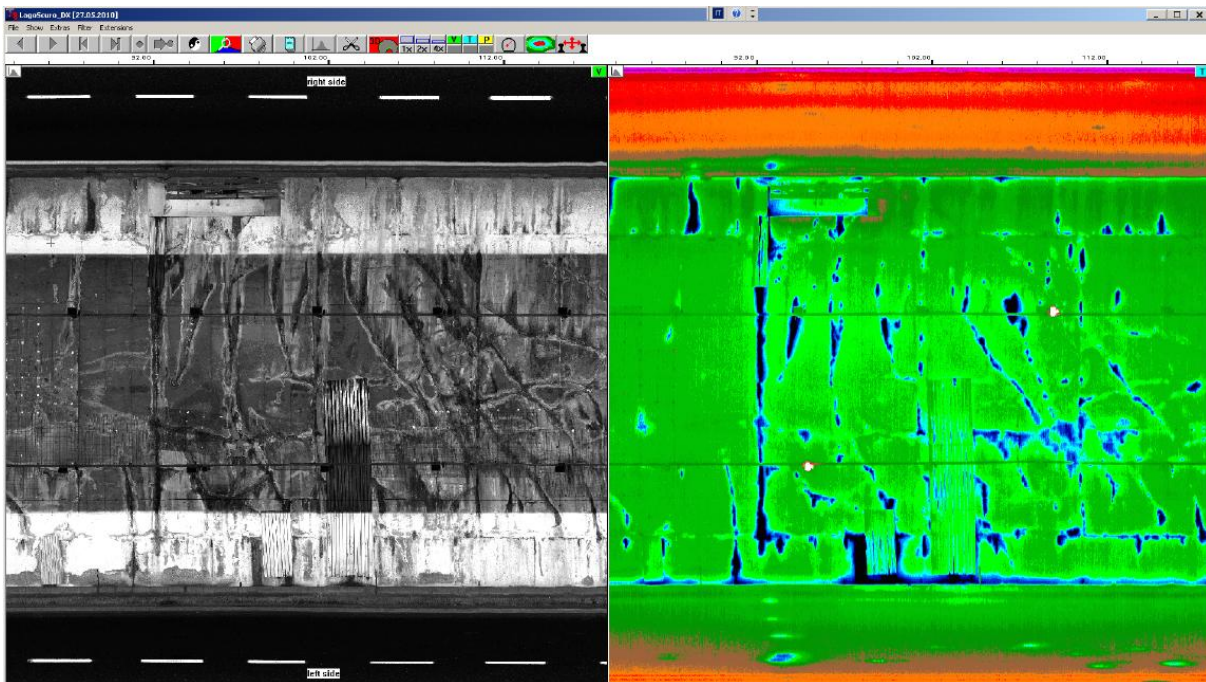
Restituzione laser delle dotazioni presenti in galleria (nello specifico si tratta di onduline) con individuazione di una criticità legata ad un non corretto fissaggio di un lembo

La restituzione laser scanner di una galleria è in grado di documentare in dettaglio il quadro fessurativo superficiale e di analizzare in maniera ravvicinata e più dettagliata eventuali situazioni ritenute significative.



Restituzione del laser scanner di una zona con lesioni importanti accompagnata da zoom tridimensionale della criticità in esame

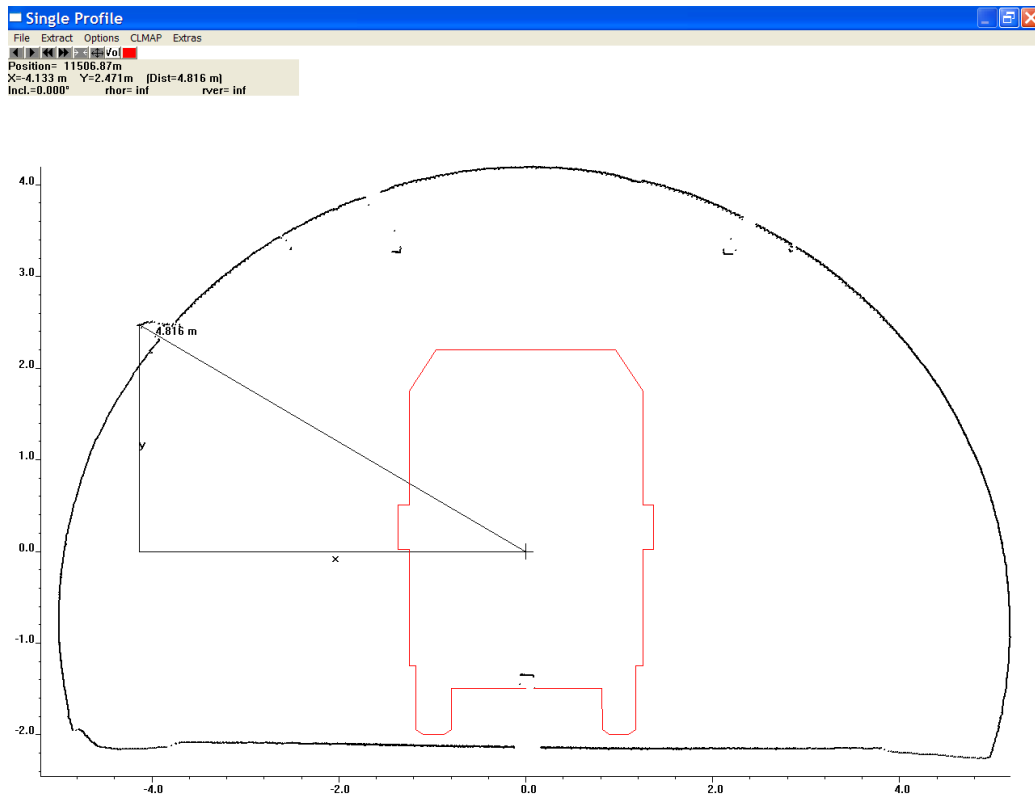
La possibilità di associare all'immagine fotografica anche quella termografica fornisce uno strumento aggiuntivo utile per associare gli effetti alle cause che li hanno generati, spesso associati a diffuse infiltrazioni d'acqua visibili in colore blu nell'immagine termografica.



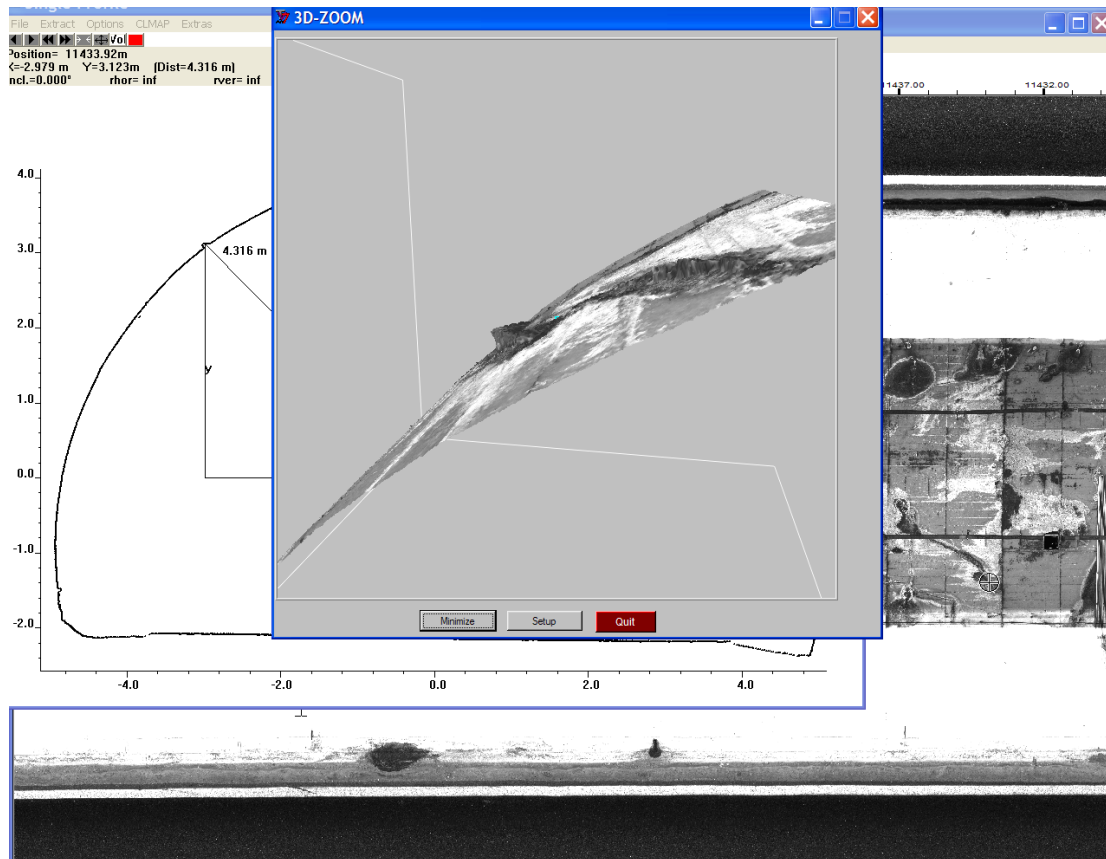
Restituzione del laser termografico che associa al prospetto del quadro fessurativo della calotta anche la mappatura termica che individua in blu le infiltrazioni d'acqua che lo hanno generato



La scansione laser di una galleria è in grado di documentare con elevata precisione la presenza di eventuali distacchi o cavità presenti. Oltre a censire tali criticità e a restituirne l'esatta posizione, la restituzione consente anche di misurare l'entità dell'ammanco e di esaminarlo in dettaglio per meglio valutarne forma e dimensioni.

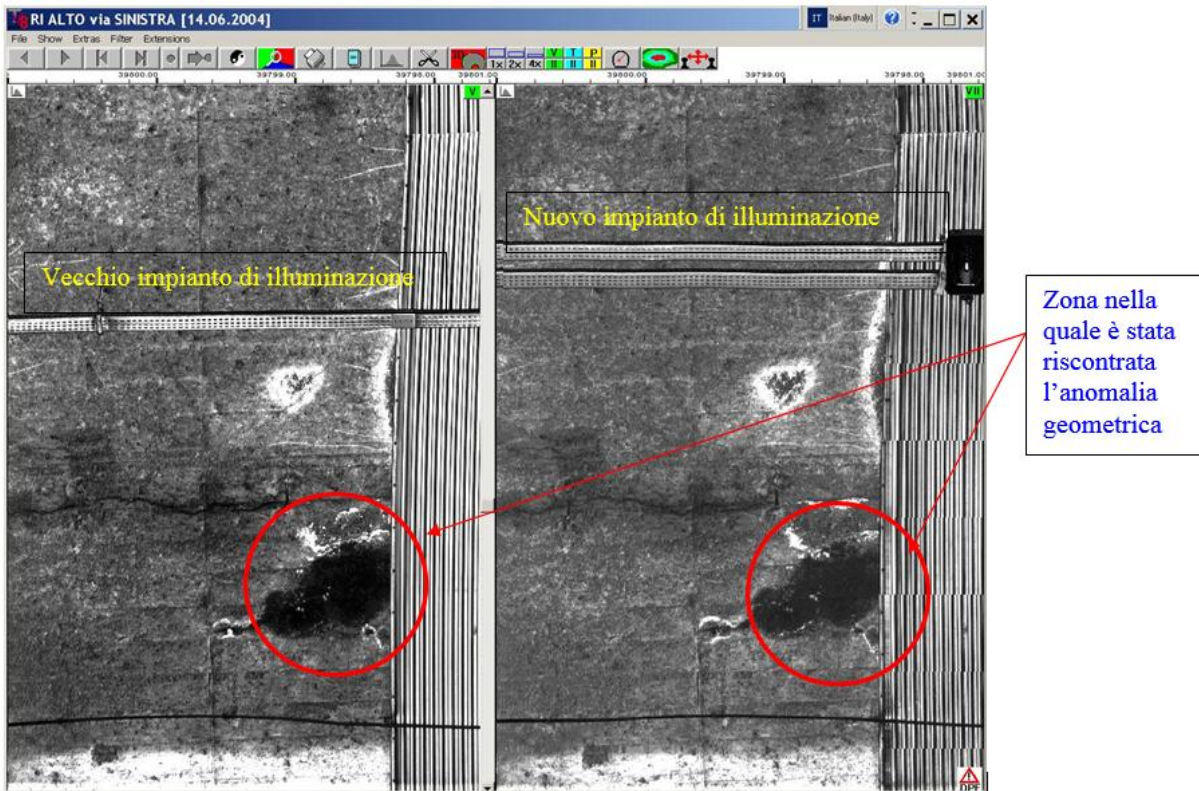


Sezione estratta dal rilievo laser scanner con evidenziata una cavità in corrispondenza del rene sinistro

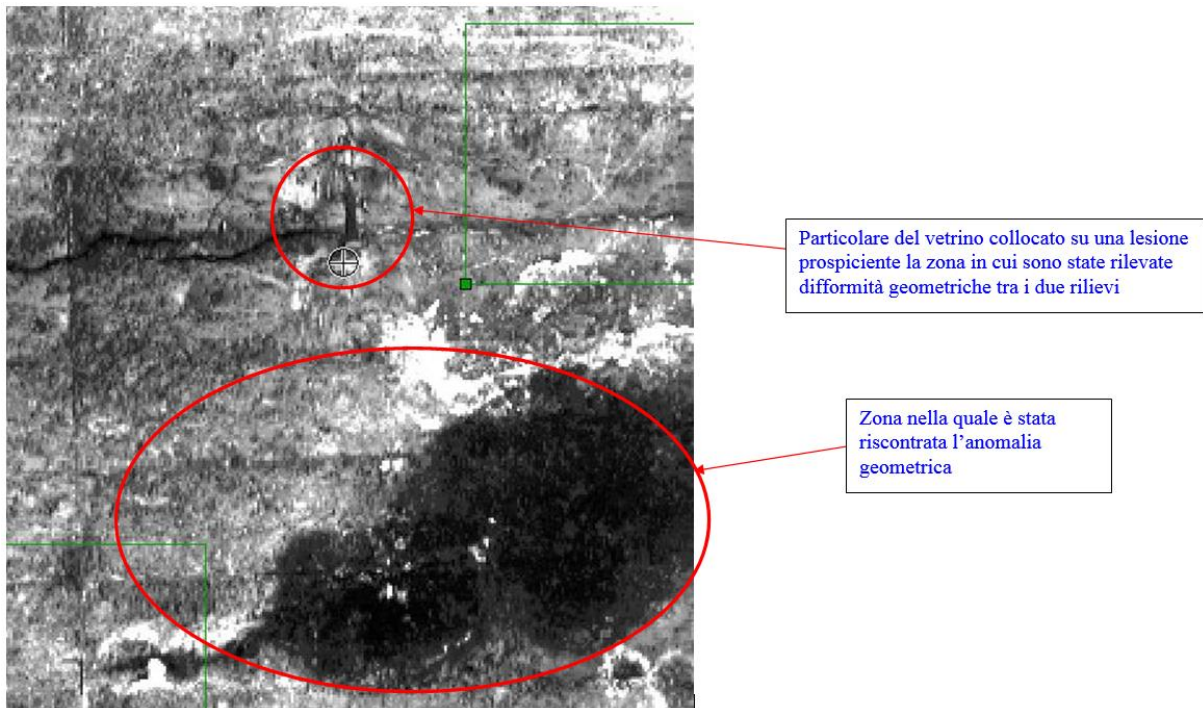


Zoom di dettaglio della scansione laser che esamina la cavità riscontrata

Il rilievo laser scanner di una galleria è in grado di documentare in dettaglio lo stato di ammaloramento superficiale del rivestimento, consentendo eventualmente di comparare rilievi eseguiti in tempi diversi, valutando quindi anche l'evoluzione del degrado nel tempo.



Comparazione di due rilievi laser scanner di una stessa criticità effettuati in tempi diversi

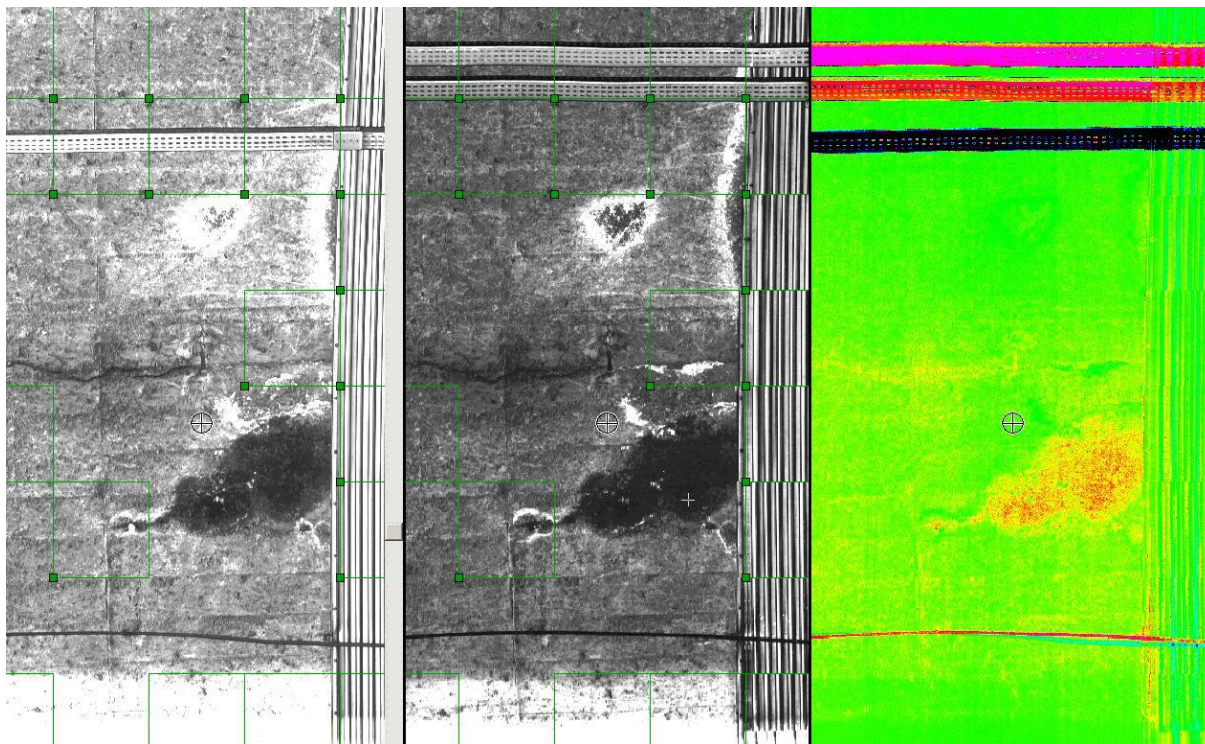


Zoom di precisione della criticità evidenziata per un'analisi ravvicinata

Nella fase di comparazione di due rilievi eseguiti in tempi diversi è anche possibile visualizzarne le differenze in una terza mappa a colori. Nell'immagine sotto riportata le zone rosse/gialle mostrate in basso a destra

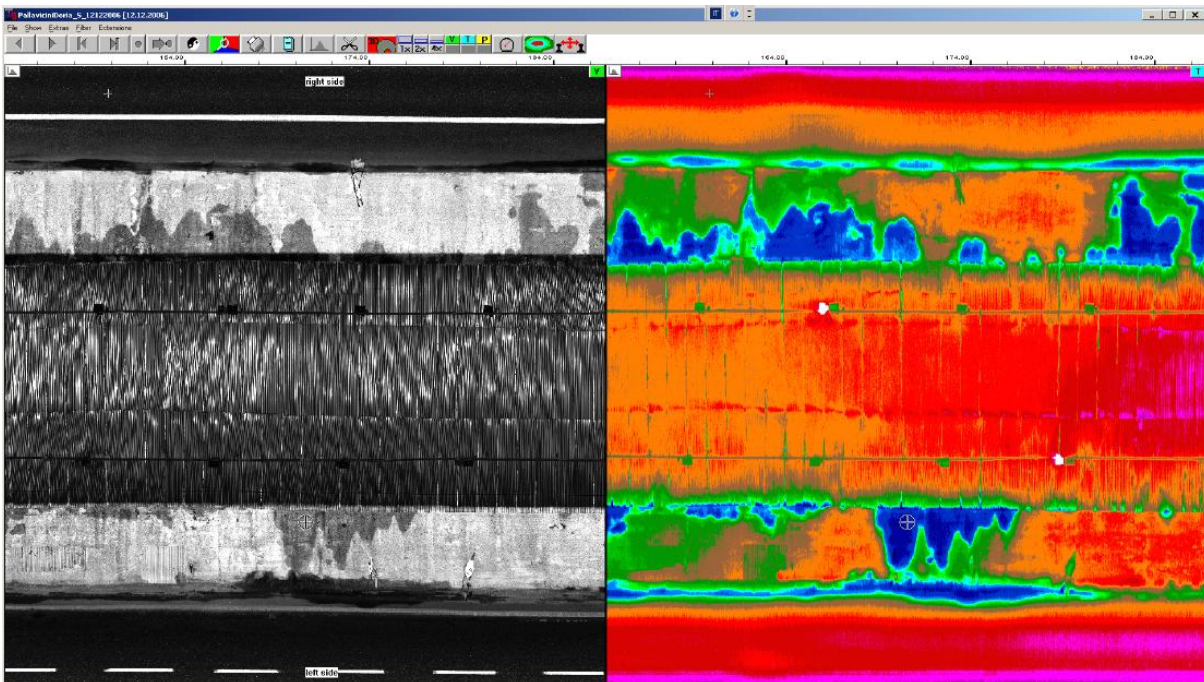


indicano in particolare le parti che nell'ultimo rilievo risulterebbero più "vicine" alla testa dello scanner rispetto al rilievo precedente. In questo caso, oltre alla zona interessata dall'anomalia geometrica, il confronto mette in evidenza anche la diversa configurazione delle canalette dell'impianto di illuminazione: in rosso/fucsia sono indicate le nuove canalette, mentre in nero quella vecchia non più presente.



Restituzione grafica di una comparazione tra due rilievi laser effettuate in tempi diversi con mappa a colori delle differenze emerse

L'associazione della tecnologia laser scanner con la termografia rende possibile affiancare ad un'immagine fotografica anche quella termografica fornendo un aggiuntivo strumento diagnostico che aiuta ad associare gli effetti alle cause che li hanno generati. Nelle immagini seguenti si mostra una calotta parzialmente rivestita da onduline a tergo delle quali sono visibili diffuse infiltrazioni d'acqua, evidenziate in colore blu nell'immagine termografica.

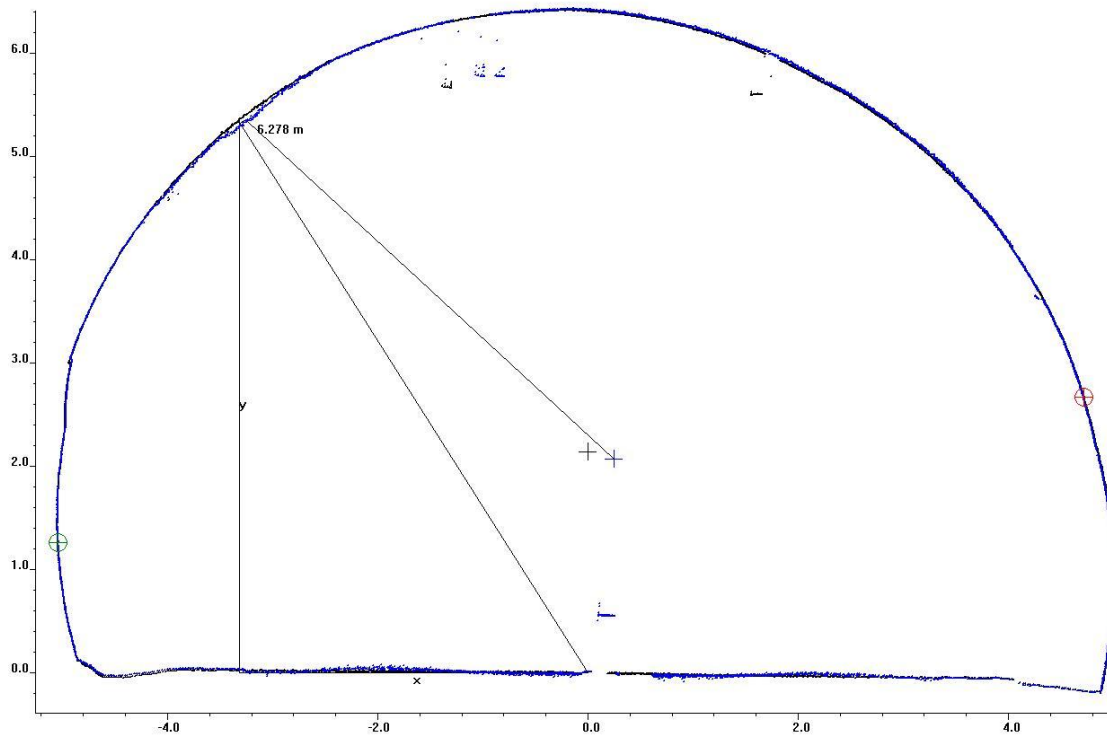


Doppia restituzione del rilievo laser termografico con evidenza delle infiltrazioni d'acqua in calotta

Il laser scanner ha l'obiettivo principale di restituire l'esatta geometria della struttura rilevata. Grazie al confronto di rilievi effettuati in tempi successivi si ha quindi un utile strumento per monitorare l'evoluzione di eventuali fenomeni deformativi. L'immagine seguente mostra la comparazione di due rilievi successivi fatti sulla stessa sezione, dal quale si ha evidenza di un fenomeno deformativo localizzato in corrispondenza del rene sinistro della galleria. In particolare in nero è riportato il rilievo più datato mentre in blu quello più recente.



File Extract Options CLMAP Extras
Position=39798.511m [scan=46075, pix=1182]
X=-3.312 m Y=5.333m [Dist=6.278 m]
Incl.=0.000° rhor=inf rver=inf



Evoluzione di un fenomeno deformativo localizzato in corrispondenza del rene sinistro

6.2 GEORADAR

Il metodo Georadar viene proposto come metodologia non distruttiva di screening con i seguenti obiettivi:

1. mappatura degli spessori del rivestimento di galleria
2. individuazione presenza e posizione centinatura
3. rilievo della presenza di armature in intradosso
4. verifica della presenza e posizione di possibili vuoti a tergo del rivestimento

In questi casi il metodo si è dimostrato di elevata affidabilità.

Può, anche essere utilizzato per:

5. verifica della presenza di discontinuità/lesioni all'interno dello spessore del rivestimento
6. verifica della presenza di situazioni di degrado o disomogeneità all'interno dello spessore del rivestimento
7. analisi dello stato corticale del rivestimento

ma necessita di successive indagini integrative di riscontro diretto delle ipotesi di caratterizzazione assunte.

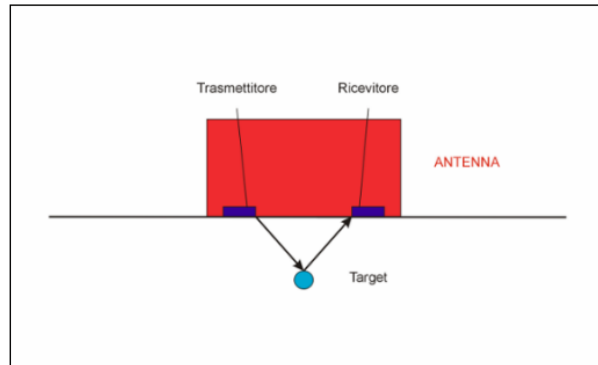
6.2.1 Metodologia di indagine e riferimenti normativi

La prospezione georadar (GPR Ground Penetrating Radar) è una metodologia di indagine geofisica che si basa sulla propagazione di onde elettromagnetiche ad elevata frequenza.

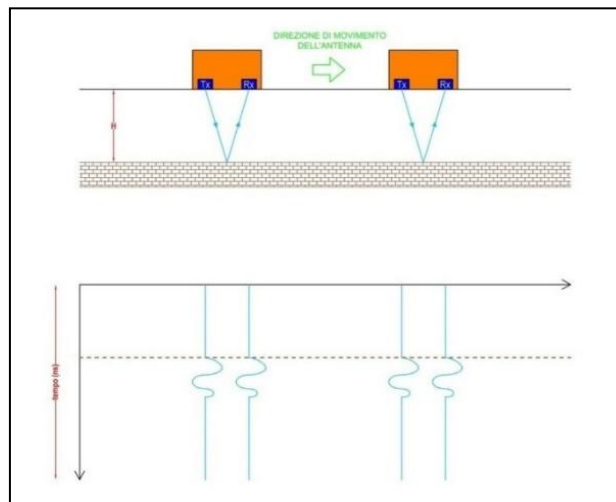
L'indagine prevede l'immissione di un breve impulso elettromagnetico in un materiale per mezzo di un'antenna la cui frequenza può variare da 10 a 2.600 MHz. L'impulso si propaga nel materiale con una velocità che dipende principalmente dalla costante dielettrica del materiale stesso. Quando l'impulso incontra



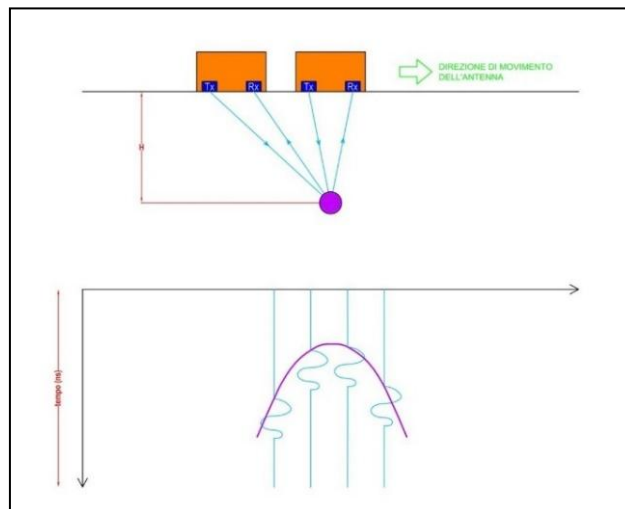
un'interfaccia con proprietà dielettriche differenti dal mezzo che la circonda viene parzialmente riflesso in superficie.



Quando l'impulso incontra un'interfaccia continua rispetto alla direzione di movimento dell'antenna, la riflessione viene identificata sulla radargrafia come un elemento lineare:



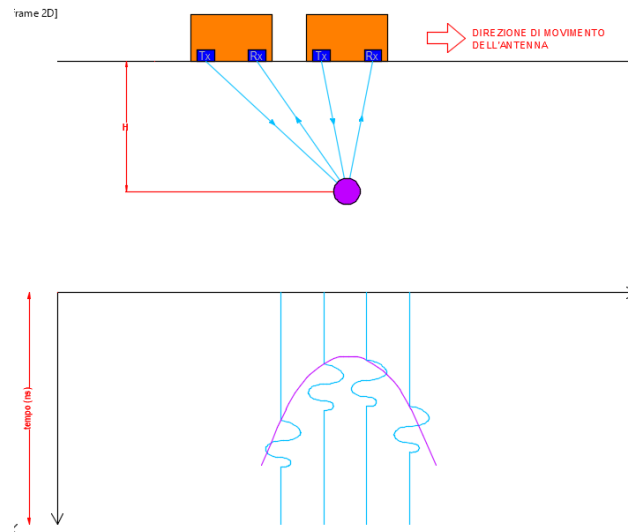
Quando l'impulso incontra un'interfaccia di limitata estensione laterale rispetto alla direzione di movimento dell'antenna, la riflessione viene identificata sulla radargrafia come un'iperbole. Tipico esempio di interfaccia di limitata estensione laterale è rappresentato in galleria dalle barre di armatura o dalle centine (quando la linea di rilievo è perpendicolare alla direzione di sviluppo degli stessi).



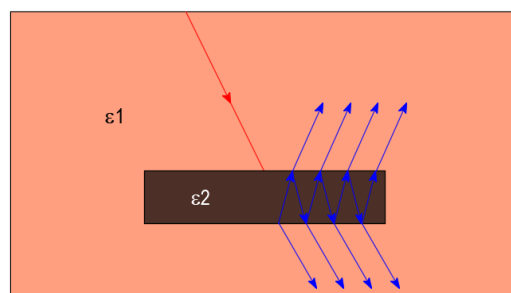
La norma di riferimento per le indagini georadar è la ASTM D6432-11 “Standard guide for using the surface Ground Penetrating Radar method for subsurface investigation”.

Lo spessore del rivestimento in calcestruzzo viene definito in base al tempo di arrivo della riflessione lineare dovuta al contrasto di impedenza elettromagnetica tra il calcestruzzo costituente il rivestimento di galleria e il materiale a tergo dello stesso (ammasso roccioso o materiale sciolto).

La posizione delle centine, in configurazione sia singola sia doppia, è generalmente molto ben identificabile su profili di acquisizione perpendicolari alla posizione della singola centinatura mediante iperboli di riflessione.



La presenza di vuoti viene identificata dal segnale radar con presenza di “riflessioni multiple”.





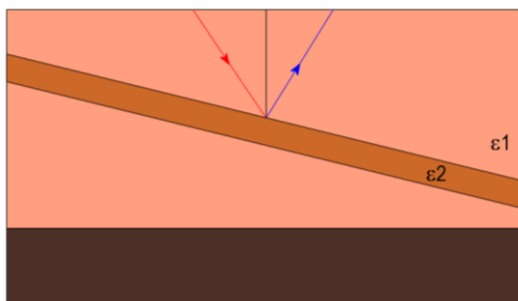
Tali riflessioni determinano fenomeni di “risonanza” nel segnale, ovvero dei rimbalzi delle riflessioni all’interno dello spazio vuoto (vedi figura sopra). Nella radargrafia il segnale è visibile come alternanza di picchi di ampiezza opposta (cicli d’onda) e nella normale rappresentazione come alternanze di bianco/nero evidenti.

Poichè la velocità del segnale radar nel vuoto (e in aria) è di 30cm/nanosecondo, ovvero 3 volte maggiore rispetto al calcestruzzo, la stima dello spessore dell’eventuale vuoto è sostanzialmente qualitativa.

In generale il georadar sarà tanto più efficace nell’individuazione dei vuoti quanto maggiore sarà la dimensione degli stessi e la profondità di ubicazione.

La presenza di lesioni è individuabile dal georadar come presenza di riflessioni prevalentemente di tipo lineare; la possibilità di individuazione di tali elementi dipende dai seguenti fattori:

- Inclinazione del lineamento rispetto alla superficie di rilievo
- Contrasto di impedenza (prodotto della conduttività elettrica e della dimensione trasversale - spessore) tra l’oggetto “lineamento riflettente” e materiale incassante

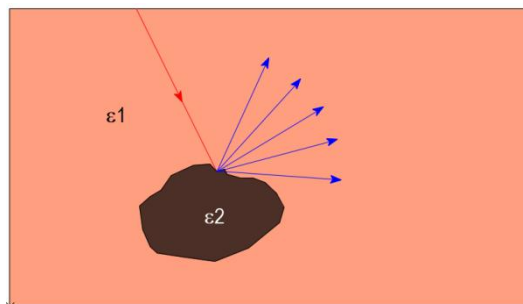


Anche in questo caso la capacità risolvibile del segnale radar dipende dalla combinazione tra i fattori sopra citati:

- minore è l’inclinazione rispetto allo spessore del rivestimento maggiore sarà l’energia riflessa e pertanto la visibilità del lineamento; ovvero quanto più la lesione è perpendicolare allo spessore del rivestimento tanto meno sarà individuabile dal georadar;
- maggiore è il contrasto di caratteristiche dielettriche della lesione: maggiore è l’apertura della lesione e/o il riempimento con materiali quali calcestruzzo alterato e/o acqua, maggiore sarà la visibilità della lesione sul segnale georadar.

Si intende valutare la presenza di zone con degrado del calcestruzzo costituente il rivestimento di galleria, riferibili ad esempio a vespai, problemi nel getto o generici ammaloramenti.

Tali elementi in generale determinano fenomeni di diffrazione del segnale radar (identificabili come “rumore diffuso”).



Trattandosi di anomalie che il georadar è in grado di individuare ma senza avere la possibilità di indagarne in dettaglio la natura, si propone conservativamente di restituire in via preliminare la presenza di fenomeni di diffrazione (anche di bassa entità) interpretandoli come “possibile presenza di fenomeni di



alterazione/degrado” del rivestimento. In fase successive le indagini di taratura permetteranno di riclassificare le anomalie georadar nel seguente modo:

6.2.2 Modalità esecutive

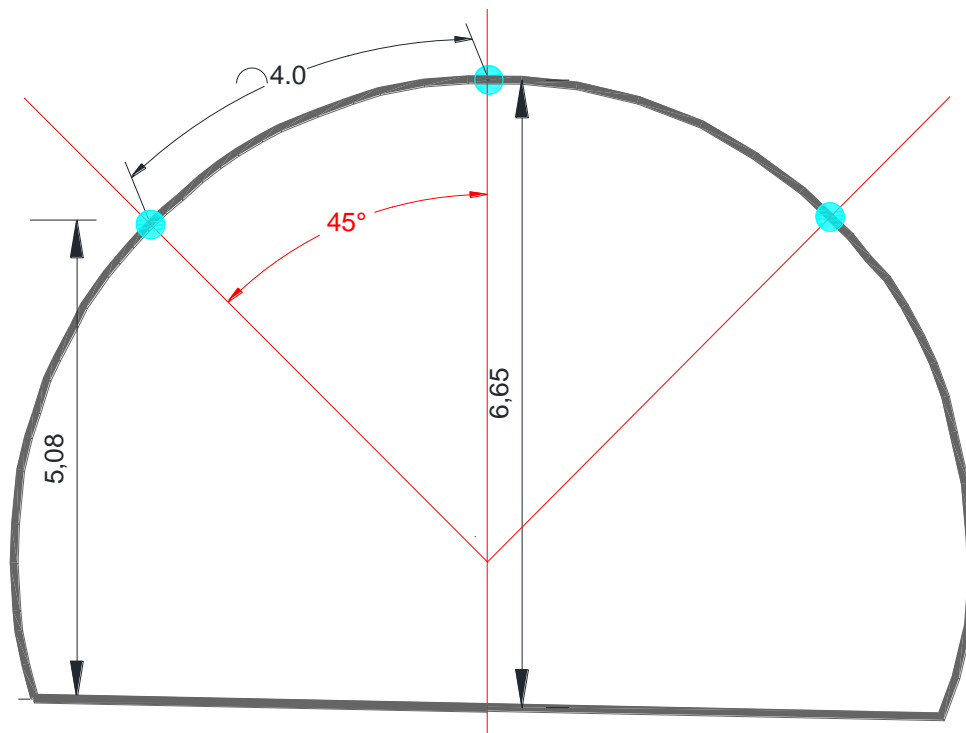
Il rilievo georadar può essere previsto su un numero minimo di profili longitudinali con densità (numero di profili) variabile in funzione delle dimensioni della galleria., come di seguito indicato:

- Per le gallerie a 2 corsie di marcia: l'indagine georadar interesserà n. 3 profili longitudinali sulla porzione a +/-45° dalla chiave di calotta;
- Per le gallerie a 3 corsie di marcia: l'indagine georadar interesserà n. 5 profili longitudinali sulla porzione a +/-45° dalla chiave di calotta.

Gli schemi di rilievo sono quelli riportati di seguito, elaborati sulle sezioni di galleria fornite da ASPI per i due casi di galleria rispettivamente a 2 e a 3 corsie di marcia.

Il suddetto numero di profili da indagare è da intendersi quale numero minimo e potrà essere integrato su richiesta dei progettisti in funzione delle eventuali anomalie riscontrate nella prima fase di indagine.

Galleria a 2 corsie – n.3 profili

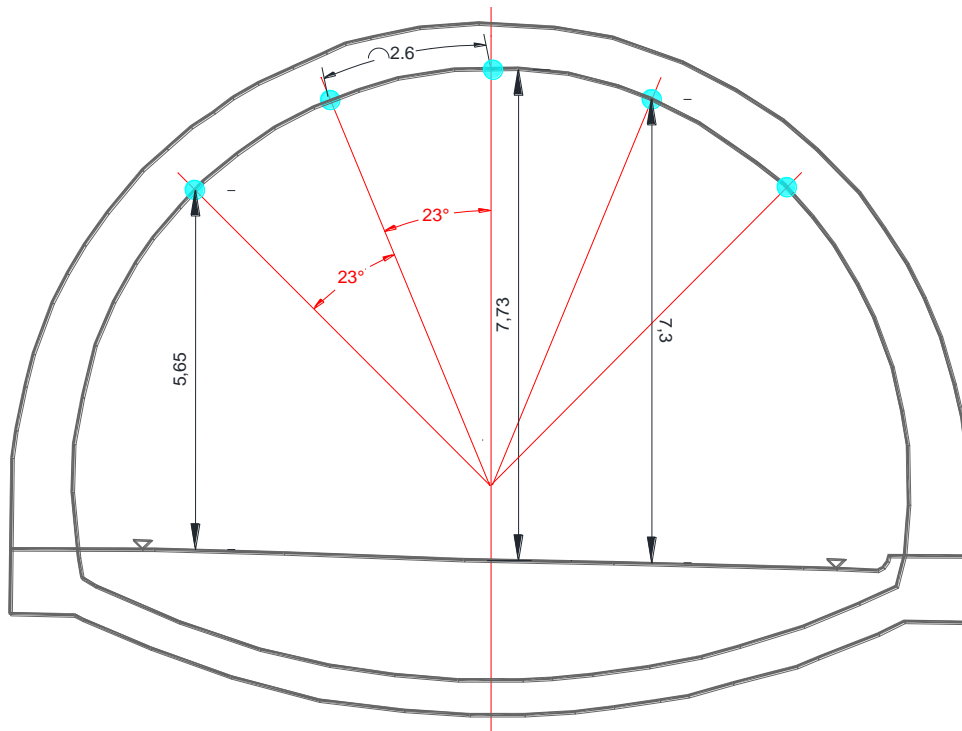


Si prevedono n.3 profili longitudinali (cerchio azzurro) con antenna a doppia frequenza 400-900MHz (200-600MHz opzionale in caso di forte presenza di acqua). Con tale geometria la distanza tra i profili sullo sviluppo della volta è pari a circa 4,0m (45°).

Nello schema sono riportate le altezze dal pavimentato per ogni profilo ai soli fini logistici (mezzo in elevazione). Le altezze variano da un minimo di 5,1m ad un massimo di 6,7m.



Galleria a 3 corsie – n.5 profili



Si prevedono n.5 profili longitudinali (cerchio azzurro) con antenna a doppia frequenza 400-900 MHz (200-600 MHz opzionale in caso di forte presenza di acqua); rispetto alla geometria precedente vengono quindi inseriti ulteriori 2 profili a $22,5^\circ$ dalla posizione di chiave a migliorare la densità del rilievo sulla sezione a 3 corsie (maggior diametro).

Con tale geometria la distanza tra i profili sullo sviluppo della volta è pari a circa 2,6m ($22,5^\circ$).

Nello schema sono riportate le altezze dal pavimentato per ogni profilo ai soli fini logistici (mezzo in elevazione). Le altezze variano da un minimo di 5,7m ad un massimo di 7,8m.

Il rilievo con antenna ad elevate frequenza sarà eseguito su profili longitudinali e/o trasversali nelle porzioni di galleria dove le ispezioni visive hanno rilevato una possibile debolezza corticale del calcestruzzo o la presenza di stato fessurativo significativo. Tale indagine interesserà altresì le zone in corrispondenza ai punti di fissaggio delle reti metalliche di protezione della volta. In funzione delle necessità di approfondimento della problematica in esame, le scansioni georadar con antenna ad alta frequenza potranno essere sia longitudinali sia trasversali.

6.2.3 Modalità di analisi e restituzione

I profili longitudinali verranno acquisiti su sezioni distinte di lunghezza pari a 50m o in numero di conci non inferiori a 5. Sarà ovviamente possibile derogare in relazione alle situazioni logistiche di ogni singolo fornice. In ogni caso dovrà essere univocamente definita la posizione del rilievo al fine da consentire, nella fase di post-elaborazione, il corretto posizionamento delle anomalie riscontrate.

Qualora i giunti tra i conci siano chiaramente e univocamente individuabili in sito si ritiene preferenziale il rilievo secondo il numero dei conci.

Durante la fase di rilievo dovrà essere redatto verbale di cantiere con indicazione di:

- ragione sociale fornitore
- data rilievo
- tecnico operatore (cognome e nome)



- wbs o nome galleria
- antenna radar utilizzata
- posizione del profilo
- pk inizio e fine sezione
- nome file
- eventuali note

Il dato radar dovrà essere elaborato secondo gli step di processing di seguito descritti per ognuna delle frequenze impiegate per il rilievo:

- correzione della posizione di zero
- eventuale filtraggio in frequenza
- correzione del gain
- definizione del valore di velocità del segnale radar con le seguenti possibilità di affinamento successive
 - da letteratura per calcestruzzo (impostazione durante la fase di rilievo); si avrà cura di impostare il valore di velocità secondo le condizioni del calcestruzzo (wet/dry...)
 - da calcolo/elaborazione in caso di presenza di riflessioni iperboliche
 - da dati di taratura diretta
- la prima elaborazione prevede l'impiego di parametri di processing identici per singolo fornice
- conversione del radargramma in formato jpg in scala di grigi

Gli step di processing dovranno essere indicati nel report di restituzione.

La restituzione delle risultanze del rilievo potrà essere così strutturata:

- relazione generale completa dei datasheet delle strumentazioni e attrezzature utilizzate e delle modalità e quantità di rilievo
- per ogni fornice indagato:
 - tavola base - (formato A3 – file pdf ed editabile dwg completo di file jpg inseriti): contenenti le radargrafie in scala di grigio su grafico distanze-profondità
 - tavole tipo A (formato A3 – file pdf ed editabile dwg completo di file jpg inseriti): contenenti le radargrafie in scala di grigio su grafico distanze-profondità con elementi interpretativi individuati su layer separato per tema (vedi in seguito). Ogni tavola conterrà il dato elaborato sulle varie posizioni.
 - tavole tipo B (formato A3 – file pdf ed editabile dwg): contenente le sole sezioni interpretative e le posizioni di taratura (con stratigrafia individuata direttamente da videoendoscopia)
 - tavole tipo C (formato A3 – file pdf ed editabile dwg): contenente la restituzione finale post-taratura.

Si specifica che per il rilievo con antenna a doppia frequenza il dato verrà elaborato per entrambe le frequenze radar (con uscita in formato jpg); sulle tavole (tipo A e tipo B) verrà rappresentata la frequenza ritenuta maggiormente risolvibile ai fini degli obiettivi delle indagini.

Gli elementi interpretativi da riportare sulle tavole sono i seguenti:

- elementi lineari
 - spessore del rivestimento
 - eventuali discontinuità
 - zone con presenza di armatura di intradosso
- elementi puntuali
 - posizione delle centine
- elementi anomali
 - possibile presenza di vuoti
 - anomalie (fenomeni di diffrazione) nello spessore del rivestimento



Gli elementi così individuati saranno riportati su differenti layer (con diverse colorazioni e spessori dei tratti e denominati come sopra riportato nell'elenco elementi interpretativi). Qualora l'identificazione dei singoli elementi sia di natura dubbia gli stessi lineamenti dovranno essere riportati con elementi tratteggiati.

Sulle tavole relative all'interpretazione preliminare (ante-taratura) dovranno essere inoltre identificate le posizioni di esecuzione delle indagini di taratura (videoendoscopie e carotaggi) descritte al successivo paragrafo. In funzione dei dati di taratura diretti (carotaggi e videoendoscopie) sarà poi eseguita una rielaborazione del dato radar.

6.2.4 Campagna di taratura del georadar

Il georadar risulta uno strumento di indagine estremamente utile per rilevare la presenza di anomalie individuandone l'ubicazione, tuttavia in taluni casi si scontra con alcune condizioni al contorno che non permettono di ottenere un risultato pienamente soddisfacente. Come noto, infatti, la propagazione del segnale in un mezzo dipende dalle proprietà dielettriche del mezzo stesso (conduttività e permittività) e, soprattutto nel caso di terreni o di oggetti caratterizzati da significativa presenza di umidità, queste sono fortemente condizionate dalla presenza di acqua, che causa la riflessione e l'attenuazione di parte del segnale. Ne consegue che, a parità di strumentazione georadar utilizzata, si possa avere una restituzione più o meno chiara e significativa in funzione della natura del terreno in cui l'indagine è stata condotta.

In generale il calcestruzzo risulta un mezzo adatto per l'utilizzo del georadar, in quanto presenta una bassa conduttività; in presenza di acqua, però, il tasso di conduttività aumenta e le condizioni di applicabilità della tecnica georadar non risultano più ottimali. Ne consegue che per raggiungere un livello soddisfacente della restituzione si debbano affiancare al georadar ulteriori tecniche di indagine che aiutino a raggiungere una completa comprensione della possibile problematica evidenziata dal georadar.

In aggiunta a queste casistiche in cui l'interpretazione del georadar necessita di un supporto esterno per poter superare il limite correlato a condizioni di applicabilità non ottimali, esistono altre situazioni in cui il ricorso ad ulteriori approfondimenti risulterebbe in ogni caso indispensabile per poter comprendere in maniera completa ed affidabile la problematica oggetto di indagine. Tali situazioni riguardano ad esempio le seguenti casistiche:

- anomalie relative alla presenza di zone disomogenee che potrebbero essere a priori associate a materiali disgregati o porosi, getti vespaiosi o presenza di piccoli vuoti: in questi casi il georadar rileva la variazione delle caratteristiche del materiale in funzione della variazione delle sue proprietà dielettriche ma, a meno di situazioni in cui tale variazione risulti netta, non è in grado di fornire indicazioni sulla natura del materiale e soprattutto sull'eventuale variazione della resistenza meccanica. A supporto del georadar si ricorre quindi usualmente ad un prelievo grazie al quale si può avere una restituzione visiva del materiale disomogeneo, nonché un'indicazione della sua resistenza ricorrendo a test di schiacciamento di provini ricavati dallo stesso campione prelevato.
- caso di lesioni e distacchi: in questi casi il georadar rileva in maniera chiara l'anomalia ma non è in grado di quantificare con precisione l'apertura della lesione né di fornire indicazioni sulla natura dei lembi distaccati. In questi casi si effettuano usualmente alcune fiorettature all'interno delle quali si introduce una mini-telecamera associata ad una scala metrica in maniera da poter eseguire una videoendoscopia e verificare sia l'entità del distacco sia lo stato con cui si presentano le varie superfici. Per quantificare invece l'estensione della lesione si può ricorrere all'esecuzione di ulteriori stese georadar in direzione trasversale in modo da circoscrivere meglio l'anomalia.
- caso di presenza di vuoti o cavità: anche in questi casi il georadar individua la zona interessata dall'anomalia ma non è in grado di determinare in maniera completa ed esaustiva le dimensioni del volume cavo o di dare informazioni sulla natura delle pareti dell'incavo. Per completare il quadro informativo fornito dal georadar e rendere più efficace l'interpretazione del rilievo acquisito risulta pertanto fondamentale effettuare in parallelo alcuni approfondimenti di indagine. Si ricorre solitamente in questo caso ad una serie di videoendoscopie che permettano di attraversare la cavità misurandone la profondità e restituendo immagini delle superfici che ne costituiscono le pareti.



In tutti questi casi si parla di “indagini di taratura del georadar” finalizzate a perfezionare l’interpretazione della sua restituzione preliminare.

6.2.5 Esempi di restituzione

Si riportano di seguito alcuni esempi di restituzione georadar associata all’obiettivo di volta in volta prefissato.

Le scansioni longitudinali di georadar effettuate nelle sezioni di chiave calotta, reni ed eventuali ulteriori intermedie consentono di valutare l’effettivo spessore del rivestimento lungo tutto lo sviluppo della galleria, evidenziando, grazie alla comparazione con la documentazione storica di contabilità, la presenza di eventuali sottospessori.



Le scansioni longitudinali di georadar effettuate nelle sezioni di chiave calotta, reni ed eventuali ulteriori intermedie consentono di verificare l'effettiva presenza di centine di pre-rivestimento, evidenziandone numero, posizione ed interasse, nonché rilevando l'eventuale presenza di centine accoppiate.

6.3 VIDEOENDOSCOPIA

6.3.1 Metodologia di indagine

Il rilievo videoendoscopico permetterà sia di verificare direttamente le anomalie individuate dalle indagini georadar sia di tarare le informazioni restituite da una prima elaborazione del rilievo georadar stesso.

La videoendoscopia risulta particolarmente utile nel caso in cui il georadar ha rilevato, nella fase di screening, la presenza di possibili vuoti. Effettuando infatti una fiorettatura in corrispondenza delle posizioni selezionate in funzione della restituzione georadar è possibile introdurre una telecamera per constatare de visu la presenza della cavità e valutarne l'effettiva profondità ed estensione, nonché visionare lo stato delle pareti, la consistenza dei materiali e l'eventuale presenza di interventi di consolidamento attuati in passato.

Anche nel caso di lesioni e/o discontinuità, la videoendoscopia si rivela molto utile perché consente di esaminare le superfici distaccate e di quantificare l'entità e la propagazione delle lesioni.

6.3.2 Modalità esecutive

Le attività di videoispezione prevedono la realizzazione di un foro su tutto lo spessore del rivestimento del diametro di 14mm (min) --18mm (max). Al termine della perforazione il foro dovrà essere ripulito dai residui di perforazione mediante inserimento di tubicino all'interno del foro e iniezione di aria a bassa pressione (da fondo foro verso bocca foro); successivamente alla fase di pulizia del foro verrà inserito il videoendoscopio per le rilevazioni foto e/o video.

Durante l'esecuzione del rilievo videoendoscopico si avrà cura di registrare la profondità delle singole riprese fotografiche.

6.3.3 Modalità di analisi e restituzione

Per ognuna delle posizioni di rilievo dovrà essere restituita in formato digitale la documentazione video/fotografica e una scheda con annotazione degli elementi maggiormente interessanti (comprese indicazioni di profondità da bocca foro e documentazione fotografica).

6.4 CAROTAGGI E PROVE DI LABORATORIO

6.4.1 Metodologia di indagine e riferimenti normativi

Al fine di caratterizzare dal punto di vista meccanico il calcestruzzo costituente il rivestimento viene previsto il prelievo di un significativo numero di campioni, da sottoporre successivamente a prove di laboratorio per la determinazione della resistenza a compressione.

Per poter avere una caratterizzazione estensiva delle proprietà meccaniche dei materiali è stato previsto il prelievo di n.3 carote ogni 50 m di galleria, alternando i punti di prelievo in chiave e sulle due reni.

A tale campagna di campionamento si aggiungono gli ulteriori prelievi specificatamente richiesti dai progettisti nelle zone di maggiore interesse al fine di meglio comprendere fenomeni locali legati ad esempio a disomogeneità nel getto del rivestimento riscontrate nel corso dello screening preliminare del georadar.

La norma di riferimento per l'estrazione di campioni e per i successivi test di laboratorio è la UNI EN 12504-1:2009 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione".



6.4.2 Modalità esecutive

Il prelievo della carota dovrà essere eseguito, ovviamente con utilizzo di acqua, e con velocità di rotazione media e costante per tutta la durata della fase di perforazione.

Le carote dovranno essere immediatamente identificate con codice univoco (WBS/n. progressivo campione) e fotografate avendo l'accortezza di affiancare al campione una scala metrica di riferimento.

Per l'estensiva campagna di caratterizzazione dei calcestruzzi del rivestimento, da ciascuna delle tre carote prelevate ogni 50 m di galleria sarà estratto un provino da sottoporre a test di schiacciamento.

Per i carotaggi integrativi effettuati, invece, con l'obiettivo di indagare zone di specifica criticità su richiesta degli ispettori/progettisti o ai fini della taratura del georadar, qualora la carota prelevata lo consenta, si potrà valutare la possibilità di procedere all'estrazione di più provini da assoggettare a test di schiacciamento. Tale facoltà risulta particolarmente utile quando la zona di indagine è localizzata in corrispondenza ad esempio a "giunti freddi" o ad altre zone di interfaccia con caratteristiche anche sensibilmente diverse.

6.4.3 Modalità di analisi e restituzione

Per ognuna delle carote estratte dovrà essere fornita scheda con documentazione fotografica del campione prelevato e corrispondente descrizione stratigrafia (variazioni di colore, di granulometria degli inerti, presenza eventuale di vucooli, stato fessurativo – indipendente dal prelievo, etc...).

I campioni dovranno essere sottoposti immediatamente dopo il prelievo a prova di carbonatazione della quale verrà fornita scheda con documentazione fotografica e indicazione dello strato carbonatato espresso in millimetri.

Successivamente il campione estratto dovrà essere inviato a laboratorio autorizzato e certificato presso il quale eseguire la prova di rottura a compressione per la determinazione della resistenza a compressione. Si prevede il rilascio di un certificato di prova unico per fornice con le risultanze di ogni singolo campione prelevato e analizzato.

6.5 PROVE DI PULL-OUT

La caratterizzazione meccanica del calcestruzzo può essere effettuata, oltre che con indagini distruttive che prevedono il prelievo di campioni così come riportato precedentemente, anche mediante tecniche di indagine non distruttive quali le prove sclerometriche, di pull-out o la sonda di Windsor. In questi casi la misura della resistenza avviene interpolando i dati misurati con curve di correlazione predefinite, che però è buona regola tarare con riferimento ad alcuni campioni prelevati in sito.

Tra le citate tecniche di tipo non distruttivo si segnala la prova di pull-out in quanto maggiormente indicata allo scopo prefissato, ossia alla caratterizzazione meccanica della porzione corticale del calcestruzzo costituente il rivestimento, ed in particolare delle zone ricoperte da reti di protezione. Ciò al fine di avere un'indicazione sull'adeguatezza della resistenza del calcestruzzo superficiale dove risultano immorsati i tasselli di aggancio delle reti.

6.5.1 Metodologia di indagine e riferimenti normativi

Scopo della prova è quello di determinare la forza di estrazione del calcestruzzo indurito per mezzo di un inserto pre-inglobato nel getto costituito da un disco e uno stelo (Figura 1), oppure di un dispositivo simile post-inserito per foratura all'interno del calcestruzzo indurito (Figura 2). Nella Figura 3 viene riportata la sezione schematica dell'esecuzione della prova di estrazione.

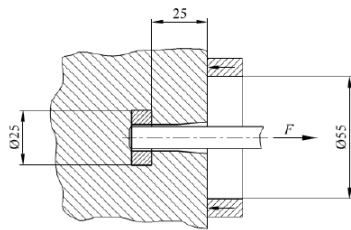


Figura 1

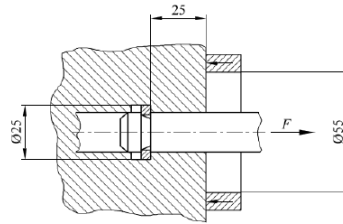


Figura 2

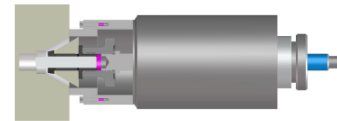


Figura 3

La norma di riferimento per le prove di pull-out è la UNI EN 12504-3:2005 “Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 3: Determinazione della forza di estrazione”.

6.5.2 Modalità esecutive

La prova di estrazione consente di:

- valutare l'uniformità del calcestruzzo;
- stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera (definita come resistenza strutturale).

I centri delle posizioni di prova devono essere distanziati tra di loro di almeno 200 mm ed essere a 100 mm dal bordo del calcestruzzo. Gli inserti devono essere posizionati in modo che tutte le armature si trovino al di fuori della superficie di rottura conica prevista, ad una distanza pari almeno al diametro della barra di armatura o alla dimensione massima dell'aggregato quale che sia il valore maggiore.

6.5.3 Modalità di analisi e restituzione

I dati di prova dovranno essere restituiti su scheda con documentazione fotografica del punto di prova prima e dopo la prova; dovrà essere fornita anche documentazione fotografica del tassello estratto (con porzione residua del calcestruzzo).

6.5.4 Esempi di restituzione

Si riporta di seguito un esempio di restituzione delle prove di pull-out eseguite in corrispondenza di due diverse zone coperte da reti di protezione all'interno di una stessa galleria.

A12_GALLERIA MADONNA DELLA NEVE SINISTRA - PROVE PULL OUT					
$R_{ck} [MPa] = (0,743 \cdot P[bar] + 235,84)/10$					
ZONA	PK	ID PROVA	P _{estrazione} [bar]	R _{ck} [MPa]	MED
1	0+083	1	129	33.2	35.9
	0.087	2	194	38.0	
	0.+092	3	176	36.7	
2	0+103	4	166	35.9	35.2
	0+111	5	200	38.4	
	0+117	6	103	31.2	



6.6 PROVE CON MARTINETTO PIATTO SEMPLICE

I rivestimenti definitivi delle gallerie sono stati progettati per lavorare soggetti ad un determinato impegno statico in funzione delle condizioni al contorno definite in fase di progettazione originaria. Molto spesso, però, tali condizioni al contorno risultano oggi notevolmente mutate a causa della presenza di acqua e umidità, dovute principalmente all'assenza di impermeabilizzazione della calotta. Con la sua azione erosiva, infatti, l'acqua nel tempo produce il dilavamento del calcestruzzo di rivestimento e può causare importanti quadri fessurativi, nonché distacchi e vuoti. In altri casi, invece, aspetti legati ad una non perfetta esecuzione dei getti hanno comportato la presenza di zone vespaiose, disgregate o addirittura la presenza di vuoti e cavità, che chiaramente hanno compromesso la corretta risposta prestazionale del rivestimento.

In tutti questi casi, al fine di completare il quadro conoscitivo finalizzato a valutare il miglior intervento da attuare per risolvere le criticità emerse, risulta importante poter quantificare l'impegno statico attualmente richiesto e controllare anche la sua evoluzione nel tempo. A tale scopo, si è scelto di ricorrere a prove con martinetti piatti che, grazie alla loro modesta invasività e alla loro immediata restituzione, sono in grado di restituire lo stato tensionale agente nello strato corticale del rivestimento.

6.6.1 Metodologia di indagine e riferimenti normativi

L'indagine con il martinetto piatto singolo ha come obiettivo la restituzione dello stato tensionale cui è soggetto il rivestimento, quantomeno nella sua parte corticale. Essa consiste nell'eseguire un taglio in un elemento strutturale per poi applicare sulle superfici del taglio una pressione nota che porti al ripristino delle condizioni iniziali del corpo. L'esecuzione di un taglio piano in direzione normale alla superficie di un elemento provoca una richiusura dei lembi della fessura; introducendo un martinetto piano all'interno della fessura (ossia introducendo una tasca metallica molto sottile nella quale si può iniettare olio a pressione nota) è possibile riportare i lembi della fenditura nelle condizioni iniziali.

Dalla forza esercitata del martinetto per ripristinare la situazione iniziale è possibile individuare lo stato tensionale originariamente presente nella muratura (in situ stress).

La tensione in situ vale pertanto:

$$\sigma = P \cdot K_t \cdot K_m$$

Dove:

- P = Pressione del martinetto per la quale si recupera lo stato di sollecitazione antecedente il taglio;
- σ = Valore di sforzo calcolato;
- K_m = Costante adimensionale data dal rapporto tra area del martinetto ed area del taglio (<1);
- K_t = costante adimensionale che dipende dalla geometria e dalla rigidità del martinetto (<1);

Il valore della pressione effettivamente applicata viene definita mediante la seguente formula:

$$\sigma = P \cdot K_m (A_m/A_t)$$

dove:

- P = Pressione erogata ai martinetti;
- K_m = Valore medio dei 2 coefficienti di taratura dei martinetti;
- A_m = Area del martinetto;
- A_t = Valore medio delle 2 aree di taglio

Dal rapporto tra la tensione applicata e la deformazione misurata si ricava il valore del modulo elastico della muratura.

Per la prova vengono adottate abitualmente almeno tre basi estensimetriche "a cavallo" del taglio. In questo modo si ottiene una misura diretta della convergenza tra i due bordi del taglio, e la misura del suo annullamento, quando venga imposta nuovamente la tensione in situ.

La norma di riferimento per le prove con martinetti piatti è la ASTM D 4729 - 87 (1992) - Standard Test Method for In Situ Stress and Modulus of Deformation Using the Flatjack Method.



6.6.2 Caratteristiche delle attrezzature

Per le prove verrà impiegata la seguente attrezzatura e strumentazione:

- martinetti piatti semicircolari
- troncatrice elettrica o a scoppio
- centralina oleodinamica manuale o elettrica con manometro di precisione (classe 1)
- comparatore millesimale

6.6.3 Modalità esecutive

La metodologia prevede anzitutto l'esecuzione del taglio e la misura della convergenza della fessura, la cui entità viene rilevata attraverso misure di spostamento relativo fra due o più punti situati in posizione simmetrica rispetto allo stesso taglio tramite un trasduttore di spostamento. Inserito il martinetto piatto all'interno del taglio, esso viene portato gradualmente in pressione fino ad annullare la convergenza in precedenza misurata. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto sarà pari alla sollecitazione preesistente nella muratura, a meno di costanti che tengono conto del rapporto tra l'area del martinetto e quella del taglio praticato e di un coefficiente di rigidità del martinetto.

La prova si articola pertanto nelle seguenti fasi:

- Installazione dei riferimenti delle basi di misura
- Esecuzione delle misurazioni sulle basi con comparatore millesimale (lettura di zero)
- Esecuzione del taglio con troncatrice
- Misurazione delle basi immediatamente dopo il taglio
- Inserimento del martinetto piatto
- Misurazione delle basi estensimetriche
- Collegamento del martinetto piatto alla centralina oleodinamica
- incremento della pressione per step e corrispondente misura delle basi estensimetriche ad ogni step di incremento della pressione
- verifica della pressione di ripristino (corrispondenza tra lettura di zero delle basi – prima del taglio - e lettura alla pressione “di ripristino”)

6.6.4 Modalità di analisi e restituzione

La restituzione della prova dovrà comprendere quanto segue:

- dati di prova in formato tabellare
- grafico di time history di spostamenti e pressioni
- grafico spostamenti vs pressioni
- calcolo dei valori della tensione di esercizio
- documentazione fotografica idonea

6.6.5 Esempi di restituzione

Si riporta di seguito un esempio di restituzione di una prova con martinetto piatto condotta in corrispondenza di 4 sezioni della calotta a tre progressive di una stessa galleria.



PROVE DI STATO TENSIONALE SUPERFICIALE				
MARTINETTO PIATTO SEMPLICE				
CARATTERISTICHE DEL MARTINETTO PIATTO IMPIEGATO			POSIZIONE	
Tipo	SEMIOVALE			
Area (cm ²)	778.57			
Dimensioni(mm)	349*259*4.5			
Coef. di taratura (-)	0.86			
DATI IDENTIFICATIVI DELL'AREA DI PROVA				
Lungh. basi primarie	mm	250		
Superficie del taglio [At]	cm ²	900		
Coefficiente di forma [Ka]	0,86 - 0,9			
Coeff. di correzione di pressione [Kp]	0.87			
Galleria	Sezione	Paramento	Posizione	P ripristino (Mpa)
Campursone 20 m da imbocco galleria	1	destro	3	scarico
		destro	4	scarico
		sinistro	1	scarico
		sinistro	2	scarico
Campursone 65 m da imbocco galleria	2	destro	4	scarico
		destro	3	scarico
		sinistro	1	0.7
		sinistro	2	scarico
Campursone 20 m a fine galleria	3	destro	4	2.5
		destro	3	scarico
		sinistro	1	scarico
		sinistro	2	scarico

6.7 TOMOGRAFIA SISMICA

La tomografia sismica viene prevista qualora sia necessario eseguire indagini sull'ammasso a tergo del rivestimento o sull'ammasso costituente il setto tra i due fornice che ospitano le due carreggiate autostradali.

Nel primo caso viene eseguita tomografia sismica a paramento di galleria (quindi con posizioni di energizzazione e ricezione sismica nel medesimo fornice), mentre nel secondo caso vengono posizionati i ricevitori in un fornice e le sorgenti energia (meccaniche) sul paramento del fornice adiacente.

Lo scopo di questa tecnica d'indagine è di ricostruire un profilo sismo-stratigrafico lungo l'allineamento geofonico di investigazione: secondo i tempi di primo arrivo delle onde sismiche e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata è possibile dimensionare gli spessori dei sismo-strati attraversati dalla radiazione elastica e quindi ottenere una dettagliata perizia sismica della porzione di sottosuolo sottoposta ad indagine. I risultati che si ottengono, quindi, oltre alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, possono servire all'individuazione delle proprietà fisiche dei mezzi indagati, alla ricostruzione di faglie, superfici di scivolamento, etc, e alla determinazione della profondità del substrato roccioso e alla stima del suo grado di fratturazione.

6.7.1 Metodologia di indagine

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo, quali ad esempio l'interfaccia tra due mezzi a differente velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità).

La tomografia è una tecnica di ricostruzione per immagini che permette di caratterizzare un'area non accessibile per mezzo di impulsi di energia che attraversano l'area oggetto di indagine. I metodi di inversione



tomografica applicati a metodologie di prospezione sismica attiva permettono la definizione dei seguenti obiettivi:

- ricostruzione stratigrafica;
- caratterizzazione di contrasti di impedenza sismica (meccanica);
- caratterizzazione delle zone a gradiente di velocità o attenuazione;
- individuazione di faglie e fratture;

Misurando i tempi di arrivo o le ampiezze delle onde sismiche è possibile ottenere la distribuzione nel mezzo indagato di velocità sismica (modello di velocità) o attenuazione (modello cinematico); parametri che permettono di definire le caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

Il mezzo da ricostruire viene quindi discretizzato in un grid a elementi rettangolari (celle) in ciascuno dei quali il valore di smorzamento si suppone costante. Ricostruire una funzione attraverso il suo integrale comporta una soluzione non unica poiché un infinito numero di integrali possono essere misurati. Il numero di soluzioni può essere ridotto introducendo dei vincoli nel modello quali: limiti di velocità, limiti di gradiente delle velocità (damping), conoscenza delle strutture geologiche presenti nell'area, dimensioni e tipologia di celle da utilizzare nella ricostruzione.

La risoluzione delle sezioni tomografiche è proporzionale al numero e alla dimensione delle celle del grid ed è limitata dalla media della lunghezza d'onda del segnale che determina la dimensione minima della cella. Una anomalia può essere individuata solamente se l'effetto prodotto sul tempo di arrivo è maggiore della precisione della lettura del tempo di arrivo stesso.

6.7.2 Caratteristiche delle attrezzature

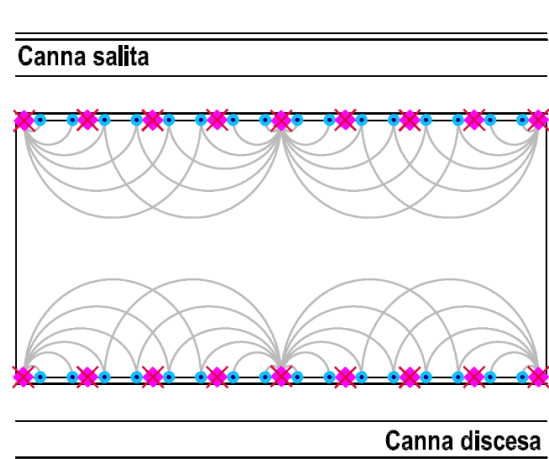
Può essere prevista la seguente attrezzatura di indagine:

- Sismografo 24 bit con possibilità di stacking, filtra analogici e digitali - minimo 144 canali
- Geofoni verticali e orizzontali con frequenza minima 10Hz
- Cavi geofonici schermati
- Sistema di energizzazione a paramento

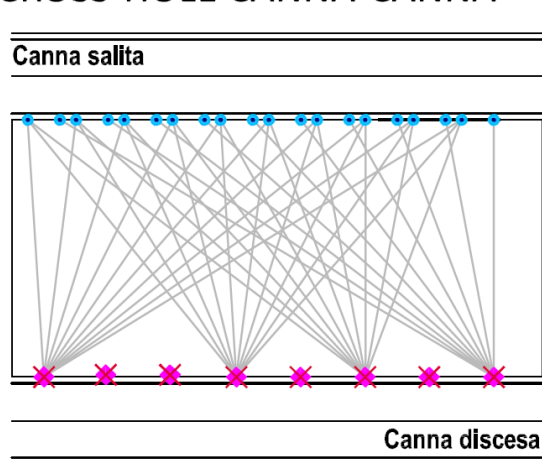
6.7.3 Modalità esecutive

Nelle figure di seguito vengono rappresentate le due possibili configurazioni geometriche (caso di canna singola e caso di analisi del setto tra due canne):

RIFRAZIONE A PARAMENTO



CROSS-HOLE CANNA-CANNA





6.7.4 Modalità di analisi e restituzione

Il rilievo sismico viene acquisito ed elaborato con tecnica tomografica. La fase di processing prevedono quindi i seguenti step:

Definizione dei tempi di arrivo

I dati acquisiti, sono stati analizzati e vengono determinati per ogni traccia i tempi di primo arrivo delle onde di compressione (P).

Elaborazione tomografica

Gli assunti di base di tale modellizzazione sono:

- i raggi sismici sono considerati come fronti d'onda sferici;
- il range di frequenza dell'impulso sismico è considerato finito (condizione rappresentativa della realtà);
- la perturbazione sismica indotta si propaga in uno spazio finito 3D (zona di Fresnel) attorno al raggio sismico.

L'analisi dei tempi di arrivo permette di definire il modello iniziale di velocità (gradiente), attraverso il quale calcolare i tempi di arrivo teorici delle onde sismiche. Calcolando i tempi residui (T_r), ossia la differenza tra tempo osservato e tempo calcolato, viene definita l'approssimazione del modello teorico al modello sperimentale.

Lo step successivo è dato dalla costruzione di un sistema di equazioni lineari che stabilisce la relazione tra i residui (T_r) e la variazione che deve essere apportata al modello iniziale di velocità per ottenere un modello quanto più possibile attendibile. L'iterazione del calcolo prosegue fino a quando la differenza tra tempi calcolati e tempi osservati risulta accettabile.

I risultati dell'inversione tomografica sono:

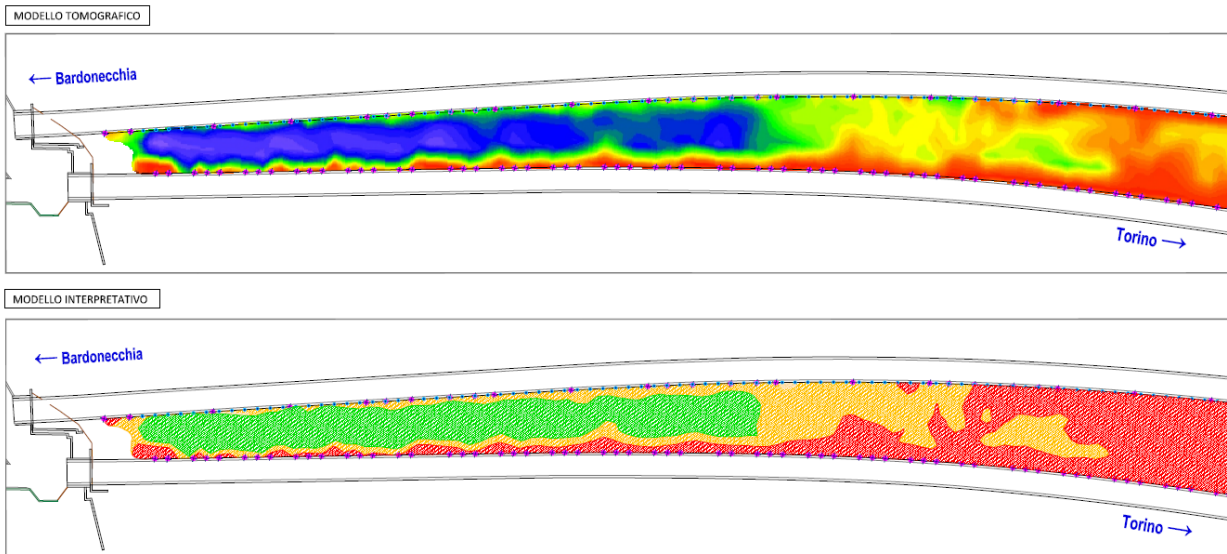
- matrici V_p ;
- dromocrone calcolate;
- valori di RMS dei tempi residui;
- matrice di copertura (coverage): copertura dei raggi sismici nello spazio indagato;
- matrice di risoluzione: scostamento del modello finale dal modello iniziale (variazione apportata dal processo tomografico al modello iniziale);
- matrice di inversione tomografica dei valori V_p per singola cella del modello

La restituzione dei dati avviene sia in forma numerica che in forma grafica:

- Forma numerica – vengono fornite le matrici di inversione della velocità P
- Forma grafica – rappresentazione grafica in scala di colore del parametro V_p elaborato (vedi figura seguente)

6.7.5 Esempi di restituzione

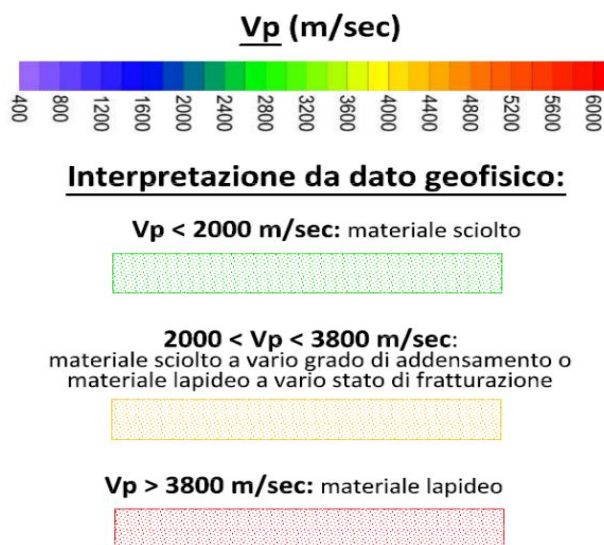
Si riporta di seguito un esempio di restituzione di un'indagine di tomografia sismica effettuato nella zona di ammasso compresa tra i due fornicci che ospitano ciascuno una carreggiata autostradale.



Nelle sezioni restituite è stato rappresentato:

- modello tomografico: mappatura in scala colore del parametro V_p (velocità onde sismiche compressionali)
- modello interpretativo: sezione interpretativa con individuazione di classi di velocità sismiche compressionali

Legenda



Nel modello tomografico la scala di colore rappresenta in scala colore (rainbow da blu a rosso) l'incremento dei valori di velocità sismica. L'incremento di tale parametro corrisponde ad un incremento delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso indagato.

Nel modello interpretativo i valori di velocità vengono consolidati in classi attribuite alle tipologie di materiale costituente l'ammasso.

L'indagine consente di verificare lo stato dell'ammasso compreso tra i due forni, la presenza di zone degradate dal punto di vista meccanico e l'eventuale presenza di lineamenti di debolezza (es. faglie).



6.8 ANALISI DEL PROCESSO LOGICO DI APPROFONDIMENTO DELLA CONOSCENZA - SEQUENZA DELLE FASI DI INDAGINE

La campagna diagnostica potrà eseguirsi in più step e fasi al fine di rispondere al meglio alle necessità degli ispettori e dei progettisti, e di utilizzare le varie metodologie di indagine per successivi affinamenti e integrazioni in modo da ottenere il pieno soddisfacimento degli obiettivi inizialmente prefissati.

La campagna di indagine potrà quindi essere articolata nei seguenti step:

1. Fase 1

rilievo laser scanner dell'intera galleria

2. Fase 2

- a. indagine georadar su profili longitudinali
 - i. n.3 profili per gallerie a 2 corsie
 - ii. n.5 profili per gallerie a 3 corsie
- b. elaborazione e restituzione delle informazioni rilevate in formato draft
- c. condivisione con Committente/ispettori/progettisti delle ulteriori indagini di approfondimento da effettuare e delle posizioni di taratura del georadar

3. Fase 3

- a. sezioni radar integrative – indagini su profili longitudinali di dettaglio o trasversali di correlazione tra profili trasversali
- b. sezioni georadar con antenna ad alta frequenza
 - i. profili longitudinali e/o trasversali in corrispondenza di zone con ammaloramenti superficiali
 - ii. profili di verifica nelle zone adiacenti alle zone coperte con reti
- c. fiorettature con videoendoscopie
 - i. verifica e taratura indagine georadar di fase 1
 - ii. analisi delle zone con reti di protezione
 - iii. analisi delle zone con ammaloramenti superficiali
- d. carotaggi e test di laboratorio
 - i. analisi statistica delle caratteristiche meccaniche del rivestimento
- e. pull-out
 - i. integrazione del dato da carotaggi
 - ii. analisi delle zone di fissaggio delle reti di protezione
- f. prove con martinetto piatto semplice
 - i. analisi dello stato tensionale del rivestimento nelle zone di galleria con maggior copertura
 - ii. analisi dello stato tensionale nelle zone con presenza di sottospessori del rivestimento e/o ammaloramenti in chiave di calotta
- g. tomografia sismica

4. Fase 4

Redazione documentazione conclusiva

6.8.1 Valutazione della sicurezza

Il raggiungimento di un adeguato livello di conoscenza della galleria consente di procedere alle analisi e verifiche di sicurezza del rivestimento, secondo i criteri e le prescrizioni del capitolo 8 delle NTC2018.

Tali ulteriori attività, saranno mirate a valutare se la struttura portante della galleria necessita o meno di interventi di rinforzo o miglioramento, che chiaramente hanno finalità diverse dagli interventi di risanamento delle difettosità rilevate mediante l'applicazione del sistema di valutazione IQOA illustrato nei paragrafi precedenti, che assume esclusivamente una funzione di metodologia di sorveglianza e classificazione difetti con eventuali interventi di ripristino localizzati.



La valutazione della sicurezza delle strutture, invece, partendo dallo stato di consistenza relazionato anche attraverso il sistema IQOA e le indagini di dettaglio illustrate nel presente documento, è finalizzata, mediante apposite analisi strutturali e relative verifiche, a raggiungere i seguenti obiettivi:

- Definire la prestazione (domanda) richiesta dalle vigenti normative;
- Definire la resistenza (capacità) della galleria, tenuto conto dei difetti riscontrati;
- Confrontare la domanda con la capacità, valutando così il raggiungimento degli standard di sicurezza normativi;
- Attuare adeguati interventi di mitigazione del rischio, qualora la capacità delle strutture risulti inferiore alla domanda, nelle more che siano progettati ed eseguiti i lavori di adeguamento e rinforzo