PROF. ING. CIRO CALIENDO

ORDINARIO DI STRADE, FERROVIE E AEROPORTI - UNISA

MEMBRO ESPERTO DEL CONSIGLIO SUPERIORE LAVORI PUBBLICI DEL MIT

Seminario

Modelli e metodi per l'analisi del rischio stradale in galleria

28 giugno 2023

Sede Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno

Riferimento normativo da cui discendono le LG e obiettivo

L'art. 49 del D.L. 79/2020 richiede alle linee guida di assicurare l'omogeneità della classificazione, gestione del rischio, valutazione della sicurezza e del monitoraggio delle gallerie esistenti della rete stradale e autostradale mediante indagini sullo stato di conservazione delle gallerie esistenti, ispezioni e programmazione di interventi di manutenzione e di messa in sicurezza delle stesse.

ITER PROCEDURALE

- Nomina di una Commissione Relatrice per la redazione delle Linee Guida da parte del CSLP.

- Approvazione delle LG da parte del CSLP.

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile del 1 agosto 2022.

Campo di applicazione

Le Linee Guida si applicano alle gallerie stradali esistenti, intese come opere in sotterraneo in cui una dimensione è prevalente sulle altre due, di lunghezza, superiore o uguale a 200 m per almeno uno dei fornici quando il sistema galleria presenta carreggiate separate, comprese le gallerie artificiali, le gallerie paramassi ed i sottopassi.

I sottopassi sono intesi limitatamente a quanto non già previsto dalle Linee Guida per la classificazione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti.

Per i trafori internazionali ricadenti lungo la rete transeuropea, le modalità e l'applicazione delle Linee Guida sulle gallerie sono demandate alle competenti Commissioni intergovernative .

Gestore

Gestore : soggetto che esplica i compiti richiamati dall'art. 14 del decreto legislativo n. 285/1992 (Nuovo Codice della Strada) tra i quali:

- la manutenzione, gestione e pulizia delle strade, delle loro pertinenze e arredo, nonché' delle attrezzature, impianti e servizi;
- il controllo tecnico dell'efficienza delle strade e relative pertinenze;
- il rilascio delle autorizzazioni e delle concessioni.

Il gestore, quindi, è identificabile nell'ente proprietario della strada o, per le strade in concessione, nel concessionario.

Per le gallerie < 200 m, il gestore valuterà caso per caso una adozione parziale delle presenti Linee guida.

Per i sottopassi, con riferimento alle problematiche di natura idraulica, le Linee guida si applicano anche per lunghezze inferiori ai 200 m.

Altre Norme

Le Linee guida hanno carattere complementare alle altre norme che afferiscono alla sicurezza stradale tra cui:

Decreto legislativo 15 marzo 2011, n. 35 e successive modifiche e integrazioni D.L. 2013/2021

Decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264 sulla sicurezza antincendio applicabile alle gallerie stradali delle rete transeuropea di lunghezza > 500 m.

I gestori provvederanno ad armonizzare le attività d indagine, ispezione e manutenzione, che afferiscono alle differenti normative.

Obiettivo principale

Le LG illustrano una procedura per la gestione delle attività finalizzate a prevenire livelli inadeguati di danno che incidono sulla sicurezza dell'opera.

Essa è composta da tre parti, il 1) censimento (o stato della conoscenza dell'opera), 2) la classificazione preliminare del rischio (classe di attenzione), 3) la valutazione della sicurezza (di tipo preliminare e accurata), nonché la sorveglianza e il monitoraggio.

La LG si inquadra in un approccio multilivello che dal censimento dell'opera (o livello di conoscenza) perviene sulla base delle ispezioni iniziali alla determinazione di una classe di attenzione sulla base della quale si perverrà alla valutazione della sicurezza (riferita dissesti locali e/o globali), cui dovrà seguire la programmazione degli interventi e dei piani di sorveglianza.

Livelli

- **Livello 0** prevede il censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali nonché la raccolta delle informazioni e della documentazione disponibili, anche in relazione a rilievi e prove già effettuati, con giudizio esperto sul grado delle conoscenze disponibili e individuazione preliminare degli indicatori di pericolosità per ciascuna galleria.

-**Livello 1**, esteso alle opere censite a Livello 0, prevede l'esecuzione di ispezioni iniziali della struttura, di rilevanza strutturale e non strutturale, e delle caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche ed idrauliche dell'area, nonché stradali.

- Il **Livello 2** consente di giungere alla classe di attenzione di ogni galleria, sulla base dei parametri di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati elaborando i risultati ottenuti dai livelli precedenti.
La Classe di attenzione è qualificata secondo un indice di diffusione, espresso in % della lunghezza della galleria.

Livelli

-. **Livello 3** prevede l'esecuzione di valutazioni preliminari atte a comprendere il livello di sicurezza nei confronti dei possibili dissesti locali che interessano il rivestimento della galleria, e quelli relativi all'interazione del rivestimento con le formazioni naturali attraversate

- **Livello 4** prevede l'esecuzione di valutazioni accurate della sicurezza della galleria nei confronti delle azioni agenti e di fattori esterni all'ambiente galleria, tenendo in debito conto quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti.

Il **Livello 5** (non trattato nella LG) si applica a gallerie considerate di significativa importanza all'interno della rete di stradale. Per tali opere è utile svolgere analisi più sofisticate quali quelle di resilienza, valutando la rilevanza trasportistica, analizzando l'interazione tra la struttura e la rete stradale di appartenenza e le conseguenze di una possibile interruzione dell'esercizio della galleria sul contesto socioeconomico in cui essa è inserita.

Classi di attenzione (sulla base del livello 2)

Sulla base dei risultati di cui al **Livello 2**, si definiscono le Classi di Attenzione.
La Classe di Attenzione (CdA), è definita in funzione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, in

alta,

medio-alta,

medio-bassa

bassa

Ad ogni CdA corrispondono conseguenti azioni, in termini di indagini, monitoraggio, verifiche, graduate in relazione all'indice di diffusione.

Livelli

- Per le gallerie con Classe di Attenzione Alta è previsto, ispezioni approfondite, e l'immediato avvio di valutazioni accurate sia in termini di sicurezza (Livello 4) sia di approfondimenti sulle caratteristiche idrauliche, geologiche, geotecniche e/o strutturali, stradali.

- Per le gallerie con Classe di Attenzione Medio-Alta è prevista l'esecuzione di ispezioni sia ordinarie sia approfondite. Sulla base delle ispezioni è previsto l'impiego di valutazioni preliminari di sicurezza (Livello 3) o valutazioni approfondite di sicurezza (Livello 4).

- Per le gallerie in CdA Medio-Bassa e Bassa sono previste ispezioni periodiche.

Frequenza ispezioni

Tabella 7.2 – Frequenza delle ispezioni

Ispezione	*Classe di Attenzione e intervallo ispezione*			
	BASSA	MEDIO BASSA	MEDIO ALTA	ALTA
Iniziale	all'avvio della procedura di cui al Livello 1			
Approfondita	max 6 anni	max 4 anni	max 2 anni	max 1 anno
Periodica ordinaria	max 1 anno	max 6 mesi	max 3 mesi	max 2 mesi
Straordinaria (a seguito di eventi)	in occasione di evento di rilievo			

Livello 0 (censimento o stato di conoscenza)

Il Livello 0 dell'approccio multilivello consiste nel catalogare le opere ricadenti nell'ambito di applicazione delle LG, al fine di conoscere il numero di strutture da gestire e le loro caratteristiche principali, sia in relazione a geometria ed elementi strutturali e alle analisi già effettuate su di esse ai fini della conoscenza dello stato di conservazione.

La raccolta dei dati inerente il censimento da parte degli enti gestori, come previsto dal sistema AINOP, permette altresì di creare un database digitale delle gallerie esistenti .

Livello 0 (censimento o stato di conoscenza)

LIVELLO 0 **Scheda di censimento – conoscenza galleria**

MIMS
Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

LIVELLO 0 Scheda di censimento galleria – **Parte 1**

Dati di inquadramento dell'opera ed informazioni necessarie alla definizione delle classi di attenzione

Scheda fornice n. _____ ○ Unidirezionale (direzione: _____) ○ Bidirezionale

Codice IOP _____ **Nome Galleria/paramassi/sottopasso** _____

Strada di appartenenza: _____ **Progressiva km iniziale:** _____ **Progressiva km finale:** _____

Localizzazione

Provincia/Regione: _____

Comune: _____

Località: _____

Coordinate Geografiche		
○ ETRF2000 ○ WGS84	Iniziale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
	Finale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____

Informazioni generali

Proprietario _____

Concessionario _____

Ente vigilante _____

Anno di costruzione/ ristrutturazione	**Ultimazione costruzione (collaudo)**	**Eventuale ultimo intervento di manutenzione significativo***
	○ Effettivo	○ Effettivo
	○ Presunto	○ Presunto

** Occorre valutare la tipologia dell'intervento e la sua efficacia nel riparare i difetti o i danneggiamenti conseguenti ai fenomeni di degrado. Questo influirà sulla definizione della classe di attenzione dell'opera secondo quanto riportato al §4 delle Linee Guida.*

Livello 0 (censimento o stato di conoscenza)

Dati di progetto

Progettista _____

Norma di progetto _____ *Anno di approvazione* _____

Ente approvatore _____

Anno di progettazione	Data inizio	Data fine	Data approvazione
	○ Effettivo	○ Effettivo	○ Effettivo
	○ Presunto	○ Presunto	○ Presunto

Tipologia di opera e classificazione d'uso stradale

Tipologia di opera*

○ Galleria ○ Paramassi ○ Sottopasso

* Secondo definizione di cui al Glossario.

Classificazione d'uso stradale

○ Autostrada extraurbana	○ Autostrada urbana	○ Strada extraurbana principale
○ Strada extraurbana secondaria	○ Strada urbana di scorrimento	○ Strada urbana di quartiere
○ Strada locale extraurbana	○ Strada locale urbana	

$V_{MAX\ Progetto}$ [km/h] _____

CCR (Curvature Change Rate) [deg/km] _____

Aspetti geologici e idrogeologici

Posizione morfologica

○ Galleria di base	○ Galleria di base profonda (> 500 m)
○ Galleria parietale	○ Galleria parietale - pendio ripido (> 25°)
○ Galleria di valico	○ Galleria superficiale in zona urbana
○ Galleria artificiale pianura	○ Galleria artificiale pendio

Livello 1

Il Livello 1 dell'approccio multilivello prevede l'esecuzione di ispezioni iniziali su tutte le opere catalogate nel censimento di Livello 0.

Le ispezioni iniziali sono finalizzate a raccogliere ulteriori informazioni sulle caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera seppur in maniera speditiva.

Esse forniscono una descrizione quanto più oggettiva possibile mediante un accurato rilievo fotografico, il rilievo di grandezze geometriche e il rilievo dei principali fenomeni di degrado presenti.

Le ispezioni iniziali richiedono l'esame dell'intradosso della galleria e di ogni suo elemento. A tal proposito, si consideri la possibilità di una pulizia iniziale delle superfici, sì da garantire un efficace rilievo degli eventuali ammaloramenti, lesioni ed infiltrazioni.

L'ispezione dovrà comprendere anche le zone di accesso della galleria e gli elementi non strutturali, per esempio la strada, e quelli associati alla installazione di impianti, segnaletica verticale, ecc.

L'esame della documentazione disponibile ed i riscontri visivi, dovranno consentire di pervenire ad un primo inquadramento delle problematiche di interesse.

Le schede devono essere redatte per ogni tratto di galleria omogeneo, indicativamente secondo conci di sviluppo in lunghezza dell'ordine di 20 m.

Per ciascun concio sarà predisposta la mappatura geometrica, secondo una maglia quadrata dell'ordine del metro o secondo altro sistema geometricamente referenziato, su cui saranno riferite le varie informazioni progressivamente acquisite nel tempo.

Livello 1 (schede di difettosità)

Ogni scheda di difettosità riporta, oltre l'identificazione della galleria, un elenco dei difetti tipici rilevati a seguito di ispezioni.

L'estensione del difetto è espressa dal coefficiente k1 variabile da 0,2 e 1,0.

L'intensità del difetto stesso, mediante il coefficiente k2, anch'esso variabile tra 0,2 e 1,0.

Ad ognuno dei difetti è associato, mediante **giudizio esperto, un peso (G),** variabile da 1 a 4:
difetti meno gravi hanno peso G= 1,
i difetti più gravi hanno peso G = 4.

Per i difetti di gravità più elevata (di peso G=3 e G=4) si può segnalare col simbolo «PS g" un difetto che pregiudica la statica "globale" dell'opera, o con "PS l" un difetto che puo' portare a crisi locali della struttura dell'opera.

Livello 1

- La dizione NA è usata nel caso in cui il difetto non sia applicabile alla tipologia di manufatto ed elemento in esame;
- La dizione NR è usata se il difetto non si può rilevare mediante ispezione visiva (es. parte di struttura non accessibile,
ecc.);
- La dizione NP è usata se il difetto non è presente.

- Nella colonna "*N° foto*" si riporta la numerazione digitale delle foto effettuate allo specifico difetto. Queste ultime sono adeguatamente catalogate, numerate e provviste di didascalie, riportanti la tipologia di difetto che si intende rappresentare localizzato e geometricamente referenziato nel complesso strutturale.

Infine, in ogni scheda è presente un apposito spazio per riportare eventuali note e osservazioni.

Criteri per la valutazione del livello di difettosità: GRAVITA' G

- Difetto di gravita alta (G=4): tipologia di difetto che può portare, in funzione della sua localizzazione intensità ed estensione, al collasso dell'intera struttura, di una porzione di essa o di un suo elemento;

- Difetto di gravità medio-alta (G=3): tipologia di difetto che può portare, in funzione della sua localizzazione intensità ed estensione, alla perdita di funzionalità dell'intera struttura, di una porzione di essa o di un suo elemento;

- Difetto di gravità medio-bassa (G=2): tipologia di difetto che può portare alla necessità di effettuare interventi di manutenzione straordinaria;

- Difetto di gravità bassa (G=1): tipologia di difetto che può portare alla necessità di effettuare interventi di manutenzione ordinaria;

Criteri per la valutazione del livello di difettosità: ESTENZIONE K1

Estensione (k1), intesa come diffusione spaziale del difetto, che può essere a sua volta ricondotta sostanzialmente a
due distinti casi:
- *Difetto con sviluppo lineare (fessure, lesioni, difetti in corrispondenza dei giunti, …) in cui il parametro k1 può essere quantificato valutando criticamente il seguente rapporto:*
$k1 = lunghezza\ complessiva\ del\ difetto/\ lunghezza\ del\ concio\ di\ riferimento$.

- *Difetto con sviluppo areale (Deformazioni, deterioramenti, distacchi, …) in cui il parametro k1 può essere quantificato valutando*
criticamente il seguente rapporto:
$k1 = area\ complessiva\ del\ difetto/\ area\ del\ concio\ di\ riferimento$
In particolare, al termine "estensione bassa" corrisponde un valore di k1 pari a 0.2; per "estensione media" si intende un valore di k1 pari a 0.5; al termine "estensione alta" corrisponde un valore di k1 pari a 1.

Per lunghezza del concio si intende il tratto di galleria omogeneo, indicativamente di lunghezza dell'ordine di 20 m, preso a riferimento durante l'ispezione.

Criteri per la valutazione del livello di difettosità: INTENSITA' K2

Intensità (k2), intesa come magnitudo di un parametro rappresentativo del difetto stesso.

A "intensità bassa" corrisponde un valore di k2 pari a 0,2;
A "intensità media" si intende un valore di k2 pari a 0,5;
A "intensità alta" corrisponde un valore di k2 pari a 1.

Alcune casistiche per la valutazione del valore di intensità possono essere per esempio:

- Venute d'acqua: da tracce di venute d'acqua (intensità bassa) a venute d'acqua continua e abbondante (intensità elevata);

- Distacchi di blocchi di roccia alterata: da potenziali distacchi di limitata volumetria (intensità bassa) a potenzialità di distacchi di grande volumetria (intensità alta);

- Fessure di vario tipo: da fessure serrate (intensità bassa) a fessure aperte (intensità alta);

- Presenza di vuoti: da cavità di piccole dimensioni rispetto allo spessore del rivestimento (intensità bassa) a singole cavità di grandi dimensioni (intensità elevata).

Schede di Valutazione dei Difetti

Difetti relativi alla struttura	
1	Difetti causati dalla presenza di acqua
	Difetti causati dal terreno circostante
	Deterioramenti nelle sezioni non rivestite
	Difetti dei materiali di rivestimento (pietra o muratura)
	Difetti dei materiali di rivestimento (calcestruzzo)
2	Difetti del sistema di impermebilizzazione, drenaggio e raccolta acque superficiali
3	Difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria - fessure
	Difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria - deformazioni
	Difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria - difetti costruttivi
	Difetti associati al fuoco
	Difetti associati alla scarsa manutenzione
4	**Difetti relativi alla piattaforma stradale o autostradale**
5	**Difetti relativi agli elementi non strutturali e impianti**

OCCORRE COMPILARE LE SCHEDE DI RILIEVO DEI DIFETTI PER OGNI SINGOLO CONCIO/SEZIONE, OPPORTUNAMENTE IDENTIFICATO.

Legenda		
PS g	Pregiudica Statica Globale	*spuntare se si ritiene che la presenza del difetto possa compromettere la statica globale dell'opera (per i difetti di gravità 3 e 4)*
PS l	Pregiudica Statica Locale	*spuntare se si ritiene che la presenza del difetto possa compromettere la statica locale dell'opera e pregiudicare la sicurezza degli utenti.*
NA	Non Applicabile	*spuntare se il difetto non è applicabile alla tipologia di manufatto in esame*
NR	Non Rilevabile	*spuntare se il difetto non si può rilevare mediante ispezione visiva (es. per presenza di vegetazione invasiva, zone non accessibili, ecc.)*
NP	Non Presente	*spuntare se il difetto non è stato rilevato*
N° FOTO		*Si riporti la numerazione digitale delle foto effettuate allo specifico difetto. Queste ultime sono adeguatamente catalogate, numerate e provviste di didascalie, riportanti la tipologia di difetto che si intende rappresentare e la sua localizzazione nel complesso strutturale; è necessaria, inoltre, una mappatura dei punti di ripresa fotografici.*

Scheda Ispezione Gallerie di Livello 1

1	**Difetti relativi alla struttura**	Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____
	Nome galleria _____	Tecnico incaricato: _____ Data ispezione: __ / __ /____
	IDENTIFICATIVO CONCIO/SEZIONE: _____	

Codice difetto	Descrizione difetto	G	Estensione K_1			Intensità K_2			N° foto	PS g	PS l	NA	NR	NP	Note
			0,2	0,5	1	0,2	0,5	1							
Difetti causati dalla presenza di acqua															
1.	Infiltrazioni e/o venute d'acqua	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
2.	Concrezioni - depositi - incrostazioni	1	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
3.	Effetti del gelo - tracce di Sali	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.	Efflorescenze su malta o calcestruzzo	1	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
Difetti causati dal terreno circostante															
5.	Vuoti e cavità	3	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
6.	Deterioramento dei portali di imbocco	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
7.	Instabilità dei pendii	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
Deterioramenti nelle sezioni non rivestite															
8.	Distacco di blocchi da roccia alterata	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
9.	Distacco di porzioni da roccia stratificata	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
Difetti dei materiali di rivestimento (pietra o muratura)															
10.	Deterioramento superficiale a nido d'ape	1	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
11.	Desquamazione	1	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
12.	Esfoliazione	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
1.13	Distaccamenti dovuti a carichi di compressione	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
14.	Deterioramento dei letti di malta	3	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
Difetti dei materiali di rivestimento (calcestruzzo)															
15.	Scheggiatura - distacchi	1	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
16.	Rigonfiamenti	3	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
1.17	Lesioni e distacchi per carichi di compressione	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
1.18	Lesioni e distacchi per corrosione delle armature	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
1.19	Deterioramento del calcestruzzo proiettato	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
Eventuali note															

Scheda Ispezione Gallerie di Livello 1

2	**Difetti relativi alla struttura** Strada di appartenenza: _____ _____ Progressiva km: _____ Nome galleria _____ Tecnico incaricato: _____ Data ispezione: __ / __ /_____
	IDENTIFICATIVO CONCIO/SEZIONE: _____

Codice difetto	Descrizione difetto	G	Estensione K_1			Intensità K_2			N° foto	PS g	PS l	NA	NR	NP	Note
			0,2	0,5	1	0,2	0,5	1							
Difetti del sistema di impermeabilizzazione, drenaggio e raccolta acque superficiali			☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
2.1	Insufficienza del sistema di smaltimento delle acque	**3**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐				
2.2	Deterioramento del drenaggio di intradosso	**2**													
2.3	Deterioramento del sistema di drenaggio e raccolta delle acque a tergo del rivestimento di calotta	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐				
2.4	Deterioramento del sistema di raccolta delle acque della piattaforma autostradale	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐				
2.5	Deterioramento delle membrane impermeabilizzanti all'estradosso del rivestimento definitivo	**1**	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐	☐ ☐			☐ ☐				
2.6	Deterioramento degli schermi di protezione (onduline)	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐				
2.7	Rigonfiamento della membrana impermeabile all'intradosso	**2**													
2.8	Deterioramento dei rivestimenti in malta all'intradosso	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐				
2.9	Deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐				
2.10	Deterioramento dei waterstop costituiti da cordoli idroespansivi	**1**													
Eventuali note															

Scheda Ispezione Gallerie di Livello 1

3	**Difetti relativi alla struttura**	Strada di appartenenza: _____ Progressiva km: _____
	Nome galleria _____	Tecnico incaricato: _____ Data ispezione: __ / __ /____
	IDENTIFICATIVO CONCIO/SEZIONE: _____	

Codice difetto	Descrizione difetto	G	Estensione K_1			Intensità K_2			N° foto	PS g	PS l	NA	NR	NP	Note
			0,2	0,5	1	0,2	0,5	1							
Difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria - fessure															
1.	Fessure orizzontali	**3**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
2.	Fessure diagonali	**3**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
3.	Fessure verticali	**3**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
4.	Fessure da ritiro	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
5.	Fessure curvilinee	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
Difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria - deformazioni															
3.6	Abbassamento in chiave - deformazione simmetrica - deformazione asimmetrica	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
3.7	Imbozzamento localizzato	**3**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
3.8	Disassamento dei conci murari	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
9.	Deterioramento dell'arco rovescio	**4**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
10.	Rottura dell'arco (reni, calotta)	**4**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
Difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria - difetti costruttivi															
3.11	Scavo localizzato per cariche esplosive instabile	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
3.12	Presenza di vuoti in prossimità dell'intradosso del rivestimento	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
3.13	Sgretolamenti - vespai	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
3.14	Deterioramento dei giunti in calcestruzzo	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
3.15	Difetti della superficie nel calcestruzzo	**1**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
Difetti associati al fuoco															
3.16	Danneggiamenti dovuti ad incendio	**4**	☐	☐	☐	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	
Difetti associati alla scarsa manutenzione															
3.17	Scarsa manutenzione, ripristini ammalorati, canalette ammalorate o inefficienti	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
Eventuali note															

Livello 1- Schede dei difetti stradali.

Scheda Ispezione Gallerie di Livello 1

4	Difetti relativi alla piattaforma stradale/autostradale Nome galleria_____ Progr. km: _____
	Strada di appartenenza: _____ Tecnico incaricato_____ Data ispezione: __/__/____
	IDENTIFICATIVO CONCIO/SEZIONE: _____

Codice difetto	Descrizione difetto	G	Estensione K_1			Intensità K_2			N° foto	PS g	PS l	NA	NR	NP	Note
			0,2	0,5	1	0,2	0,5	1							
4.1	Ondulazioni longitudinali	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.2	Ondulazioni trasversali	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.3	Avvallamenti di vaste superfici	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.4	Depressioni localizzate	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.5	Fessurazioni longitudinali	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.6	Fessurazioni ramificate	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.7	Presenza di buche	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.8	Risalita sul piano viabile di materiale	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.9	Dissesti ai giunti delle sovrastrutture in calcestruzzo	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.10	Dissesti della lastra in calcestruzzo	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.11	Riduzione dell'aderenza	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.12	Dissesti della banchina dx	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.13	Dissesti della banchina sx	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.14	Dissesti del marciapiede dx	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.15	Dissesti del marciapiede sx	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.16	Disallineamento segnaletica orizzontale	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
4.17	Disallineamento segnaletica verticale	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
Eventuali note															

Scheda Ispezione Gallerie di Livello 1

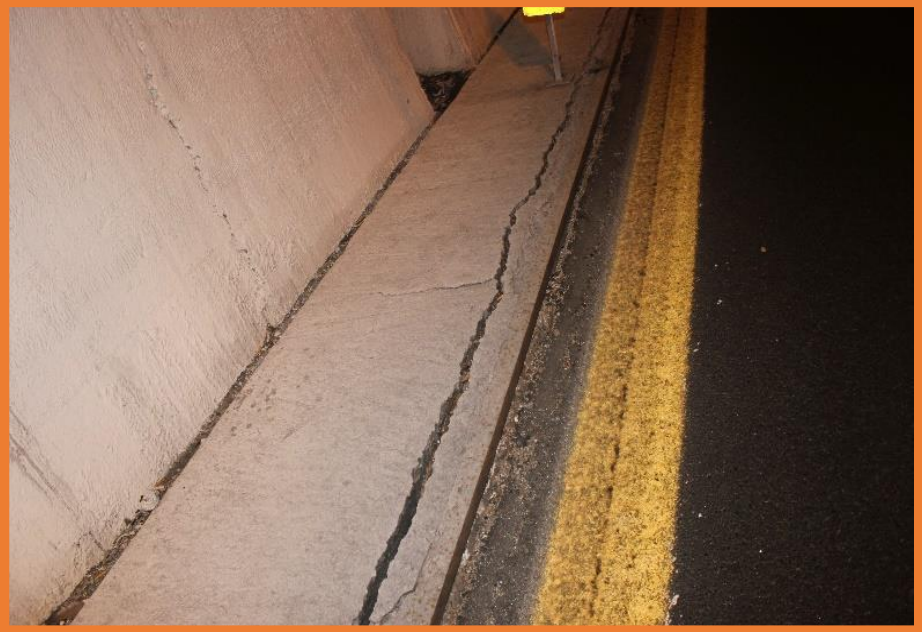
5	**Difetti relativi agli elementi non strutturali e impianti** Nome galleria _____Progr. km: _____
	Strada di appartenenza: _____ Tecnico incaricato_____ Data ispezione: __ / __ /____
	IDENTIFICATIVO CONCIO/SEZIONE: _____

Codice difetto	Descrizione difetto	G	Estensione K_1			Intensità K_2			N° foto	PS g	PS l	NA	NR	NP	Note
			0,2	0,5	1	0,2	0,5	1							
5.1	Deterioramento di lastre e tamponature	**2**	☐	☐	☐	☐	☐	☐			☐	☐	☐	☐	
Eventuali note															

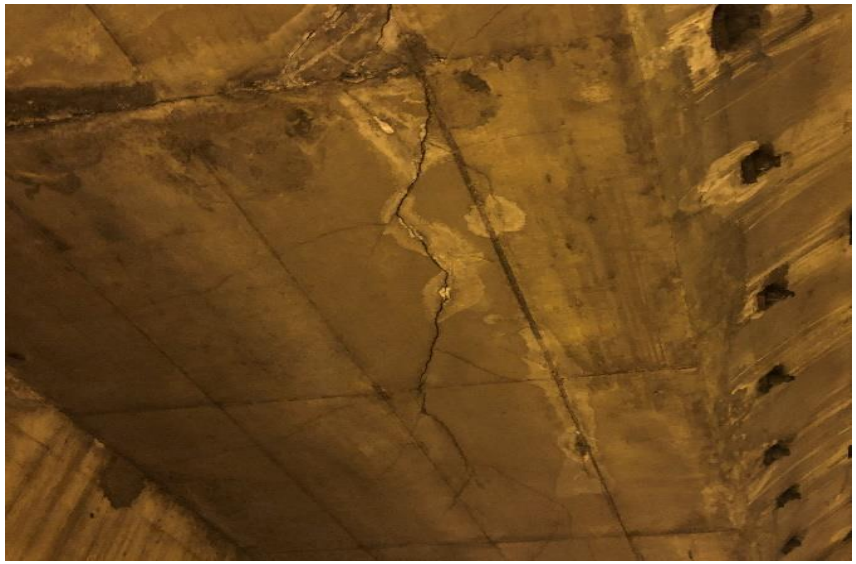
Esempi di difetti del piano viabile

Esempi di difetti del piano viabile

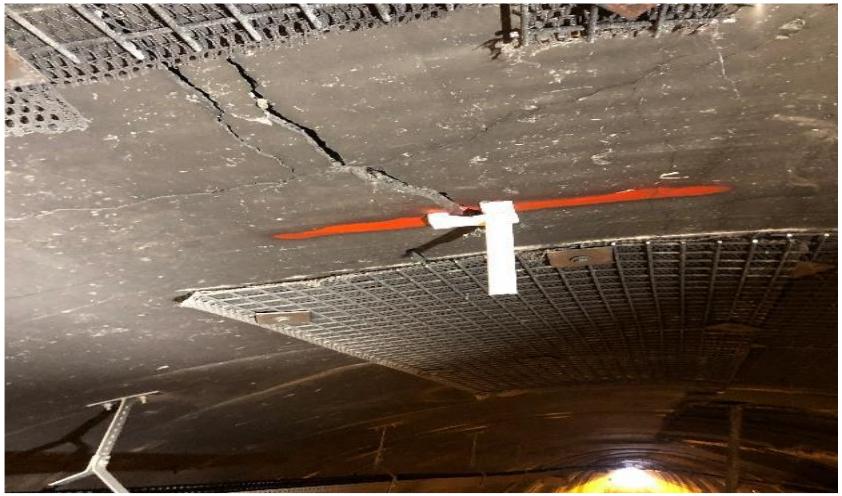
Esempi di difetti del piano viabile



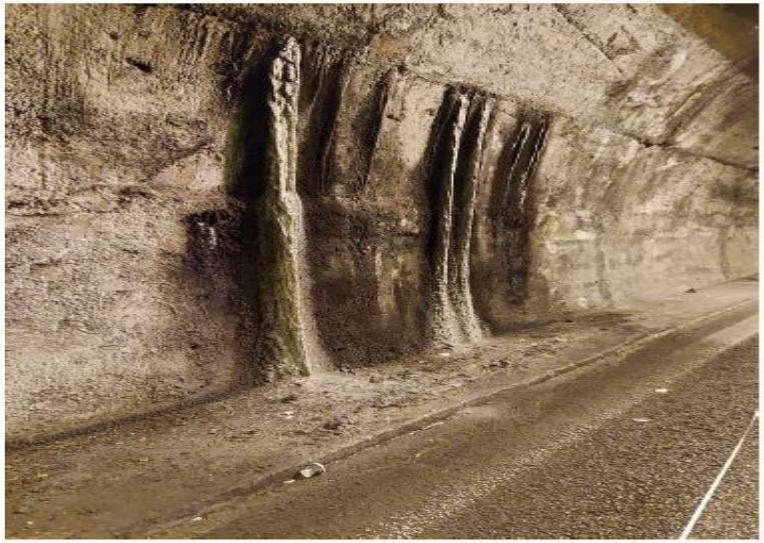
Esempi di fessurazione del rivestimento



Esempi di distacco del rivestimento e problematiche agli imbocchi



Esempi di difetti dovuti alla presenza dell’acqua



Livello 2 – Rischi e Classi di Attenzione

N. 4 Classi di Attenzione:

- Alta
- Media-Alta
- Medio-Bassa
- Bassa

Il valore della Classe di Attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della :
pericolosità,
esposizione,
vulnerabilità
effettuata sulla base del quadro di conoscenze già disponibili (livello 0) e dalle ispezioni del Livello 1.

Tipologie di Classe di Attenzione: sono valutate prima in maniera separata ed indipendente, distinguendo:
- Classe di Attenzione strutturale "globale" e geotecnica;
- Classe di attenzione strutturale "locale";
- Classe di Attenzione sismica;
- Classe di Attenzione stradale;
- Classe di Attenzione geologica associata al rischio frane;
-Classe di Attenzione idraulica.

E poi valutando una Classe di Attenzione Complessiva combinando ciascuna delle Classi di Attenzione.

Livello 2- Struttura delle Classi di Attenzione.

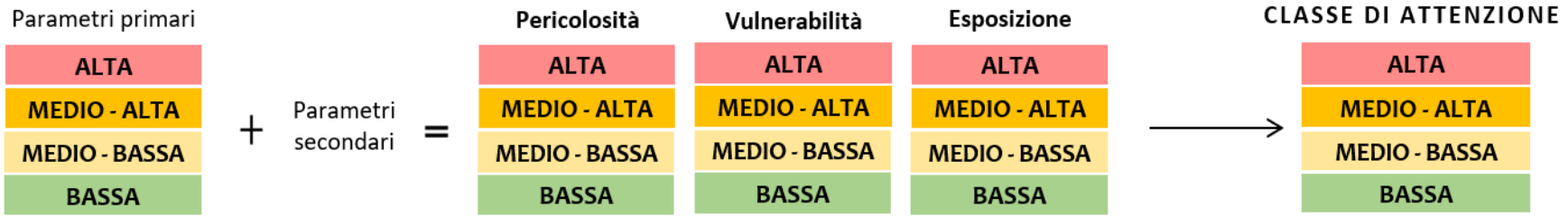
La definizione di ciascuna Classe di Attenzione è il risultato della combinazione di tre fattori principali: pericolosità, vulnerabilità, esposizione.

Tali fattori sono a loro volta determinati considerando i principali parametri che li influenzano. Questi ultimi sono distinti in "parametri primari" e "parametri secondari".

A seconda del valore dei parametri primari si individuano 4 classi : bassa, medio-bassa, medio-alta e alta.

Tali classi sono poi corrette in funzione dei parametri secondari.

Si individuano, quindi, le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, divise a loro volta nelle 4 classi previste (bassa, medio-bassa, medio-alta, alta) e combinando le classi dei parametri primari e secondari secondo le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione si ottiene 1 delle 4 classi di attenzione come riportato in figura seguente:



Parametri primari e secondari per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio stradale

	Parametri primari	**Parametri secondari**
Pericolosità	Incidenti stradali	Incendi
Vulnerabilità	Livello di difettosità del piano viabile. Materiali.	Rapidità di evoluzione del degrado. Norme di progettazione.
Esposizione	Livello del TGM Lunghezza della galleria	Veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t) Veicoli che trasportano merci pericolose Velocità massima di progetto. Itinerari alternativi

Classe di pericolosità stradale

Pericolosità stradale: sconfigurazione del piano viabile

Causa: spostamenti/cedimenti del sistema galleria

Conseguenze: - probabilità di incidenti da traffico (parametri principali)
- eventuali incendi (parametri secondari) in caso di più severe collisioni tra veicoli o contro ostacoli fissi interni alla struttura

L'indicatore di pericolosità stradale:
tasso di incidentalità espresso in incidenti/10^8 veicoli-km.

Classe di pericolosità stradale

Una galleria più lunga (a parità di tutte le altre condizioni) potrebbe presentare un maggiore livello di rischio di incidentalità.

E' utile classificare le gallerie in funzione della loro lunghezza:

Classe A	**L ≥ 3000 m**
Classe B	1000m ≤ L < 3000m
Classe C	500m ≤ L < 1000m
Classe D	L < 500 m

A parità di lunghezza, una galleria con un tracciato tortuoso (espresso per esempio attraverso il CCR = Curvature Change Rate) potrebbe essere più rischiosa.

Combinando lunghezza e tortuosità si possono definire delle classi di pericolosità.

	TORTUOSITA' DEL TRACCIATO DELLA GALLERIA		
	Alta	Media	Bassa
CLASSE A	ALTA	ALTA	ALTA
CLASSE B	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA
CLASSE C	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
CLASSE D	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA

Classi di vulnerabilità stradale

Vulnerabilità stradale

- parametri principali: tipo di difettosità del piano viabile, estensione, intensità;
- parametri secondari: rapidità di evoluzione del degrado, interventi di manutenzione e/o di rifacimento.

Indicatore del livello di difettosità del piano viabile (parametro primario):
l'IRI (International Roughness Index) espresso in mm/m

Il livello di difettosità è valutabile dal rilievo dei difetti:

- con indagini speditive (previsto al Livello 1 dell'approccio multilivello nella Scheda 4 di difettosità stradale)
- oppure se necessario da misure ad alto rendimento

Il livello di difettosità può essere classificato in 4 classi in funzione della gravità, estensione, intensità sulla sicurezza della circolazione veicolare

Livelli di difettosità stradali

ALTA	**Difetti di gravità alta del piano viabile e di qualsiasi estensione e intensità la cui presenza può essere con-causa nel compromettere la sicurezza degli utenti con alti livelli di severità degli incidenti.**
MEDIO-ALTA	Difetti di gravità medio-alta ed estensione e intensità elevata sul piano viabile, la cui presenza può contribuire a compromettere la sicurezza della circolazione con un ascrivibile medio-alto livello di severità degli incidenti.
MEDIO-BASSA	Difetti di gravità medio-bassa con intensità ed estensione medio-bassa, la cui presenza può contribuire a compromettere la sicurezza della circolazione con livelli di severità medio- bassi degli incidenti.
BASSA	Difetti di gravità bassa di qualsiasi estensione e intensità che non contribuiscono in maniera significativa come con-causa nel compromettere la sicurezza degli utenti.

Classi di vulnerabilità stradale

La vulnerabilità del piano viabile dipenderà anche da:
resistenza strutturale della sovrastruttura stradale (spessori degli strati, caratteristiche dei materiali impiegati e portanza del sottofondo).

Vulnerabilità più alta per sovrastrutture con minore resistenza strutturale oppure maggiore sensibilità al degrado.

A parità di caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, in *Tabella* è riportata la classe di vulnerabilità proposta per tipologia di sovrastruttura (flessibile, semirigida, rigida a lastre, rigida ad armatura continua) e spessore (S) dei singoli strati della sovrastruttura stradale.

Tipologia di sovrastruttura	Materiale	S ≤ 15 cm	15 < S ≤ 25 cm	25 < S ≤ 35cm	35 < S ≤ 45cm
Flessibile	Conglomerato bituminoso	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
	Misto granulare	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
Semirigida	Conglomerato bituminoso	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
	Misto cementato	MEDIO-ALTA	MEDIO- BASSA	BASSA	BASSA
	Misto granulare	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
Rigida in cls a lastre giuntate	Conglomerato cementizio	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
	Misto cementato	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
	Misto granulare	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
Rigida in cls ad armatura continua	Conglomerato cementizio armato	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
	Misto cementato	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA
	Misto granulare	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA

CLASSE DI ESPOSIZIONE STRADALE

La stima del livello di esposizione è basata su:

- parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM), lunghezza della galleria;
- combinando la lunghezza col traffico si possono definire le classi di esposizione.

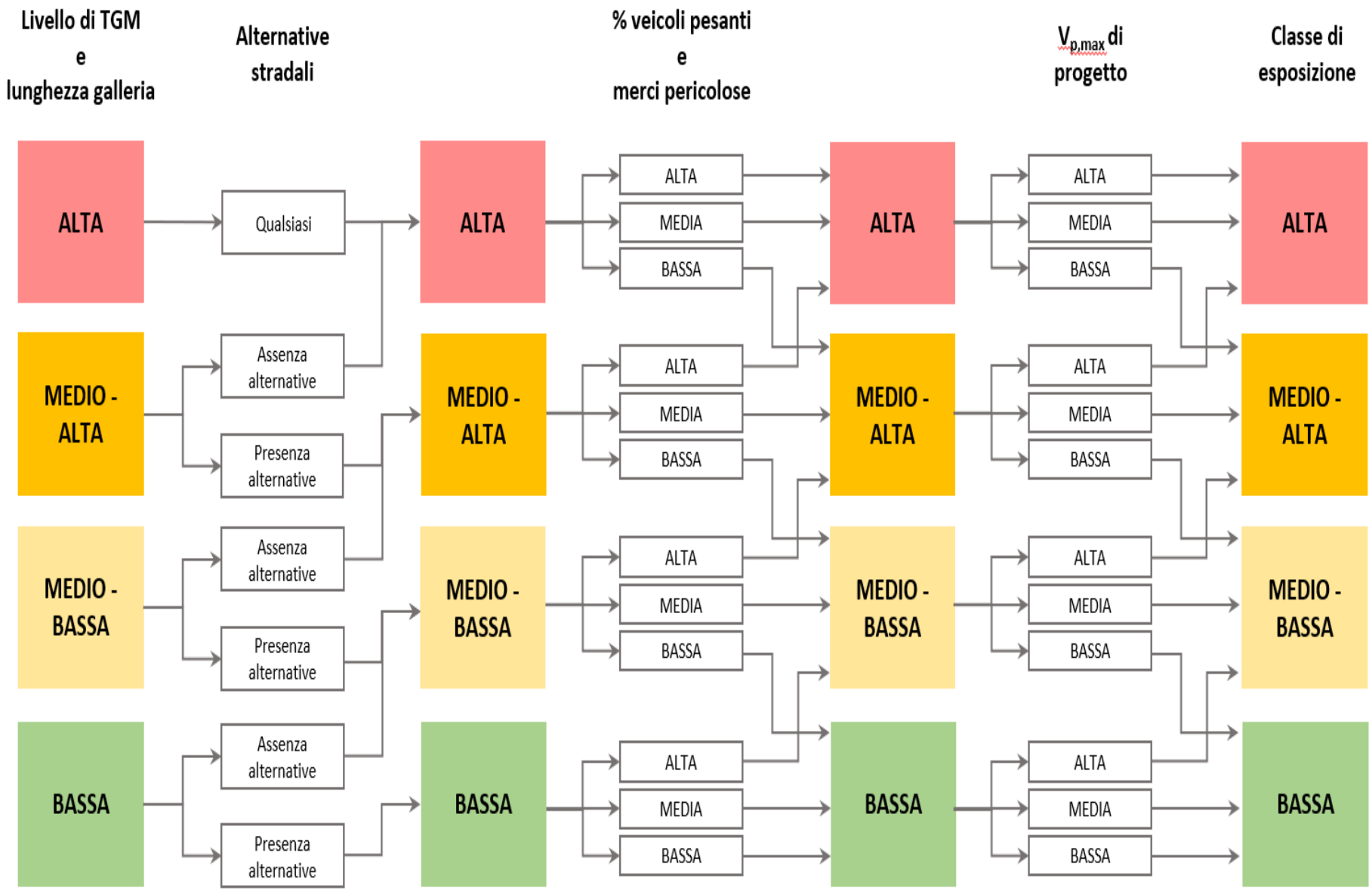
TGM	L < 500 m	500m ≤ L < 1000m	1000m ≤ L < 3000m	L ≥ 3000 m
≥ 40000 veicoli/giorno	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
25000 ≤ veicoli/giorno < 40000	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
10000 ≤ veicoli/giorno < 25000	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA
< 10000 veicoli/giorno	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA

parametri secondari: veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t), velocità massima di progetto, itinerari alternativi

Alta	Media	Bassa
veicoli pesanti > 15%	5% < veicoli pesanti ≤15%	veicoli pesanti ≤ 5%

Alta	Media	Bassa
120 ≤ Vmax ≤ 140 km/h	80 ≤ Vmax < 120 km/h	Vmax < 80 km/h

Flusso logico per la definizione della CLASSE DI ESPOSIZIONE



STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRADALE

La stima delle classi di attenzione stradale si ottiene combinando la classe di pericolosità, vulnerabilità e esposizione

Per esempio per una classe di pericolosità alta, combinata con una classe di vulnerabilità alta e una classe di esposizione alta si ottiene una classe di attenzione alta etc.

Classe di pericolosità ALTA

		Classe di esposizione			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta			
	Medio-Alta	Alta		Medio-Alta	
	Medio-Bassa	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	Bassa	Medio-Bassa		Bassa	

STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRADALE

Classe di pericolosità MEDIO-ALTA

		Classe di esposizione			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta			
	Medio-Alta	Alta		Medio-Alta	
	Medio-Bassa	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	Bassa	Medio-Bassa		Bassa	

Classe di pericolosità MEDIO-BASSA

		Classe di esposizione			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta		Medio-Alta	
	Medio-Alta	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Medio-Bassa		Bassa	
	Bassa	Bassa			

STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRADALE

Si osservi come ne risulta una maggiore importanza assegnata alla classe di vulnerabilità del piano stradale. Se essa è alta, la classe di attenzione è quasi sempre alta e quindi presenta una elevata priorità di interventi.

Classe di pericolosità BASSA

		Classe di esposizione			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta		Medio-Alta	
	Medio-Alta	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Medio-Bassa		Bassa	
	Bassa	Bassa			

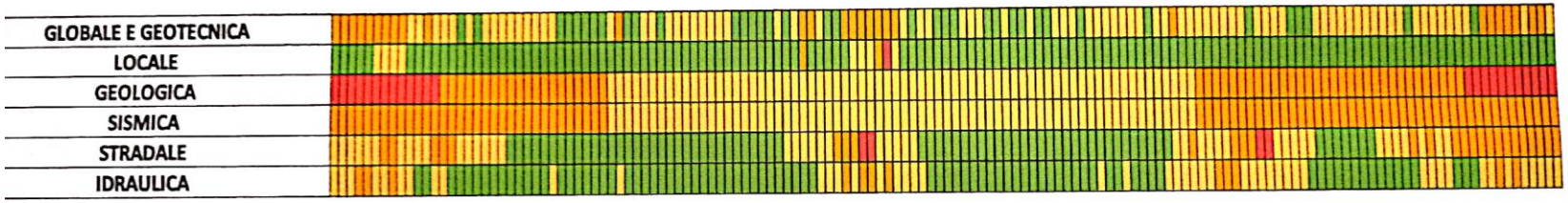
CLASSE DI ATTENZIONE COMPLESSIVA

Calcolate le Classi di Attenzione per ciascuno degli ambiti precedentemente indicati:
strutturale globale e geotecnico,
strutturale locale,
geologico,
sismico,
stradale,
idraulico

riportate per ogni tratto omogeneo di rilievo della galleria (concio da 20 m) e qualificate dall'indice di diffusione, si passa alla determinazione della classe di attenzione complessiva.

Nella slide successiva si riporta un esempio grafico della rappresentazione sintetica del risultato ottenibile dall'applicazione del Livello 2 e del conseguente indice di diffusione.

Classe di attenzione complessiva



GLOBALE E GEOTECNICA	25,3%	55,5%	19,2%	0,0%
LOCALE	92,5%	5,5%	1,4%	0,7%
GEOLOGICA	0,0%	47,9%	35,6%	16,4%
SISMICA	0,0%	47,9%	52,1%	0,0%
STRADALE	47,9%	30,8%	18,5%	2,7%
IDRAULICA	58,9%	32,9%	8,2%	0,0%

Figura 4.10 – Esempio di rappresentazione sintetica del Livello 2 (Classe di attenzione per ogni ambito per ogni singolo concio e relativo Indice di diffusione)

Valutazione di sicurezza della galleria

- La verifica di sicurezza è la fase finale che, mediante una valutazione numerica, conclude il processo ed è finalizzata alla definizione degli interventi, per incrementare il livello di sicurezza dell'opera.

- Le verifiche di sicurezza riguardano, le strutture, la geotecnica, la geologia, l'idraulica e la strada.

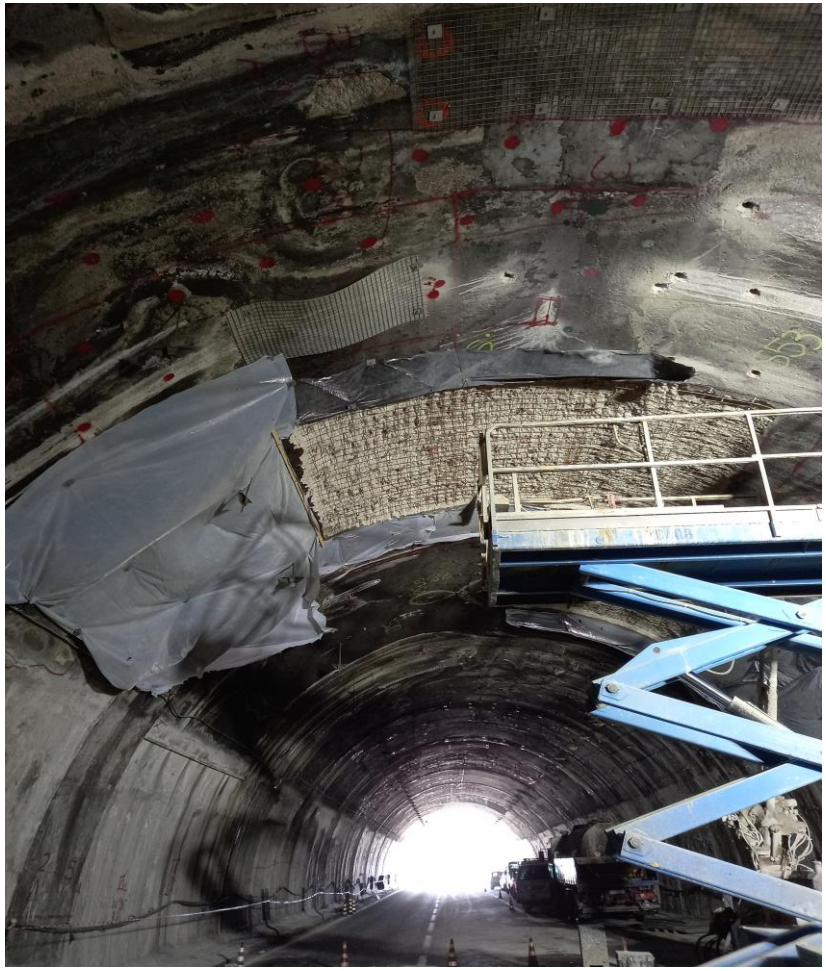
- La sicurezza di gallerie esistenti è comunque relazionata a: epoca di costruzione, scelte progettuali, difetti progettuali e costruttivi, caratteristiche dei materiali impiegati, formazioni naturali attraversate, usura e degrado, idrologia del sito, condizioni di traffico per volumi e composizione.

- Pertanto una valutazione di sicurezza, sia essa preliminare o approfondita, sulla base del quadro di conoscenza dell'opera, ricorrendo eventualmente indagini integrative approfondite.

- Indagini approfondite sono richieste se l'opera è in Classe di Attenzione da Medio-Alta ad Alta.

- Indagini approfondite sono richieste anche per le valutazioni sulla geometria e stato del rivestimento, compresa la ricostruzione di spessori e presenza di vuoti a tergo.

Esempi in corso di interventi strutturali



TIPOLOGIE DI RILIEVI E INDAGINI SULL'OPERA PREVISTI

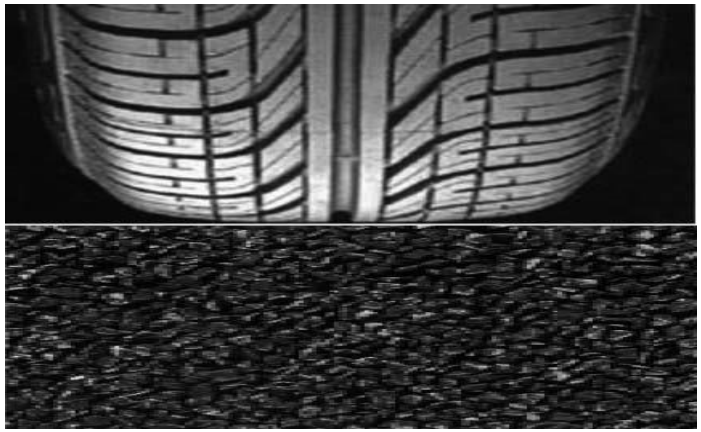
RILIEVI ED INDAGINI	TIPI DI INDAGINE/PROVA
Rilievo della geometria della galleria	Laser Scanner
Rilievo del quadro fessurativo	Laser Scanner e rilievo visivo/fotografico
Controllo degli spessori del rivestimento	Georadar, carotaggi
Controllo della presenza di armatura metallica nel rivestimento	Prove pacometriche e/o sondaggi diretti con rottura del calcestruzzo e rilievo delle armature
Controllo presenza arco rovescio	Georadar
Stato di sollecitazione sui rivestimenti	Martinetti piatti

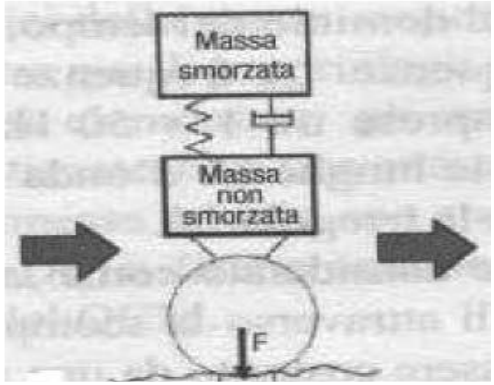
Indagini e monitoraggio specifici del piano viabile

- La regolarità del piano viabile sia monitorata nel tempo con apparecchiature ad alto rendimento ed espressa attraverso l'indice IRI (International Roughness Index).
- Le misure di regolarità dovranno essere effettuate secondo le Norme vigenti. I valori trovati dovranno essere minori o al massimo uguali alle prescrizioni previste nei corrispondenti Capitolati dell'Ente Gestore.
- Si darà inoltre corso al monitoraggio del coefficiente di aderenza trasversale (CAT) con le relative apparecchiature ad alto rendimento e con stessa cadenza temporale prevista per l'IRI. Le misure di aderenza dovranno anch'esse essere effettuate secondo le Norme vigenti e i valori trovati dovranno essere maggiori o uguali a quelli prescritti.
- Nei casi in cui i valori di IRI e/o CAT fossero non conformi a quelli prescritti, l'Ente Gestore dovrà provvedere con interventi mirati e repentini al ripristino della regolarità del piano viabile e dell'aderenza al fine di scongiurare il pericolo di incidenti stradali ad essi ascrivibili.
- E' altresì raccomandato il monitoraggio della portanza della sovrastruttura stradale attraverso misure ad alto rendimento del tipo basate sull'FWD (Falling Weight Deflectometer).
- Si possono graduare le frequenze dei controlli in funzione delle classi di attenzione stradale secondo la tabella di seguito riportata.

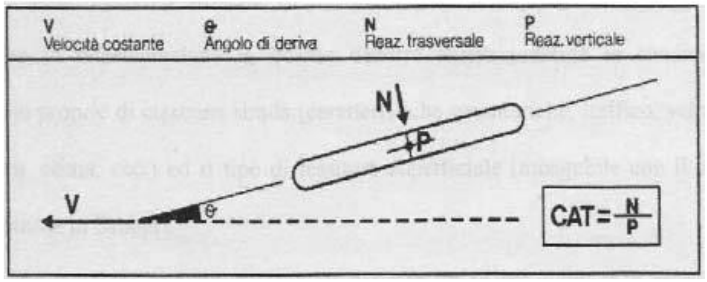
Indagini piano viabile	Classe di Attenzione e intervallo ispezione			
	BASSA	MEDIO BASSA	MEDIO ALTA	ALTA
Iniziale	all'avvio della procedura di cui al Livello 1			
Periodica ordinaria	max 24 mesi	max 18 mesi	max 12 mesi	max 6 mesi
Approfondita	max 6 anni	max 4 anni	Max 2 anni	max 1 anno
Straordinaria (a seguito di un evento)		in occasione di evento di rilievo		

Schemi per la misurazione dei parametri del piano viabile

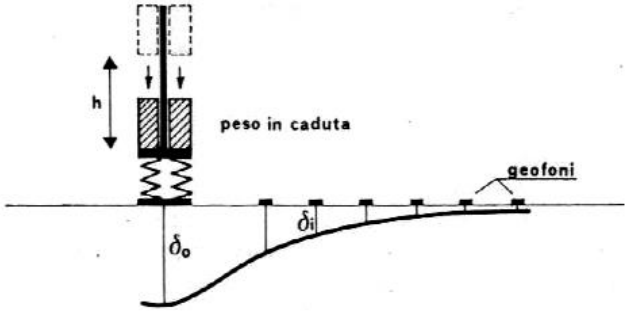




Schema per la valutazione dell'IRI (International Roughness Index)



Schema per la valutazione del coefficiente di aderenza trasversale CAT.



Schema per la misurazione della portanza della sovrastruttura stradale basato sul Falling Weight Deflectometer (FWD).

GRAZIE

Prof. Ing. Ciro Caliendo

Dipartimento di Ingegneria Civile

Università degli Studi di Salerno

e.mail: ccaliendo@unisa.it