



Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

**LINEE GUIDA PER
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA
ED IL MONITORAGGIO DELLE GALLERIE
ESISTENTI**

Allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.72/2021,
espresso dall'Assemblea Generale in data 3.2.2022

SOMMARIO

1.	GENERALITÀ.....	1
1.1	Ambito di applicazione e scopo delle linee guida	1
1.2	Obiettivi e struttura dell'approccio multilivello	2
1.3	Definizione dei livelli di analisi e relazioni tra essi.....	3
1.4	Cenni generali sulla valutazione della rilevanza trasportistica	5
1.5	Priorizzazione delle attività	6
1.6	Modelli informativi	7
1.7	Competenze degli operatori.....	7
1.8	Laboratori di prova	8
2.	LIVELLO 0. CENSIMENTO DELLE OPERE E LIVELLO DI CONOSCENZA.....	9
2.1	Obiettivi del censimento	9
2.2	Modalità di acquisizione e di rappresentazione dei dati	9
3.	LIVELLO 1. ISPEZIONI INIZIALI E SCHEDE DI DIFETTOSITÀ	11
3.1	Modalità e finalità delle ispezioni iniziali	11
3.2	Schede di rilievo e valutazione dei difetti.....	11
3.3	Definizione degli elementi critici	13
3.4	Casi in cui sono necessarie valutazioni accurate e di dettaglio: dal livello 1 al livello 4	13
4.	LIVELLO 2. ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE	14
4.1	Struttura generale del metodo di classificazione della classe di attenzione	15
4.2	Classe di attenzione strutturale globale e geotecnica	16
4.2.1	Stima del livello di pericolosità strutturale globale e geotecnica	17
4.2.1.1	Livello di conoscenza delle caratteristiche geotecniche dell'ammasso e affidabilità del modello geomeccanico	17
4.2.1.2	Caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso e/o del terreno	17
4.2.1.3	Fattori esterni interagenti con la struttura della galleria.....	18
4.2.2	Stima del livello di vulnerabilità strutturale globale e geotecnica	19
4.2.2.1	Livello di difettosità.....	19
4.2.2.2	Rapidità del degrado nel tempo.....	19
4.2.2.3	Influenza della circolazione dell'acqua e presenza dello strato di impermeabilizzazione	20
4.2.2.4	Tipologia di galleria, materiali costituenti e tecniche e complessità costruttive	20
4.2.2.5	Determinazione della classe di vulnerabilità strutturale globale e geotecnica	22
4.2.3	Stima del livello di esposizione strutturale globale e geotecnica	23
4.2.3.1	I parametri primari: livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM) e lunghezza della galleria.....	23
4.2.3.2	I parametri secondari e il calcolo della Classe di Esposizione	23
4.2.4	Stima della Classe di Attenzione Strutturale globale e Geotecnica	25
4.3	Classe di attenzione strutturale locale	25
4.3.1	Stima del livello di pericolosità strutturale locale	25

4.3.2	Stima del livello di vulnerabilità strutturale locale.....	26
4.3.3	Stima del livello di esposizione strutturale locale	27
4.3.4	Stima della Classe di Attenzione strutturale locale.....	28
4.4	Classe di attenzione stradale.....	28
4.4.1	Stima del livello di pericolosità stradale.....	28
4.4.2	Stima del livello di vulnerabilità stradale	29
4.4.2.1	Evoluzione del degrado.....	29
4.4.2.2	Tipologie di sovrastrutture stradali.....	30
4.4.3	Stima del livello di esposizione stradale.....	30
4.4.4	Stima della Classe di Attenzione stradale	31
4.5	Classe di attenzione geologica associata al rischio frane	31
4.5.1	Definizione generale del metodo di determinazione della classe di attenzione legata al rischio frane ...	31
4.5.2	Stima del livello di suscettibilità geologica associata al rischio frane	32
4.5.2.1	Instabilità di versante.....	32
4.5.2.2	Misure di mitigazione.....	33
4.5.3	Stima del livello di vulnerabilità geologica associata al rischio frane.....	34
4.5.3.1	Rapporti tra galleria e condizioni morfologiche.....	34
4.5.4	Stima del livello di esposizione geologica associata al rischio frane	34
4.5.5	Stima della Classe di Attenzione Geologica.....	35
4.6	Classe di attenzione sismica	35
4.6.1	Definizione generale del metodo	35
4.6.2	Valutazione del livello di pericolosità sismica	35
4.6.2.1	Potenziati effetti di amplificazione sismica locale.....	36
4.6.3	Stima del livello di vulnerabilità legato al rischio sismico	37
4.6.4	Stima del livello di esposizione sismica	37
4.6.4.1	Traffico Medio Giornaliero (TGM) e lunghezza della galleria, alternative stradali, e traffico pesante	38
4.6.4.2	Strategicità dell'opera.....	38
4.6.5	Stima della classe di attenzione sismica.....	38
4.7	Classe di attenzione idraulica	38
4.7.1	Stima del livello di pericolosità idraulica.....	39
4.7.2	Stima del livello di vulnerabilità idraulica	42
4.7.3	Stima del livello di esposizione idraulica.....	43
4.7.4	Stima della classe di attenzione idraulica complessiva	44
4.8	Analisi multi-rischio e definizione della classe di attenzione complessiva	45
5.	VALUTAZIONI DELLA SICUREZZA	50
5.1	Concetti fondamentali e criteri per la valutazione della sicurezza	51
5.1.1	La normativa vigente.....	51
5.1.2	Casi in cui è necessaria la valutazione di sicurezza	51
5.1.3	Il ruolo fondamentale della conoscenza	52
5.2	Valutazioni Strutturali globali e geotecniche.....	53
5.2.1	La conoscenza del progetto, della costruzione e dei problemi in fase di esercizio.....	53
5.2.2	Il percorso iterativo della conoscenza.....	54
5.2.3	Valutazione preliminare	55
5.2.4	Modalità operativa di verifica	55
5.2.5	Analisi semplificate per la Valutazione preliminare	56
5.2.6	Valutazione accurata.....	59
5.3	Valutazioni Strutturali locali del rivestimento	59
5.3.1	Valutazione preliminare	60
5.3.2	Valutazione accurata.....	60
5.4	Valutazioni della sovrastruttura stradale	60
5.4.1	Valutazione preliminare	60
5.4.2	Valutazione accurata.....	61
5.5	Valutazioni instabilità lungo la galleria e agli imbocchi	61
5.5.1	Valutazione preliminare.....	62
5.5.2	Valutazione accurata.....	62

5.6	Valutazioni sicurezza idraulica	62
5.6.1	Valutazione preliminare	63
5.6.2	Valutazione accurata	63
5.7	Criteri di selezione e programmazione degli interventi	64
6.	MONITORAGGI E INDAGINI.....	65
6.1	Indagini e monitoraggio geotecnici	65
6.1.1	Fenomeni indotti da movimenti franosi e subsidenza	65
6.1.2	Fenomeni indotti dalla perdita di tenuta idraulica	67
6.1.3	Fenomeni indotti dal rigonfiamento del terreno.	68
6.2	Indagini e monitoraggi strutturali del rivestimento.....	69
6.2.1	Rilievo della qualità e degrado dei materiali in opera.....	70
6.2.2	Rilievi ed indagini sull'opera.....	71
6.3	Indagini e monitoraggi sovrastruttura stradale	71
7.	ADEMPIMENTI.....	72
7.1	Responsabile della galleria.....	72
7.2	Documento integrativo del piano di manutenzione	72
7.3	Ispezioni.....	72
7.4	Ispettori	74
7.5	Rapporti periodici	75
7.6	Osservatorio per la sicurezza strutturale delle gallerie.....	75
ALLEGATI.....		76

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi	5
Figura 4.1 - Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione	15
Figura 4.2 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità strutturale globale e geotecnica	18
Figura 4.3 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità strutturale globale e geotecnica	22
Figura 4.4 - Flusso logico per la determinazione della Classe di Esposizione	24
Figura 4.5 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità strutturale locale	26
Figura 4.6 - Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità strutturale locale	27
Figura 4.7 - Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità	34
Figura 4.8 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica	37
Figura 4.9 - Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica	38
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)	46
Figura 4.11 - Esempio di rappresentazione sintetica del Livello 2 (Classe di attenzione complessiva e Classe di attenzione idraulica per ogni singolo concio e relativo Indice di diffusione)	49
Figura 5.1 - Rappresentazione del quadro fessurativo rilevato sulle strutture del rivestimento (Wang, 2010)	62

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 - Determinazione della classe di attenzione	15
Tabella 4.2 - Parametri primari e secondari per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio strutturale globale e geotecnico	17
Tabella 4.3 - Classificazione del livello di conoscenza del modello geologico	17
Tabella 4.4 - Classificazione caratteristiche ammasso roccioso e/o terreno	18
Tabella 4.5 - Classificazione dei fattori esterni	18
Tabella 4.6 - Descrizione sintetica del livello di difettosità per vulnerabilità strutturale e geotecnica globale	19
Tabella 4.7 - Valutazione dell'influenza della circolazione d'acqua e della presenza dello strato di impermeabilizzazione	20
Tabella 4.8 - Determinazione della classe di vulnerabilità in relazione alla tipologia di galleria	21
Tabella 4.9 - Classificazione delle Complessità costruttive	22
Tabella 4.10 - Determinazione della classe di vulnerabilità in funzione delle complessità costruttive e della tipologia di galleria	22
Tabella 4.11 - Livello di Traffico Medio Giornaliero (veicoli/giorno sull'intera carreggiata)	23
Tabella 4.12 - Lunghezza della galleria	23
Tabella 4.13 - Combinazione dei parametri primari per la valutazione della classe di attenzione	23
Tabella 4.14 - Parametri secondari: percentuale dei veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t)	24
Tabella 4.15 - Parametri secondari: velocità massima (Vmax) di progetto	24
Tabella 4.16 - Potenziale interferenza con edifici ed infrastrutture	24
Tabella 4.17 - Correzione della Classe di Esposizione definita in Figura 4.4.	24
Tabella 4.18 - Parametri primari e secondari per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio Strutturale locale	25
Tabella 4.19 - Classificazione con riferimento al livello di resistenza del rivestimento definitivo	25
Tabella 4.20 - Definizione della classe di vulnerabilità in funzione dello stato di fessurazione o dei difetti costruttivi locali	26
Tabella 4.21 - Definizione della classe in funzione dello spessore di lastra residuo da difetti costruttivi	27
Tabella 4.22 - Definizione della classe funzione della presenza di armatura	27
Tabella 4.23 - Parametri primari e secondari per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio stradale	28
Tabella 4.24 - Classi di pericolosità stradale	28
Tabella 4.25 - Livello di difettosità	29
Tabella 4.26 - Classi di vulnerabilità in funzione della tipologia di sovrastruttura stradale, sensibilità al degrado dei materiali e spessori (S)	30
Tabella 4.27 - Parametri necessari per la definizione della classe di attenzione geologica	31
Tabella 4.28 - Stato di attività della frana lungo lo sviluppo della galleria o instabilità agli imbocchi	33
Tabella 4.29 - Magnitudo volumetrica in metri cubi	33
Tabella 4.30 - Velocità attesa in relazione ai possibili risentimenti sulla galleria	33
Tabella 4.31 - Determinazione dell'indice di instabilità	33

Tabella 4.32 – Determinazione della classe di vulnerabilità geologica	34
Tabella 4.33 – Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica	35
Tabella 4.34 – Parametri per la determinazione della pericolosità sismica	36
Tabella 4.35 – Effetti di amplificazione sismica	36
Tabella 4.36 – Determinazione della classe di vulnerabilità sismica	37
Tabella 4.37 – Classe di Attenzione Idraulica: parametri primari e secondari	39
Tabella 4.38 – Classi di attenzione in relazione all'intensità di precipitazione (evento di riferimento: durata=1 ora, tempo di ritorno $T_r=20$ anni)	40
Tabella 4.39 – Classi di attenzione relative alla quota di falda / piezometrica	40
Tabella 4.40 – Classi di pericolosità relative agli afflussi superficiali per combinazione di intensità di precipitazione e superficie contribuente	41
Tabella 4.41 – Classi di pericolosità relative agli afflussi sotterranei per combinazione di quota di falda/piezometrica e conducibilità idraulica/difetto impermeabilizzazione	41
Tabella 4.42 – Classi di pericolosità totale per combinazione di afflussi superficiali e sotterranei	42
Tabella 4.43 – Vulnerabilità del sistema di evacuazione delle portate	43
Tabella 4.44 – Esposizione complessiva nei confronti della vulnerabilità idraulica	44
Tabella 4.45 – Pericolosità specifica ottenuta dalla combinazione di pericolosità e vulnerabilità idrauliche	44
Tabella 4.46 – Classe di attenzione idraulica ottenuta dalla combinazione di pericolosità specifica ed esposizione	45
Tabella 6.1 – Quadro sinottico delle indagini geotecniche	69
Tabella 6.2 – Indagini strutturali speditive ricorrenti	70
Tabella 6.3 – Prove strutturali specifiche	70
Tabella 6.4 – Rilievi e indagini sull'opera	71
Tabella 6.5 – Graduazione dei controlli del piano viabile	71
Tabella 7.1 – Tipologie di ispezioni	73
Tabella 7.2 – Frequenza delle ispezioni	73

1. GENERALITÀ

1.1 AMBITO DI APPLICAZIONE E SCOPO DELLE LINEE GUIDA

Le presenti 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. Questi ultimi intesi nel presente contesto quali opere che si approfondiscono localmente sotto il piano campagna per risolvere un'interferenza con altra infrastruttura lineare o altra costruzione e limitatamente a quanto non già previsto dalle Linee guida per la classificazione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti.

Ai fini dell'applicazione delle presenti linee guida per gestore deve intendersi il 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; in via generale il rapporto di concessione tra l'ente proprietario ed il concessionario è regolamentato da appositi atti convenzionali.

Per le opere di lunghezza inferiore a 200 m, il gestore valuterà caso per caso una adozione parziale delle presenti Linee guida, in relazione alle specificità delle singole situazioni e calibrata sulle criticità della singola galleria.

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

Le Linee guida hanno carattere complementare alle altre norme che afferiscono alla sicurezza stradale di cui al *Decreto legislativo 15 marzo 2011, n. 35* e alla sicurezza antincendio nelle gallerie stradali della rete transeuropea di cui al *Decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264*. I gestori provvederanno ad armonizzare le attività di indagine, ispezione e manutenzione, che afferiscono alle differenti normative, in modo da ottimizzare i risentimenti sull'esercizio ed i programmi di attività.

Le Linee guida illustrano una procedura per la gestione delle attività finalizzate alla sicurezza delle gallerie stradali esistenti al fine di prevenire livelli inadeguati di danno, tali da incidere sulla sicurezza dell'opera e, in senso più generale, dell'intera infrastruttura, rendendo accettabile il rischio. L'impostazione vuole perseguire una condotta di prevenzione rispetto all'emergere di situazioni potenzialmente pericolose, per programmare l'adozione di interventi di manutenzione preventiva senza incorrere in condizioni di intervento in urgenza. Quanto riportato nel presente documento è riferito alla adozione di condotte di consapevolezza e prevenzione per l'intero ambito delle gallerie stradali in esercizio, restando inteso che qualora già si riconoscano condizioni che richiedono l'adozione di interventi immediati, il gestore darà corso alla individuazione ed attuazione degli interventi riconosciuti necessari indipendentemente dall'applicazione delle procedure previste dalle Linee guida.

Essa è composta da tre parti, il censimento associato alla valorizzazione delle conoscenze pregresse già disponibili, la classificazione preliminare del rischio stimato in modo convenzionale attraverso la definizione di una classe di attenzione, la valutazione della sicurezza, di tipo preliminare e accurata, e la sorveglianza e monitoraggio, comprese le tipologie di prove eseguibili. I programmi delle indagini e degli interventi che si riconoscessero necessari saranno graduati per ciascuna galleria, fornendo criteri di priorità e distinguendo, nell'ambito di una stessa galleria, interventi semplici e di efficacia nel breve termine da quelli più complessi e di attuazione più lontana nel tempo.

In particolare, essa illustra, analogamente alle "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti", come la classificazione del rischio o, meglio, la classe di attenzione si inquadri in un approccio generale multilivello che dal censimento delle opere d'arte da analizzare associato al livello di conoscenza, che scaturisce dall'esame preventivo e sintesi di tutte le informazioni già disponibili, perviene alla determinazione di una classe di attenzione sulla base della quale si perverrà, nei casi previsti dalla metodologia stessa, alla valutazione della sicurezza, sia essa limitata ai possibili dissesti di carattere locale o riferita al comportamento globale dell'opera, cui dovrà seguire la programmazione degli interventi e dei piani di sorveglianza che si riconoscessero necessari.

Sono approfondite nel dettaglio le metodologie da adottare per sviluppare l'approccio proposto a livello territoriale, quali il censimento delle opere, la raccolta dei dati già disponibili a partire dai dati di progetto, della realizzazione e della gestione e adozione di interventi di manutenzione già attuati in fase di esercizio. Seguono le ispezioni iniziali,

anche ai fini della redazione delle schede di difettosità dell'opera nonché la valutazione della classe di attenzione in funzione dei possibili rischi rilevanti, strutturale (strutturale "globale" e geotecnico), sismico, idraulico, geologico, stradale, strutturale "locale" e determinati da cause non direttamente strutturali. Tali rischi, inizialmente analizzati separatamente in termini di pericolosità, vulnerabilità e esposizione, sono poi riuniti in un'unica classificazione generale della classe di attenzione, che è comunque qualificata in relazione alla diffusione nell'ambito dello sviluppo della galleria ed in relazione a particolari rischi, quali l'idraulico ed il geologico, che richiedono una specifica e distinta considerazione negli approfondimenti riconosciuti necessari. L'indice di diffusione rispetto allo sviluppo totale della galleria descrive in forma sintetica quale sia la tratta di galleria interessata dalla Classe di attenzione più alta attribuita.

La Classe di attenzione così definita individua le condizioni più critiche ai fini della sicurezza presenti lungo la tratta in peggiori condizioni della galleria, diversamente da come desumibile da valutazioni con indici pesati sullo sviluppo della galleria, meno rappresentative di condizioni locali di sicurezza e che forniscono un indice di severità complessivo dell'intera opera indicativo in genere per previsioni di fabbisogni economici complessivi.

L'articolazione delle linee guida mantiene distinte nelle varie fasi le attività ispettive da quelle di valutazione del livello delle conoscenze e delle valutazioni sullo stato di conservazione delle opere. Fatta salva la necessaria qualifica degli incaricati delle ispezioni, le valutazioni che prendono in esame lo stato delle conoscenze e gli esiti di ispezioni e di indagini saranno sviluppate in ambito di giudizio esperto, cui potranno concorrere specialisti di più discipline secondo le specifiche tematiche di interesse per ciascuna galleria, con il coordinamento di un responsabile della galleria designato dal gestore.

Le valutazioni per la individuazione delle classi di attenzione ed i successivi livelli di indagine e di verifica delle opere sono condotte attraverso un giudizio esperto. Le informazioni ed i dati raccolti nel corso delle ispezioni, al pari dei risultati di indagini specialistiche, forniscono elementi per l'ambito di valutazione del giudizio esperto, concorrono alla formulazione di tale giudizio, ma non costituiscono di per sé una valutazione sullo stato di consistenza delle opere.

In quest'ottica, il presente documento fornisce gli strumenti per la conoscenza a livello territoriale delle gallerie e per definire le priorità per l'esecuzione delle eventuali operazioni di sorveglianza e monitoraggio, di verifica e di intervento.

Vengono altresì forniti i criteri per la conduzione delle valutazioni riconosciute necessarie, per i programmi di monitoraggio e di intervento con indicazioni per la tipologia e frequenza delle ispezioni periodiche e approfondite, nonché per la predisposizione del Documento integrativo del Piano di manutenzione per ciascuna galleria.

Si delineano alcuni aspetti organizzativi in relazione alla previsione di un sistema di qualifica delle attività di ispezione, con ispettori appartenenti all'organizzazione del gestore e ad organismi indipendenti, che saranno definiti con successivo apposito regolamento. L'ambito delle funzioni di vigilanza viene ampliato da una attività di solo controllo, alla verifica di adozione e attuazione di un sistema di gestione della sicurezza che comprende anche le attività di controllo.

Il documento, e la metodologia in esso descritta, assumendo un'ampia valenza, possono prendersi quale utile riferimento, nei principi e nelle regole generali, sia per le gallerie stradali sia per quelle ferroviarie, pur presentando quest'ultime, specie in relazione alle condizioni funzionali dell'esercizio ferroviario, profili di sicurezza che si differenziano rispetto a quelli delle gallerie stradali. Ferma restando questa valenza generale, la presente versione del documento declina i criteri ed i dettagli operativi nel caso delle gallerie stradali.

1.2 OBIETTIVI E STRUTTURA DELL'APPROCCIO MULTILIVELLO

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

Le Linee guida dovrebbero indicare criteri per organizzare il quadro delle conoscenze, già disponibili e/o da integrare, quale riferimento per le decisioni sulla necessità di sviluppi ed approfondimenti successivi, in vista di eventuali interventi integrativi che si riconoscessero necessari, in tal senso non rappresentano un manuale operativo, rinviando gli aspetti relativi alla esecuzione delle varie fasi all'autonomia e responsabilità del gestore. Per le valutazioni di sicurezza e gli eventuali interventi, infatti, si farà riferimento alle indicazioni normative ed alle competenze per tutti gli ambiti disciplinari che intervengono in fase di progettazione, di realizzazione, di monitoraggio e controllo, di progettazione di interventi di manutenzione, sia da parte dei tecnici che dei gestori.

L'estensione delle tratte in galleria presenti lungo la rete stradale, strettamente connessa alle caratteristiche della orografia del territorio, ha consentito di sviluppare idonee competenze prevalentemente per nuove costruzioni, ma la

vetustà del patrimonio infrastrutturale italiano richiede un orientamento ed una valorizzazione di tali competenze verso l'esistente già in esercizio, in molti casi da molti decenni.

L'obiettivo non è solo la sicurezza in termini di incolumità degli utenti e degli addetti, ma anche la sicurezza per garantire la continuità di esercizio e dei livelli di servizio della rete stradale, nonché la necessaria consapevolezza per attuare condotte di manutenzione preventiva, prevenendo condizioni che diano luogo a necessità di interventi di soccorso o ripristino. La manutenzione programmata è condizione essenziale per una migliore finalizzazione della spesa pubblica per le strade in gestione diretta e per una più mirata articolazione dei piani economici finanziari delle infrastrutture affidate in concessione, nella gestione o in fase di rinnovo delle stesse.

L'impiego di un approccio multilivello per la gestione delle gallerie esistenti, analogamente ad altre opere esistenti, è giustificato dal numero di infrastrutture presenti sul territorio italiano e rappresenta uno strumento per individuare classi di priorità in relazione alle potenziali pericolosità riconosciute. La complessità e, quindi, l'onerosità delle ispezioni, delle indagini, dei controlli, dei monitoraggi e delle verifiche da effettuare, è calibrata valutando di volta in volta, seppur con indicatori sintetici inizialmente di tipo qualitativo, l'effettiva necessità e urgenza in funzione dello stato attuale delle conoscenze sulla conservazione dell'opera, pervenendo ad un metodo, omogeneo ed uniforme al variare delle tipologie di infrastrutture, nella valutazione della classe di attenzione.

L'approccio multilivello proposto prevede valutazioni iniziali estese a livello territoriale, quali il censimento e la valorizzazione di quanto già disponibile da attività pregresse, le ispezioni e la classificazione, e valutazioni puntuali, di complessità maggiore, concentrate su singole opere e le singole tratte critiche nell'ambito di queste. Mediante la costruzione di un censimento ragionato, basato sul reperimento del maggior numero di informazioni possibili ivi compresa l'eventuale esecuzione di indagini di tipo diretto e indiretto, è definita la classe di attenzione da attribuire ad ogni galleria e, quindi, il grado di complessità e la tipologia dei successivi approfondimenti che si ritenessero necessari. Questi saranno opportunamente graduati ed ottimizzati, anche in relazione alla qualifica della Classe di attenzione in termini di indice di diffusione lungo lo sviluppo della galleria e di tipologia di potenziale pericolo che la determina.

La individuazione delle classi di attenzione ed i criteri per i successivi sviluppi si basano su elementi di carattere tecnico che prescindono dalla categoria di infrastruttura stradale lungo cui ricadono le gallerie, che ricadono nella competenza di gestione di ANAS S.p.A., concessionari, regioni, province, comuni. I criteri adottati sono il risultato di una prima analisi eseguita sull'intero patrimonio infrastrutturale esistente e di una prima taratura seppure su un insieme limitato insieme di casi reali.

1.3 DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI ANALISI E RELAZIONI TRA ESSI

L'approccio si sviluppa su sei livelli differenti, aventi grado di approfondimento e complessità crescenti. Sinteticamente:

- Il **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 di maggiore interesse per ciascuna galleria.
- Il **Livello 1**, esteso alle opere censite a Livello 0, prevede l'esecuzione di ispezioni iniziali della struttura, rivestimento ed altri elementi di rilevanza strutturale e non strutturale, e delle caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche ed idrauliche dell'area, tese a individuare lo stato di conservazione e le principali caratteristiche strutturali e geometriche di tutte le opere, nonché potenziali condizioni di rischio associate all'interazione con le formazioni naturali che ospitano la galleria, secondo le caratteristiche geotecniche/geomeccaniche e l'assetto del contesto geologico. Le ispezioni iniziali saranno condotte a partire dal quadro di conoscenze già disponibili, eventualmente integrate con specifiche indagini, come ricostruito nell'ambito del Livello 0.
- 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. In funzione di tale classificazione, si procede quindi con uno dei livelli successivi. La Classe di attenzione è qualificata secondo un indice di diffusione, espresso quale percentuale della lunghezza della galleria caratterizzata dalla classe attribuita. Vengono altresì riportati quali caratteri qualificanti i fattori di pericolo che determinano la classe di attenzione sia riferiti alla struttura di galleria, sia riferiti a fattori esterni all'ambiente galleria in senso stretto, quali le classi associate ai rischi geologico geotecnico lungo la galleria ed agli imbocchi e al rischio idrologico idraulico.
- Il **Livello 3** prevede l'esecuzione di valutazioni preliminari atte a comprendere, unitamente all'analisi della tipologia ed entità dei dissesti rilevati nelle ispezioni eseguite al Livello 1, il livello di sicurezza nei confronti

dei possibili dissesti locali che interessano il rivestimento, più o meno diffusi nella galleria, e dei dissesti correlati all'interazione del rivestimento con le formazioni naturali attraversate. Quando ne ricorrano le condizioni, vengono sviluppate specifiche valutazioni per le possibili interazioni con instabilità di insieme delle formazioni naturali attraversate o in corrispondenza degli imbocchi, nonché delle condizioni di salvaguardia idraulica.

- Il **Livello 4** prevede l'esecuzione di valutazioni accurate della sicurezza della galleria nei confronti delle azioni agenti e di fattori esterni all'ambiente galleria in senso stretto, tenendo in debito conto quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti.
- Il **Livello 5**, non trattato esplicitamente nelle presenti Linee Guida, si applica a gallerie considerate di significativa importanza all'interno della rete. 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 socio-economico in cui essa è inserita.

Dal Livello 0 al Livello 5, la complessità, il livello di dettaglio e l'onerosità delle indagini e delle analisi aumentano, ma il numero di infrastrutture su cui applicarle, così come il livello di incertezza dei risultati ottenuti, si riduce. Il flusso logico che complessivamente definisce le relazioni tra un livello e l'altro è mostrato in *Figura 1.1*.

Come si evince da *Figura 1.1*, il fulcro centrale dell'approccio, sui cui risultati si basano le valutazioni successive, è il **Livello 2**, ossia la definizione delle classi di attenzione. Come esposto nel seguito, essa consiste nel determinare, per ogni galleria, una Classe di Attenzione (CdA), funzione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, e classificata in alta, medio-alta, medio-bassa e bassa, riferita alla tratta nelle peggiori condizioni e qualificata secondo le specifiche tipologie di potenziale pericolo. Ad ogni classe di attenzione corrispondono determinate conseguenti azioni, in termini di indagini/monitoraggio/verifiche, graduate in relazione all'indice di diffusione e agli eventuali caratteri speciali.

In particolare:

- Per le gallerie con classe di attenzione Alta è previsto l'immediato avvio di valutazioni accurate, sia in termini di valutazioni di sicurezza sia di approfondimenti sulle caratteristiche idrauliche, geologiche, geotecniche e/o strutturali, stradali, laddove necessario, in relazione in particolare alla Classe di attenzione ed alla specifica tipologia di potenziale rischio che ha concorso alla sua attribuzione. Le ipotesi, i criteri e le modalità di esecuzione delle valutazioni accurate, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, sono discusse nel § 5. Per le gallerie di Classe di Attenzione Alta è prevista l'esecuzione delle ispezioni approfondite con le modalità e frequenza di cui al § 7.3 e con eventuale installazione di sistemi di monitoraggio come descritto nel § 6.
- Per le gallerie con classe di attenzione Medio-Alta è prevista l'esecuzione di ispezioni ordinarie e approfondite con le modalità e frequenze di cui al § 7.3 con esecuzione di indagini specialistiche e, ove si rendesse necessario, l'installazione di sistemi di monitoraggio come descritto nel § 6. Sulla base delle ispezioni è previsto l'impiego di valutazioni preliminari di Livello 3 e qualora necessaria, l'esecuzione della valutazione approfondita secondo le modalità discusse nel § 5.
- Per le gallerie in CdA Medio-Bassa e Bassa è prevista l'esecuzione di ispezioni periodiche (si veda al proposito la parte ad esso dedicata nelle presenti linee guida). Sono comunque da prevedere ispezioni approfondite ad intervalli regolari, secondo le frequenze indicate nel § 7.3, valutando la conferma della Classe di attenzione e la necessità di dare corso a valutazioni preliminari della sicurezza-

Le ispezioni periodiche ordinarie e periodiche indipendenti saranno graduate secondo frequenze rapportate alla Classe di attenzione attribuita alla singola galleria.

Per tutte le gallerie si darà luogo a ispezioni in seguito ad accadimenti di eventi particolari (urti, incendi, eventi sismici, ecc.), quando ne ricorrano le circostanze si darà luogo agli opportuni approfondimenti mediante ispezioni straordinarie con l'esecuzione di specifiche indagini se necessarie.

Il Responsabile della galleria, che opera nell'ambito dell'organizzazione del gestore, avvalendosi della collaborazione degli esperti e degli ispettori, curerà per ogni galleria il programma delle attività, dalla fase di attenzione del Livello 0, alla attribuzione della Classe di attenzione del Livello 2, nonché lo sviluppo delle valutazioni preliminari del Livello 3 e approfondite del Livello 4, con la programmazione dei relativi approfondimenti di indagini e monitoraggi se ritenuti necessari.

Il Responsabile della galleria predisporrà inoltre il programma delle attività ispettive da riportare in apposito Documento integrativo del piano di manutenzione della specifica galleria.

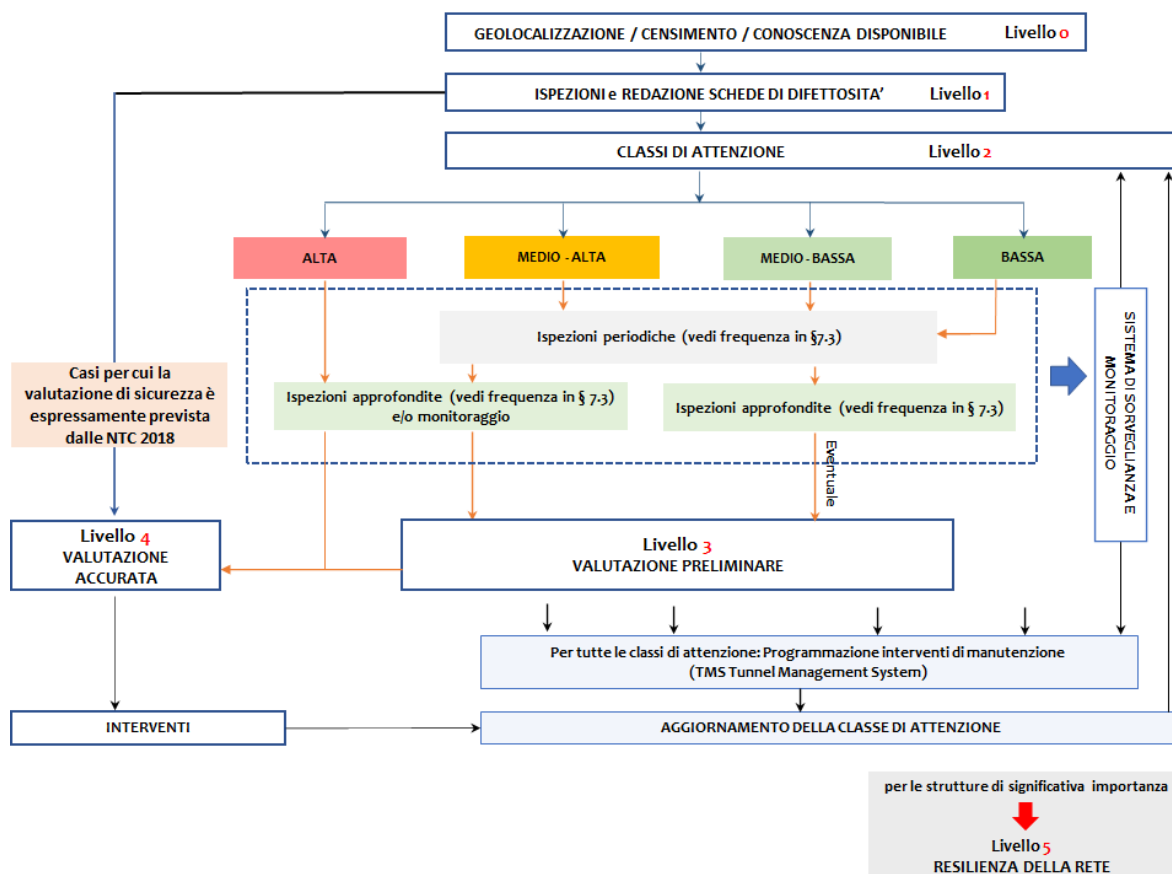


Figura 1.1 - Approccio multilivello e relazioni tra i livelli di analisi

In ogni caso, qualora non si proceda a valutazioni accurate della sicurezza, qualsiasi sia la classe di attenzione determinata, occorre comunque eseguire, oltre agli interventi manutentivi programmati e periodici, gli interventi di ordinaria manutenzione individuati sulla base del programma di manutenzione e delle ispezioni.

Per tutte le gallerie è prevista la predisposizione di un Documento integrativo del Piano di manutenzione in cui si richiamano le attività di ispezione ed i rilievi periodici da effettuare nel tempo, calibrati sulla specifica situazione e Classe di attenzione della singola galleria.

Inoltre, sulla base dei risultati delle ispezioni periodiche ordinarie o approfondite o del monitoraggio eseguiti per le diverse Classi di Attenzione, occorre rivalutare, periodicamente, la Classe di Attenzione dell'opera e quindi i provvedimenti ad essa conseguenti. Ovviamente la Classe di Attenzione dell'opera è previsto sia rivalutata anche in conseguenza agli eventuali interventi di manutenzione/riparazione/miglioramento effettuati. In ogni caso la rivalutazione della Classe di Attenzione è opportuno sia effettuata almeno ogni 3 anni per le opere di CdA Bassa e Medio-Bassa e ogni 2 anni per quelle in CdA Medio-Alta, fermo restando che le opere di CdA Alta è previsto siano soggette a verifiche di Livello 4 ed agli interventi conseguenti tale verifica.

1.4 CENNI GENERALI SULLA VALUTAZIONE DELLA RILEVANZA TRASPORTISTICA

La valutazione della rilevanza trasportistica e dei relativi impatti socioeconomici non è trattata nelle presenti Linee Guida. Per l'esecuzione di tali studi può si fare riferimento a comprovati documenti specialistici di settore, nel seguito si riportano comunque alcune indicazioni di carattere generale sulle modalità operative di realizzazione di tali studi.

Tale valutazione, da approfondirsi nel Livello 5 dell'approccio descritto, comprende la zonizzazione differenziata per la domanda passeggeri e merci e la realizzazione o acquisizione di studi, eventualmente esistenti, di assegnazione dei traffici passeggeri e merci e di stima degli indici di accessibilità attivi e passivi delle zone territoriali e dei siti caratterizzati da significativa concentrazione delle densità insediative e/o produttive e dei siti logistici.

Le campagne conoscitive sono finalizzate a stimare l'impatto in termini socioeconomici della funzionalità del manufatto, inteso quale elemento della rete di trasporto in grado di assicurare funzioni di collegamento ed accessibilità tra le zone del territorio, le sue attività ed i suoi siti di produzione, di consumo, logistici e di distribuzione. A tal fine occorre tenere

in considerazione eventuali studi trasportistici facenti parte della documentazione originaria di progetto (analisi di domanda e risultati di assegnazioni di traffico, valutazioni di impatto socioeconomico, analisi B-C e/o multicriteria, ecc.) e/o dei piani e programmi disponibili presso enti di governo territoriale competenti od altri soggetti, verificando che l'attualità delle ipotesi su cui essi si fondano rimangano valide, che le trasformazioni territoriali e di insediamento delle attività siano trascurabili, che le reti non abbiano subito sostanziali variazioni e che i meccanismi di distribuzione del traffico e le configurazioni di accessibilità non siano sostanzialmente variati. Particolare importanza rivestono gli studi realizzati nell'ambito della attività di pianificazione dei trasporti a scala regionale e comunale (piani regionali dei trasporti, piani di bacino, piani comunali dei trasporti, piani di mobilità, studi di fattibilità, ecc.). I raffronti finalizzati a verificare la attualità ed utilizzabilità degli studi acquisibili devono essere accompagnati da eventuali sessioni temporanee di conteggio dei flussi, lungo gli itinerari di maggiore interesse, che possano validare gli studi pregressi od evidenziare una loro necessità di aggiornamento. Occorre considerare sia la domanda passeggeri che la domanda merci. In ogni caso, è necessario esplicitare l'impatto dei manufatti in termini di assorbimento della aliquota di assegnazione relativa a diverse coppie origine-destinazione e di contributo alla accessibilità attiva e passiva delle zone di localizzazione delle attività residenziali commerciali e produttive.

Nel caso in cui le informazioni esistenti non siano in condizioni di fornire una visione completa, occorre integrare il quadro conoscitivo a partire proprio da quanto disponibile. L'integrazione deve avvenire utilizzando modelli comprendendo operazioni di delimitazione dell'area di influenza dei manufatti, di zonizzazione del territorio, di stima delle domande di mobilità delle persone e di trasporto delle merci, di calcolo delle percentuali di assegnazione assorbite dai manufatti e di stima del contributo degli stessi alle accessibilità attive e passive. La caratterizzazione dei modelli è supportata da indagini territoriali e sulla distribuzione delle attività, nonché dal rilievo di flussi di traffico (passeggeri e merci) da effettuare con l'ausilio di postazioni temporanee, o di postazioni fisse, già presenti sul territorio o da realizzare. Postazioni esistenti, da realizzare e temporanee possono essere utilizzate in maniera integrata e comunque in numero sufficiente da assicurare la accuratezza dei modelli.

All'interno del processo di acquisizione progressiva di conoscenza sono identificati livelli diversi di approfondimento; nello specifico:

- Analisi della rilevanza locale; analisi e informazioni su scala territoriale ristretta, finalizzate a valutare l'apporto funzionale dei manufatti al soddisfacimento delle esigenze di mobilità locali; i modelli devono riferire ad una rappresentazione comunale (sub-comunale per i comuni principali ed a maggiore intensità di attività); i livelli di rete rappresentata comprendono quelli della mobilità comunale e locale.
- Analisi della rilevanza principale; analisi e informazioni su scala territoriale ampia, finalizzate a valutare l'apporto funzionale dei manufatti al soddisfacimento delle esigenze di mobilità e trasporto a scala regionale ed intraregionale; a tale livello i modelli di riferimento devono avere dimensione estesa con dettaglio della rappresentazione a scala provinciale (comunale per le province principali, ed a intensità di attività maggiore); i livelli di rete rappresentata comprendono quelli della mobilità regionale ed interregionale. ad intensità di attività maggiore, e per le città metropolitane).
- Analisi di rilevanza strategica; finalizzate a valutare l'apporto funzionale dei manufatti al soddisfacimento delle esigenze di mobilità e trasporto con riferimento alla scala vasta dei traffici di livello nazionale o sovranazionale; a tale livello i modelli di riferimento devono avere dimensione territoriale ampia e dettaglio della zonizzazione e della rappresentazione delle reti riferito ai livelli gerarchici di rete superiori (zone ampie e reti di trasporto di gerarchia elevata).

1.5 PRIORIZZAZIONE DELLE ATTIVITÀ

I diversi livelli di analisi non sono necessariamente da applicare in maniera sequenziale, poiché non occorre attendere il completamento delle attività previste in un livello per avviare quelle del livello successivo.

In particolare, l'attività di censimento e l'accurata e completa raccolta di documentazione e informazioni di base sulle infrastrutture esistenti del Livello 0 può richiedere tempi non compatibili con la necessità e l'urgenza di conoscere e valutare, almeno visivamente, lo stato di conservazione delle opere. Occorre pertanto che, per facilitare e velocizzare l'organizzazione delle attività relative all'approccio multilivello proposto, gli enti gestori adottino criteri di priorità, anche in assenza di tutte le informazioni da censimento, individuando le tratte viarie da analizzare prioritariamente.

Quanto acquisito e valorizzato in veste sistematica nel Livello 0 concorre alla individuazione del livello di conoscenza disponibile, dove a fronte di informazioni parziali o incomplete si ricorrerà necessariamente ad una valutazione più conservativa nella individuazione della Classe di Attenzione attribuita a ciascuna galleria.

A tal fine, è necessario analizzare gli aspetti legati alla viabilità e alle caratteristiche delle reti stradali, sì da minimizzare le conseguenze su comunità ed economie locali a causa di carenze strutturali ed eventuali conseguenti condizionamenti sull'esercizio.

Tra questi aspetti, occorre valutare il *volume di traffico*, considerando il Traffico Giornaliero Medio ritenendo prioritarie le tratte stradali considerate fondamentali per la circolazione veicolare, la cui chiusura potrebbe causare disagi rilevanti ad attività economiche e sociali, specie se assenti adeguati percorsi alternativi. Si terrà altresì conto della *vetustà della tratta stradale*, in relazione quindi del suo anno di realizzazione, tenendo ovviamente conto dei successivi interventi di manutenzione e riqualificazione, con interventi di ripristino o di miglioramento o di adeguamento.

Oltre a fattori prettamente legati alle caratteristiche delle reti stradali, occorre considerare le informazioni già disponibili sullo *stato di conservazione* delle opere, ottenute, ad esempio, da ispezioni periodiche pregresse o comunque note all'ente gestore, da un lato per valorizzare le informazioni e lo stato di conoscenza già disponibili, dall'altro per graduare le priorità per le attività, comprendenti ispezioni, valutazione di sicurezza e interventi, lungo le tratte che includano opere per le quali è già stata segnalata la presenza di fenomeni di degrado o di possibili criticità.

In definitiva, si sottolinea l'importanza di definire parametri e criteri, quali quelli sopra citati o qualsiasi altro ritenuto significativo, che permettano di individuare le priorità con cui eseguire le attività di censimento, ispezione e classificazione, da avviare contestualmente al progredire di ciascuna attività.

1.6 MODELLI INFORMATIVI

La classificazione e le azioni di verifica e monitoraggio delle infrastrutture, per essere efficaci, devono essere inserite in un quadro complessivo di gestione anche di sistemi informativi delle opere che, tenendo conto delle effettive necessità e delle risorse disponibili, mirino a garantire livelli di sicurezza adeguati al patrimonio infrastrutturale nazionale.

L'articolo 23, comma 13, del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50, definisce le modalità di introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche. Tali metodi sono introdotti progressivamente con un orizzonte temporale di obbligatorietà al 2025 nell'ambito delle nuove realizzazioni di opere pubbliche.

Si raccomanda pertanto agli Enti gestori, nell'ambito delle attività di classificazione, verifica e monitoraggio, di valutare per le opere esistenti di maggiore lunghezza, in cui è presente inoltre una rilevante componente impiantistica, l'adozione progressiva di modelli informativi dell'infrastruttura ovvero l'insieme di contenitori di informazione strutturata e non strutturata, generata da tali strumenti digitali, che consentano una gestione efficace e trasparente del cespite attraverso l'utilizzo di ambienti di condivisione dati e piattaforme interoperabili dei dati, degli oggetti costruttivi e dei modelli informativi.

Tali modelli informativi, creati sulla base dei rilievi, delle prove materiche e dei monitoraggi effettuati ed in corso, possono costituire il riferimento informativo dell'Archivio Informatico Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP). Si raccomanda inoltre che detti modelli possano essere anche aggiornati in tempo reale, costituendo quindi un banca dati aggiornata per le necessarie azioni di *asset management*.

Gli Enti gestori infine creano ed alimentano progressivamente la banca dati digitale di tutte le gallerie, compatibilmente con i contenuti previsti dall'art.13 del D.L. 28 Settembre 2018 n. 109 e secondo le relative regole di alimentazione del sistema AINOP, archivio dinamico, da rendere disponibile ai competenti soggetti che svolgono attività di vigilanza, iniziando da quelle opere che presentano una classe di attenzione più alta e procedendo, gradualmente, verso la completa digitalizzazione delle infrastrutture di che trattasi.

I gestori delle gallerie nella implementazione e gestione dei loro sistemi informativi, a partire dalla compilazione in formato elettronico delle schede di censimento delle gallerie (Livello 0), adotteranno formati elettronici interpretabili senza ricorso a software soggetti a licenza, tali da consentire il trasferimento e migrazione in via informatizzata degli stessi dati sulla piattaforma AINOP e verso qualunque altro sistema di interesse dei soggetti vigilanti e di altri soggetti istituzionali.

1.7 COMPETENZE DEGLI OPERATORI

Le attività ispettive e valutative previste dalle presenti Linee Guida, siano esse svolte direttamente dai gestori o da soggetti indipendenti, saranno affidate a personale di adeguate competenze, che concorrano alla attuazione di un sistema di gestione qualificato della sicurezza delle gallerie che consenta di rendere confrontabili le varie situazioni,

per prevenire condizioni lesive della sicurezza e ottimizzare la pianificazione delle attività manutentive nell'ambito delle opere di competenza di ciascun gestore.

Per ogni galleria sarà individuato un responsabile di galleria di adeguata esperienza e competenza che coordinerà le attività di ispezione, di indagine e di giudizio esperto in tutte le varie fasi previste dalle linee guida. Il responsabile della galleria provvederà al coordinamento per la programmazione delle varie fasi, comprese le attività di indagine e progettazione che si riconoscessero necessarie, nonché per l'attuazione del piano di manutenzione integrato sulla base delle indicazioni delle presenti Linee guida.

I requisiti per la competenza degli operatori delle ulteriori attività saranno definiti con regolamento emanato previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, adottato di intesa con l'ANSFISA, sentiti i soggetti istituzionali che hanno compiti di vigilanza sui gestori, il Consiglio Nazionale degli Ingegneri, il Consiglio Nazionale dei Geologi ed i rappresentanti dei gestori. Si prevede a regime il ricorso ad operatori in possesso di certificazione rilasciata da Organismi di Certificazione accreditati, in particolare per le ispezioni delle opere civili ed infrastrutture

Nelle more dell'adozione di tale regolamento saranno adottate soluzioni organizzative sulla base di criteri di qualifica già disponibili.

1.8 LABORATORI DI PROVA

Ai fini delle applicazioni di cui alle presenti Linee Guida, per le ispezioni approfondite con ricorso ad indagini specialistiche per l'attuazione del programma di indagini, predisposto in ambito di giudizio esperto per le verifiche di sicurezza ed eventuale progettazione di interventi a seguito della definizione della Classe di attenzione, il prelievo e le prove distruttive sui materiali da costruzione di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7617/STC s.m.i., le prove di laboratorio sulle terre e sulle rocce di cui alla Circolare 08 settembre 2010, n. 7618/STC s.m.i., nonché le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti di cui alla Circolare 03 dicembre 2019 n. 633/STC e s.m.i., in quanto rivestono rilevanza a fini di attività di valutazione di sicurezza e progettuali devono essere effettuate e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001 e s.m.i., dotato di specifica autorizzazione, ove prevista, in grado di operare in termini di migliori condizioni di qualità, affidabilità, indipendenza, integrità ed imparzialità nelle attività di prove e certificazione.

Nel corso delle ispezioni periodiche gli ispettori per le loro attività potranno avvalersi direttamente di strumenti portatili per prove speditive (sclerometri, pacometri, fessurimetri, ecc.), a corredo delle rilevazioni visive.

2. LIVELLO 0. CENSIMENTO DELLE OPERE E LIVELLO DI CONOSCENZA

2.1 OBIETTIVI DEL CENSIMENTO

Il censimento delle gallerie esistenti previsto dal Livello 0 dell'approccio multilivello consiste nel catalogare tutte le opere presenti sul territorio ricadenti nell'ambito di applicazione delle presenti linee guida, 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 di una maggiore conoscenza del loro stato di conservazione, sia relativamente alla rete stradale in cui sono inserite ed al sito in cui è ubicata.

La raccolta dei dati inerente il censimento da parte degli enti gestori, come previsto dal sistema AINOP, permette altresì di creare un database delle gallerie esistenti sul territorio nazionale, finalizzato a catalogare il vasto patrimonio infrastrutturale. È necessario che i dati siano progressivamente aggiornati quando verrà acquisita nuova documentazione, nel rispetto di quanto previsto dalle presenti linee guida.

Il quadro di semplice contezza delle opere deve essere integrato fino a pervenire ad un quadro di consapevolezza delle gallerie esistenti. È da ritenersi parte integrante del censimento la raccolta di tutti gli elementi già disponibili che concorrono alla qualifica del livello di conoscenza associabile a ciascuna opera. Lo stato di conservazione delle opere esistenti non è condizionato dai soli fenomeni di "invecchiamento" delle strutture e dei materiali. Tali fenomeni certamente dipendenti dal tempo, possono variamente risentire di particolari caratteristiche del contesto naturale che ospita la galleria, delle originarie scelte progettuali per tipologia e criteri di dimensionamento, delle modalità realizzative, degli interventi di manutenzione adottati nel corso dell'esercizio. Tutti questi fattori sono a loro volta direttamente correlati alle tecniche disponibili all'epoca di costruzione, nonché ad inevitabili difetti in cui si può essere incorsi nel corso della progettazione, realizzazione e gestione.

Ne consegue che per un appropriato inquadramento dello stato di conservazione è necessario in via preliminare esaminare unitariamente la documentazione reperibile che risalga fino alla fase di progettazione, al corso d'opera ed alle indagini e interventi in corso di esercizio.

Le informazioni raccolte nel censimento consentono altresì di individuare un ordine di priorità utile per programmare le ispezioni visive iniziali e avviare le attività previste dal Livello 1 dell'approccio.

Inoltre, l'utilizzo dei dati raccolti nel censimento e le successive ispezioni visive sulle strutture (Livello 1) permettono di individuare i casi in cui è direttamente necessaria una verifica approfondita della sicurezza (prevista dal Livello 4), superando la fase di classificazione (Livello 2). Tali casi sono analizzati nel dettaglio nel § 3.4.

2.2 MODALITÀ DI ACQUISIZIONE E DI RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

L'acquisizione dei dati contenuti nel censimento si esegue sulla base dell'analisi delle informazioni e della documentazione disponibile e dell'uso di sistemi di mappatura ricorrendo preferibilmente a strumenti informatizzati.

Il reperimento della documentazione tecnica ed amministrativa inerente la galleria è un'operazione cruciale per raccogliere le informazioni necessarie per la successiva valutazione preliminare dei fattori di rischio. La elaborazione e sintesi di tali dati rappresenta un dovuto momento di valorizzazione delle risorse impiegate per indagini e studi già eseguiti in tempi pregressi, nella fase di progettazione, di costruzione e di esercizio, e faranno parte della documentazione tecnica della galleria. Si sottolinea pertanto l'importanza di eseguire una ricerca documentaria approfondita ed accurata, sia dei documenti prettamente tecnici (relativi a progetto, esecuzione, successivi interventi, ecc.), sia di documenti amministrativo contabili, che consentano di ricostruire le vicende e le trasformazioni subite dall'opera nel corso degli anni. È importante anche reperire tutte le analisi e misure sperimentali eseguite al fine di caratterizzare la geometria, l'eventuale stato di danneggiamento e i materiali costituenti la galleria. L'attualità dei dati reperiti è poi verificata nelle fasi successive di ispezione, rilievo e analisi in situ.

Occorre porre anche attenzione al reperimento di eventuali dati esistenti inerenti la conoscenza del ruolo che il manufatto riveste all'interno del sistema di trasporto, definendo la rilevanza del manufatto, rispetto al soddisfacimento di bisogni di mobilità e trasporto e quindi dal punto di vista socioeconomico. A tal proposito occorre analizzare le reti stradali o di trasporto di appartenenza delle opere censite, relativamente a volumi e tipologia di traffico, oltre ad informazioni che permettano di stimare la presenza, lunghezza e percorribilità delle alternative stradali disponibili in caso di eventuali limitazioni o chiusure al transito dei veicoli lungo le tratte in cui ricadono gallerie. Tali informazioni possono essere acquisite mediante raccolta dei rilievi eseguiti dall'ente amministrativo di competenza e dai risultati di studi trasportistici specifici già condotti.

Per ogni struttura è predisposta una *“Scheda di censimento e conoscenza di Livello 0”* (Allegato A), che consenta di sintetizzare le informazioni disponibili che di fatto rappresenta la prima fase nella organizzazione della documentazione che concorre ad una sorta di fascicolo della galleria.

La scheda di censimento iniziale, sottoscritta dal responsabile della galleria riporterà nelle conclusioni un giudizio sul grado delle conoscenze già disponibili, la individuazione preliminare degli indicatori di pericolosità di maggiore interesse fra quelli che concorrono alla individuazione delle classi di attenzione, indicando particolari zone da prendere in esame per successivi approfondimenti lungo lo sviluppo della galleria stessa.

La *“Scheda di censimento e conoscenza di Livello 0”*, inizialmente intesa come base di partenza per la determinazione della Classe di Attenzione della galleria, sarà progressivamente aggiornata mediante le informazioni che verranno acquisite nel tempo al fine di valorizzare al massimo la conoscenza dell’opera. In relazione alla natura e quantità di informazioni raccolte nel tempo è raccomandato, come in precedenza segnalato, il ricorso ad una gestione informatizzata dei dati.

3. LIVELLO 1. ISPEZIONI INIZIALI E SCHEDE DI DIFETTOSITÀ

3.1 MODALITÀ E FINALITÀ DELLE ISPEZIONI INIZIALI

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 saranno condotte tenendo conto della specificità della singola galleria e del livello di conoscenza già disponibile.

Le ispezioni iniziali sono finalizzate a inquadrare nel contesto reale i dati raccolti nel censimento di Livello 0, raccogliere ulteriori informazioni circa le effettive caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera in esame e del sito di costruzione e valutare, seppur in maniera speditiva, il grado di conservazione delle strutture, specie per quelle opere per le quali le informazioni reperibili sono scarse e il livello di conoscenza basso. Esse forniscono lo stato ed una descrizione quanto più oggettiva possibile delle effettive condizioni dell'opera e del volume significativo del sottosuolo (v. NTC 2018, par.6.2.2), mediante un accurato rilievo fotografico, il rilievo di grandezze geometriche caratteristiche 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 le zone di accesso della galleria e gli elementi non strutturali, quali quelli associati alla installazione di impianti, segnaletica verticale, ecc.

L'esame della documentazione disponibile ed i riscontri visivi, che si potranno avvalere di eventuali indagini speditive con strumenti portatili, dovranno consentire di sviluppare quanto già individuato nel Livello 0 e pervenire ad un primo inquadramento delle problematiche di interesse, in funzione delle caratteristiche della galleria e delle condizioni delle formazioni naturali attraversate.

Il responsabile della galleria, avvalendosi del supporto di specialisti in funzione delle caratteristiche della galleria in esame e di quanto ricostruito sulla base della ispezione visiva iniziale, dovrà valutare per un aggiornamento di quanto già definito in sede di compilazione della scheda di censimento del Livello 0, se per la ricostruzione delle difettosità siano necessarie indagini sperimentali di maggior dettaglio, pianificandone numerosità e localizzazione, anche prevedendo fasi successive di approfondimento, dando luogo ad una ispezione approfondita.

È da osservare che se specifiche condizioni riconosciute per la galleria in esame richiedano ulteriori indagini, per numerosità e tipologia, secondo quanto sopra richiamato, la fase di Livello 1 potrà comunque essere conclusa considerando il difetto di conoscenza quale elemento che concorre all'innalzamento della classe di attenzione, eventualmente da riconsiderare sulla base degli esiti delle indagini successivamente eseguite, secondo il livello di priorità della classe di attenzione inizialmente attribuita.

3.2 SCHEDE DI RILIEVO E VALUTAZIONE DEI DIFETTI

In sede di ispezione iniziale, oltre ad un accurato rilievo fotografico e ad un rilievo geometrico delle dimensioni principali dell'opera (laddove possibile), è eseguito il rilievo dello stato di conservazione della struttura, finalizzato ad individuare, evidenziare e segnalare i fenomeni di degrado ed i difetti presenti, avvalendosi di apposite schede o altro idoneo sistema di gestione informatizzata dei dati già disponibili e raccolti in corso di ispezione. La compilazione di schede permette di indicare la presenza di specifici fenomeni di degrado e l'intensità e l'estensione con cui essi si manifestano. Le indicazioni riportate sulle schede sono poi utilizzate per la determinazione del livello di difettosità, uno dei principali parametri considerati nel metodo di classificazione di Livello 2.

Nell'Allegato B è riportato il catalogo dei difetti con la descrizione di ogni singolo difetto, gli elementi utili a qualificarlo e i criteri generali per la definizione del livello di difettosità.

Nell'Allegato C sono fornite, unitamente alla *scheda di ispezione iniziale*, le *schede di difettosità* da impiegare in fase di ispezione di Livello 1.

Le schede devono essere redatte per ogni tratto di galleria omogeneo, indicativamente secondo conci di sviluppo in lunghezza dell'ordine di 20 m. Le lunghezze dei conci di galleria assumono carattere convenzionale per comodità di rappresentazione e catalogazione dei dati raccolti e saranno definite anche in relazione alle modalità costruttive ed alle dimensioni dei conci di costruzione, con opportuni approfondimenti per considerare particolari condizioni geologiche e strutturali (per esempio attraversamento di discontinuità geologico strutturali). 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, sia per tipo di informazione, sia per sopraggiunte modifiche quando riferite a fenomeno evolutivi. L'adozione di procedure

informatiche favorirà la formazione di un archivio informatizzato in adempimento a quanto richiesto da buona prassi, oltre che da disposizioni normative.

Sono previste schede di difettosità differenziate per ogni tipologia di elementi costituenti la galleria: la struttura, la piattaforma stradale/autostradale, gli elementi non strutturali per le predisposizioni riferite a segnaletica ed impianti. Queste non forniscono di per sé indicazioni circa "lo stato di conservazione" della galleria, ma incidono sull'onere complessivo degli approfondimenti e degli interventi di manutenzione e ripristino che interesseranno l'opera nel suo complesso, tenuto conto oltre che della sicurezza strutturale, anche di quanto previsto dal D.lgs. 5 ottobre 2006, n.264 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea" D.Lgs. 15 marzo 2011, n. 35, riportante "Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali", ambiti che sono oggetto di corrispondenti previsioni nei rispettivi ambiti normativi.

Ogni scheda di difettosità riporta un elenco dei difetti tipici di quell'elemento e di quel determinato materiale, numerati con un codice alfa-numericamente corrispondente a quello identificativo delle *schede di rilievo e valutazione dei difetti* in Allegato C.

Nell'intestazione di ogni scheda di rilievo, per ciascun elemento, è necessario indicare:

- la localizzazione della galleria mediante l'indicazione toponomastica o la denominazione della strada servita e la progressiva chilometrica e la codifica AINOP.
- l'identificativo del concio/sezione di riferimento oggetto di rilievo;
- la data dei sopralluoghi di ispezione e il tecnico che l'ha svolta.

Nel caso in cui il difetto sia rilevato sulla struttura, occorre indicarne l'estensione, secondo gli indicatori quantitativi riportati sulla scheda dello specifico difetto. Tali dati, in sede di valutazione dell'esito dell'ispezione saranno esaminati per definire i valori da attribuire all'estensione del difetto secondo il coefficiente k_1 variabile da 0,2 e 1,0, e all'intensità del difetto stesso, mediante il coefficiente k_2 , anch'esso variabile tra 0,2 e 1,0. I valori che possono assumere i due coefficienti, in relazione agli elementi rilevati in sede di ispezione sono indicati nelle *schede di rilievo e valutazione dei difetti* (Allegato C).

Ad ognuno dei difetti è associato, mediante giudizio esperto, un peso (G), variabile da 1 a 4: difetti meno gravi hanno peso 1, i difetti più gravi hanno peso 4. La presenza di difetti di maggior peso, che necessitano di un rilievo accurato, potrebbe essere indice di rilevanti e/o immediati problemi strutturali potenzialmente lesivi per la sicurezza degli utenti, degli addetti e, pertanto, si considerano particolarmente influenti sulla determinazione del livello di difettosità.

Inoltre, in corrispondenza dei difetti di gravità più elevata (di peso $G=3$ e $G=4$) è presente la possibilità di segnalare il caso in cui la presenza di tale difetto possa pregiudicare la statica dell'opera e rappresentare un rischio rilevante (caselle "PS g", per un difetto che pregiudica la risposta statica "globale" dell'opera, "PS l" per un difetto che, per quanto diffuso, può portare a crisi locali della struttura dell'opera).

È da avvertire che l'ispettore in campo si dovrà limitare alla raccolta degli elementi utili alla successiva fase di qualifica della gravità del singolo difetto, la cui valutazione ai fini della individuazione della Classe di attenzione del Livello 2 sarà effettuata in ambito di giudizio esperto con il coordinamento del responsabile della galleria.

Nel caso in cui il difetto elencato nella scheda non sia rilevato sulla struttura, occorre segnalarlo mediante:

- la casella NA nel caso in cui il difetto non sia applicabile alla tipologia di manufatto ed elemento in esame;
- la casella NR se il difetto non si può rilevare mediante ispezione visiva (es. parte di struttura non accessibile, ecc.);
- la casella NP se il difetto non è effettivamente 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. Si sottolinea l'importanza di acquisire il maggior numero possibile di dati in sede di ispezione, pertanto è bene avere l'accortezza di segnalare in un apposito campo note qualsiasi ulteriore informazione utile anche se non espressamente indicata nelle schede, in adempimento alla primaria funzione dell'ispezione che è di rilievo di tutto quanto potenzialmente utile e significativo per le successive valutazioni.

Oltre alle schede di rilievo della difettosità, per ogni galleria, occorre verificare i dati della *scheda censimento galleria* (Allegato A) con le caratteristiche principali della struttura rilevate durante l'ispezione visiva, quali tipologia strutturale, tipologia e materiale degli elementi strutturali, caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio, schemi geometrici di massima e così via. Le informazioni raccolte in tale scheda sono utili per verificare e confermare l'affidabilità dei dati raccolti nel censimento iniziale e per incrementare la conoscenza del manufatto in esame. Si sottolinea, inoltre, che nella *scheda descrittiva di ispezione* vi è un'apposita sezione dedicata al rilievo degli elementi critici,

definiti al § 3.3, particolarmente influenti nella definizione del livello di difettosità attuale e, di conseguenza, della classe di attenzione strutturale locale e/o strutturale globale e geotecnica.

3.3 DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI CRITICI

L'ispezione visiva in situ e la compilazione delle schede di difettosità permette di individuare la presenza di "elementi critici", indicando con tale termine gli elementi particolarmente soggetti ai fenomeni di degrado e le cui evoluzioni possono incidere significativamente sul comportamento strutturale globale e/o locale della galleria, ovvero gli elementi o le condizioni per i quali la presenza di uno stato di degrado avanzato è da segnalare immediatamente.

3.4 CASI IN CUI SONO NECESSARIE VALUTAZIONI ACCURATE E DI DETTAGLIO: DAL LIVELLO 1 AL LIVELLO 4

I dati raccolti nel censimento delle opere di Livello 0 e acquisiti durante le ispezioni iniziali di Livello 1 permettono di identificare i casi nei quali è richiesta l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello e che, quindi, non sono oggetto di classificazione.

Tali casi sono essenzialmente quelli per cui è necessaria la valutazione della sicurezza secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni al Cap. 8.3 "Valutazione della sicurezza", per quanto applicabile alle gallerie esistenti.

In ogni caso, tale possibilità si considera valida ogni qualvolta si ritiene necessario ed utile un approfondimento immediato delle indagini e una valutazione di rischio accurata.

4. LIVELLO 2. ANALISI DEI RISCHI RILEVANTI E CLASSIFICAZIONE SU SCALA TERRITORIALE

La classificazione delle gallerie su scala territoriale consiste nella stima, semplificata e speditiva, dei fattori di “rischio” associati ai manufatti, censiti ed ispezionati nei livelli precedenti, ed effettuata in ambito di giudizio esperto.

Il rischio associato alle gallerie è stimato in modo convenzionale mediante la Classe di Attenzione (CdA). Si ritiene, infatti, fuorviante parlare di rischio vero e proprio, in quanto la sua analisi richiede valutazioni ed indagini più complesse ed approfondite rispetto a quelle semplici e speditive previste dal Livello 2 e non può basarsi sulle sole informazioni raccolte mediante ispezioni o analisi sperimentali preliminari. La classe di attenzione è, invece, una stima approssimata dei fattori di rischio, utile per la definizione di un ordine di priorità per l’approfondimento delle indagini/verifiche/controlli nonché per la programmazione degli interventi manutentivi e strutturali necessari.

Le presenti Linee Guida prevedono 4 Classi di Attenzione:

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

Il valore della Classe di Attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della pericolosità, dell’esposizione e della vulnerabilità associati alla singola opera, effettuata elaborando i risultati scaturenti dal quadro di conoscenze già disponibili e dalle ispezioni del Livello 1. In ogni caso, la Classe di Attenzione determinata non può essere inferiore a CdA Bassa e superiore a CdA Alta.

In merito occorre innanzitutto specificare quali sono i rischi considerati rilevanti per le gallerie, considerando le loro peculiarità e quelle dei contesti in cui esse sono generalmente inserite. Anche in considerazione dei diversi periodi di ritorno e della diversa natura delle azioni preponderanti da cui esse dipendono, risulta conveniente distinguere le seguenti tipologie di rischio:

- Rischio connesso alla risposta strutturale “globale” della galleria e geotecnico, quale interazione fra galleria e formazioni naturali attraversate;
- Rischio connesso a problematiche “locali” della struttura della galleria, compresa la stabilità degli elementi non strutturali relativi a segnaletica verticale e impianti;
- Rischio sismico;
- Rischio stradale;

e con riferimento al contesto esterno alla struttura della galleria:

- Rischio geologico associato al rischio frane;
- Rischio idraulico.

È dunque utile e necessario analizzare i rischi rilevanti in maniera separata ed indipendente, definendo un metodo di classificazione e, quindi, una Classe di Attenzione diversa per ognuno di essi 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.

Ciascuna Classe di Attenzione risulta univocamente definita sulla base di uno schema logico basato sulla combinazione di tre distinti parametri: PERICOLOSITÀ, ESPOSIZIONE, VULNERABILITÀ. Nel caso della Classe di attenzione geologica, riferendosi alla franosità, con riferimento a fenomeni profondi che interagiscono con lo sviluppo della galleria o di qualunque entità che possano interessare gli imbocchi, al posto della pericolosità si considera la SUSCETTIBILITÀ, termine che esclude dal concetto di pericolosità una valutazione sui tempi di accadimento dell’evento.

I metodi con cui sono valutate e, di conseguenza, classificate le diverse CdA si basano quindi su regole e approcci comuni. I parametri che le definiscono sono invece differenti e scelti tra quelli ritenuti maggiormente rilevanti per le diverse tipologie di rischio considerate.

Note le CdA associate ai rischi rilevanti, esse sono poi combinate tra loro (come descritto al § 4.8) in modo da ottenere la CdA complessiva della galleria, su cui basare le successive azioni da intraprendere così come illustrato sinteticamente in *Figura 1.1*.

4.1 STRUTTURA GENERALE DEL METODO DI CLASSIFICAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE

La definizione di classe di attenzione proposta è ispirata al noto schema di definizione di rischio, ossia è il risultato della combinazione di tre fattori principali: pericolosità, vulnerabilità ed 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”, includendo tra i primi quelli con maggiore importanza ai fini della classificazione.

La determinazione dei fattori e quindi della classe di attenzione, si esegue mediante un approccio per “*classi ed operatori logici*”, ossia raggruppando ogni parametro principale e secondario in classi e combinando le classi tra loro mediante flussi logici.

I parametri primari e secondari sono determinati elaborando, mediante un giudizio esperto cui concorrono più specialisti, i dati raccolti mediante il censimento e la ricostruzione del quadro di conoscenze disponibili (§ 2 Livello 0) e le ispezioni visive (§ 3 Livello 1). A seconda del valore dei parametri primari si individuano 4 classi – bassa, medio-bassa, medio-alta, alta – definite con criteri e range di variazione specifici per ogni parametro. Tali classi sono poi corrette in funzione dei parametri secondari, classificati in 2 o più classi.

Si individuano, quindi, le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, tra le 4 previste - bassa, medio-bassa, medio-alta, alta – combinando le classi dei parametri primari e secondari relativi, seguendo il percorso logico sintetizzato nella figura seguente.

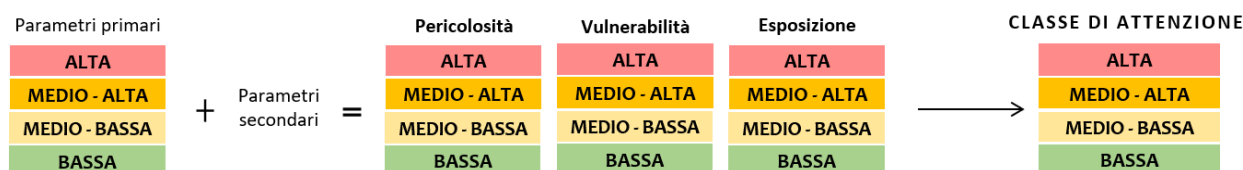


Figura 4.1 - Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione

La classe di attenzione, anch’essa distinta in 4 classi, si ottiene infine dalla combinazione delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione secondo lo schema generale, valido per tutti gli aspetti che concorrono alla definizione del rischio come riportato nelle seguenti tabelle:

Tabella 4.1 – Determinazione della classe di attenzione

Classe di pericolosità/suscettibilità 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/suscettibilità MEDIO-ALTA

		Classe di esposizione			
		<i>Alta</i>	<i>Medio-Alta</i>	<i>Medio-Bassa</i>	<i>Bassa</i>
Classe di vulnerabilità	<i>Alta</i>	Alta			
	<i>Medio-Alta</i>	Alta		Medio-Alta	
	<i>Medio-Bassa</i>	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	<i>Bassa</i>	Medio-Bassa		Bassa	

Classe di pericolosità/suscettibilità MEDIO-BASSA

		Classe di esposizione			
		<i>Alta</i>	<i>Medio-Alta</i>	<i>Medio-Bassa</i>	<i>Bassa</i>
Classe di vulnerabilità	<i>Alta</i>	Alta		Medio-Alta	
	<i>Medio-Alta</i>	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	<i>Medio-Bassa</i>	Medio-Bassa		Bassa	
	<i>Bassa</i>	Bassa			

Classe di pericolosità/suscettibilità BASSA

		Classe di esposizione			
		<i>Alta</i>	<i>Medio-Alta</i>	<i>Medio-Bassa</i>	<i>Bassa</i>
Classe di vulnerabilità	<i>Alta</i>	Alta		Medio-Alta	
	<i>Medio-Alta</i>	Medio-Alta		Medio-Bassa	
	<i>Medio-Bassa</i>	Medio-Bassa		Bassa	
	<i>Bassa</i>	Bassa			

Particolare cautela deve essere posta nei casi in cui non si dispone di tutte le informazioni necessarie per la definizione dei parametri primari e secondari, non potendo eseguire una classificazione accurata ed affidabile; tali casi devono essere segnalati esplicitamente.

Si sottolinea che, nell'approccio per classi ed operatori logici utilizzato, non è previsto il calcolo di indicatori numerici finali.

La classe di attenzione che caratterizza la galleria è quella corrispondente alla tratta nelle condizioni più critiche ed è qualificata da un indice di diffusione, pari all'incidenza percentuale della estensione della tratta critica sulla lunghezza della galleria, nonché dalle tipologie di pericolo che determinano le condizioni di criticità.

4.2 CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICA

La definizione della classe di attenzione strutturale globale e geotecnica considera i principali parametri influenti sul comportamento strutturale dell'opera (con particolare riferimento al rivestimento definitivo) a livello globale e la sua interazione con l'ammasso di roccia o terreno al contorno.

Si tratta quindi di considerare i parametri relativi all'entità e alle variazioni dei carichi agenti rispetto alle previsioni progettuali sul rivestimento definitivo, nonché fattori inerenti alle caratteristiche prettamente strutturali del rivestimento delle gallerie e al loro livello di difettosità.

La classe di attenzione è definita su un tratto di galleria omogeneo di lunghezza dell'ordine di 20 m, da stabilire convenzionalmente anche in relazione alla tipologia costruttiva ed alla lunghezza dei conci di costruzione, in accordo con le schede di difettosità provenienti dalle ispezioni dei tecnici specializzati o per lunghezze anche minori per considerare particolari condizioni geologiche e strutturali (per esempio attraversamento di faglie).

I parametri per la determinazione delle CdA sono distinti in “parametri primari” e “parametri secondari”, come indicato nella tabella seguente.

Tabella 4.2 – Parametri primari e secondari per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio strutturale globale e geotecnico

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Livello di conoscenza delle caratteristiche geotecniche, idrogeologiche ed idrauliche dell’ammasso e affidabilità del modello geomeccanico	Caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso roccioso e/o del terreno Fattori esterni interagenti con la struttura della galleria
Vulnerabilità	Livello di difettosità Tipologia di galleria, materiali costituenti e problematiche costruttive	Rapidità di evoluzione del degrado Presenza di acque circolanti o di infiltrazione e presenza dello strato di impermeabilizzazione
Esposizione	Livello del TGM Lunghezza della galleria	Veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t) Veicoli che trasportano merci pericolose Velocità massima di progetto. Itinerari alternativi Interferenza con edifici ed infrastrutture

4.2.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICA

La pericolosità è legata alla probabilità che il rivestimento definitivo della galleria sia soggetto a sollecitazioni diverse da quelle di progetto, tali da avvicinarlo alla resistenza strutturale dello stesso.

La possibilità che si verifichino variazioni delle sollecitazioni rispetto allo stato di progetto dipende da:

- caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso roccioso e/o del terreno e affidabilità del modello geomeccanico (ovverosia dei modelli geologico e geotecnico);
- fattori esterni interagenti con la struttura della galleria.

4.2.1.1 Livello di conoscenza delle caratteristiche geotecniche dell’ammasso e affidabilità del modello geomeccanico

La definizione dei carichi è una scelta progettuale basata su indagini e sondaggi che sono inevitabilmente limitati nel caso delle opere in sotterraneo e che sono via via più complesse quanto più la galleria è profonda o l’ammasso ha un comportamento complesso. L’entità della possibile variazione delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo rispetto alla condizione di progetto è quindi dovuta alle incertezze relative alla conoscenza del modello geologico ed alla caratterizzazione geotecnica dell’ammasso roccioso e/o dei terreni a tergo del rivestimento della galleria.

A partire da una valutazione esperta in relazione al livello di conoscenza della galleria e all’affidabilità del modello geomeccanico complessivo è possibile definire 4 differenti classi riportate in *Tabella 4.3*.

Qualora non fossero disponibili informazioni in relazione al livello di conoscenza deve sempre riferirsi ad una CdA Alta. Laddove per gallerie vetuste non siano disponibili informazioni di tipo progettuale, sulle indagini e/o sul modello geomeccanico, in sede di studio della galleria, per gli scopi di cui al presente documento, tramite indagini specifiche, sarà possibile modificare il livello di conoscenza e di conseguenza modificare l’operatore logico.

Tabella 4.3 – Classificazione del livello di conoscenza del modello geologico

ALTA	Livello di conoscenza e affidabilità del modello geomeccanico nullo
MEDIA	Livello di conoscenza e affidabilità del modello geomeccanico medio
BASSA	Livello di conoscenza e affidabilità del modello geomeccanico approfondito

4.2.1.2 Caratteristiche geomeccaniche dell’ammasso roccioso e/o del terreno

Gli ammassi rocciosi e i terreni con buone caratteristiche geomeccaniche sono un fattore di stabilizzazione e per questa ragione incidono positivamente sulla pericolosità della galleria. Si considerano seguendo la tabella seguente.

Tabella 4.4 – Classificazione caratteristiche ammasso roccioso e/o terreno

Classe A	Ammasso roccioso o terreno con medie e medio-basse caratteristiche geomeccaniche che ha richiesto un rivestimento di prima fase e/o l'uso sistematico di consolidamenti per conseguire la stabilizzazione del cavo prima della realizzazione del rivestimento definitivo
Classe B	Ammasso roccioso o terreno con buone caratteristiche geomeccaniche, autoportante in fase di scavo, con uso occasionale di bullonatura

4.2.1.3 Fattori esterni interagenti con la struttura della galleria

Variazioni dell'entità delle sollecitazioni agenti sul rivestimento possono verificarsi dopo la costruzione della galleria a causa di opere, infrastrutture e/o versanti instabili che interagiscono con la galleria stessa gravando sul rivestimento come riportato nella tabella seguente.

Tabella 4.5 - Classificazione dei fattori esterni

Classe A	Opere, infrastrutture superficiali e/o versanti instabili che inducono rilevanti variazioni di carico per gallerie con bassa copertura
Classe B	Opere, infrastrutture superficiali e/o versanti instabili che inducono rilevanti variazioni di carico per gallerie con media copertura o opere e/o infrastrutture superficiali che inducono basse variazioni di carico per gallerie a bassa copertura

La pericolosità associata alla galleria può quindi essere valutata combinando i fattori analizzati come riportato nella seguente figura.

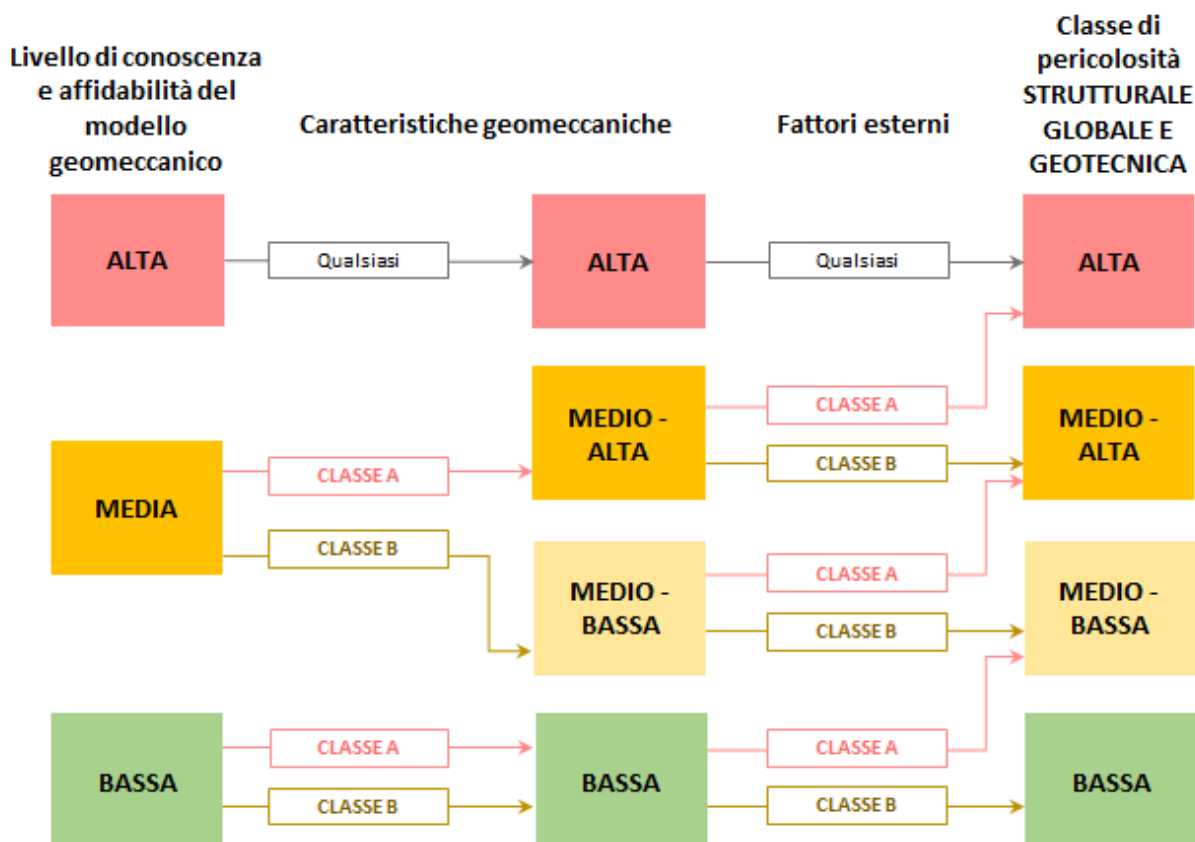


Figura 4.2 – Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità strutturale globale e geotecnica

4.2.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICA

Il livello di vulnerabilità dipende da diversi parametri (*Tabella 4.2*), in particolare:

- parametri principali: livello di difettosità, tipologia di galleria, tecniche e complessità costruttive;
- parametri secondari: rapidità di evoluzione del degrado, presenza dello strato di impermeabilizzazione.

4.2.2.1 Livello di difettosità

Il livello di difettosità è legato all'attuale stato di conservazione della struttura nel concio di rivestimento di ispezione ed è valutabile dall'elaborazione, mediante giudizio esperto, dei risultati delle indagini speditive e del rilievo difettologico previsto dal Livello 1 dell'approccio multilivello. In particolare, per la definizione della classe di attenzione strutturale globale e geotecnica si fa riferimento ai difetti dei materiali del rivestimento (parte 1 delle schede di difettosità) e ai difetti relativi agli elementi strutturali e alla geometria della galleria in termini di fessure, deformazioni, difetti costruttivi, difetti associati al fuoco e alla scarsa manutenzione (parte 3 delle schede di difettosità).

Il livello di difettosità, quindi, è classificato in 4 classi (da alta a bassa), in funzione della gravità, dell'intensità e dell'estensione dei difetti rilevati, e della sua rilevanza sul comportamento strutturale del concio ispettivo della galleria come riportato in *Tabella 4.6*.

Facendo riferimento alle schede di difettosità delle gallerie è opportuno segnalare che qualora si sia in presenza di interventi che richiedono un urgente ripristino ai fini della sicurezza dell'infrastruttura, segnalati nelle caselle PSg e PSI delle schede di difettosità, la galleria deve essere considerata in Classe di Attenzione Alta, qualificata con l'Indice di diffusione (espresso in %) in relazione allo sviluppo in lunghezza dell'insieme dei conci effettivamente interessati, e devono essere presi tempestivamente gli opportuni provvedimenti.

Tabella 4.6 – Descrizione sintetica del livello di difettosità per vulnerabilità strutturale e geotecnica globale

ALTA	Difetti di gravità alta o medio-alta (G=4, G=3) e di qualsiasi intensità su elementi critici (calotta e/o reni) o presenza di condizioni critiche (quadri fessurativi molto estesi ed intensi, difetti costruttivi, abbassamento in chiave del concio)
MEDIO-ALTA	Difetti di gravità alta o medio-alta (G=4, G=3) e di intensità elevata su elementi non critici tali da poter innescare in futuro una crisi che potrà compromettere la statica dell'opera o la sua funzionalità
MEDIO-BASSA	Difetti di gravità medio-alta (G=3) con intensità medio-bassa o difetti di gravità medio-bassa e bassa (G=2, G=1) e di qualsiasi intensità, in numero elevato
BASSA	Difetti di gravità medio-bassa o bassa (G=2, G=1) e di qualsiasi intensità, in numero esiguo

4.2.2.2 Rapidità del degrado nel tempo

Il livello di difettosità non è sufficiente per stimare la vulnerabilità della galleria in quanto essa dipende anche dalla rapidità con cui tale livello di difettosità è stato raggiunto. Infatti, mentre un determinato livello di difettosità per una galleria in opera da un tempo significativo si può considerare il fisiologico decadimento del calcestruzzo, lo stesso livello di difettosità rilevato su una galleria recentemente costruita richiede una maggiore attenzione, in quanto indica un processo di degrado in sviluppo e che, probabilmente, la difettosità raggiungerà rapidamente livelli significativi.

Il confronto in funzione dell'anno di costruzione è ovviamente significativo nel caso in cui le gallerie non siano state oggetto di rilevanti interventi manutentivi. Al contrario, nel caso in cui si abbia evidenza di interventi manutentivi, opportunamente documentati, che abbiano limitato in maniera significativa i fenomeni di degrado, riconducendo lo stato di conservazione dell'opera nella pratica alle sue condizioni iniziali, occorre fare riferimento all'anno dell'ultimo intervento di manutenzione effettuato, attribuendo una vulnerabilità più alta alle gallerie per cui gli interventi sono più recenti ma che attualmente si trovano allo stesso livello di degrado di opere su cui si è intervenuto meno recentemente. Utilizzando la documentazione disponibile dal censimento di Livello 0 ed un attento esame visivo dell'opera ed eventualmente strutturale, occorre valutare la tipologia degli interventi di manutenzione a cui è stata soggetta l'opera e la loro efficacia nel riparare i difetti o i danneggiamenti conseguenti ai fenomeni di degrado.

Secondo quanto detto, la rapidità di evoluzione del degrado è stimata, in funzione del periodo di costruzione della galleria, nel caso di assenza di interventi manutentivi, o del periodo di attuazione dell'ultimo intervento di manutenzione significativo, in caso contrario.

A tal fine si distinguono 3 categorie in funzione del periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativa:

- periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo antecedente al 1950;
- periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo compreso tra il 1950 e il 1990;
- periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo posteriore al 1990.

Nota l'anno di realizzazione della galleria e degli interventi manutentivi effettuati o ipotizzandoli, laddove ci siano condizioni sufficienti per farlo, si stabilisce a quale categoria occorre fare riferimento e si corregge la classificazione del livello di difettosità attuale, secondo il percorso logico rappresentato in *Figura 4.3*.

4.2.2.3 Influenza della circolazione dell'acqua e presenza dello strato di impermeabilizzazione

L'eventuale presenza di circolazione d'acqua a tergo del rivestimento definitivo e attraverso le lesioni all'interno dello stesso determina una maggiore rapidità di evoluzione del degrado.

Si considera il fenomeno nel seguente modo:

- la classe aumenta di un livello (ad esempio da bassa a medio-bassa) se in fase di ispezione si osserva presenza di acqua percolante o stillicidi (dalle schede di difettosità venute d'acqua estese di qualsiasi intensità o venute d'acqua poco estese e di intensità medio-alta);
- la classe rimane invariata se in fase di ispezione non si osserva presenza di acqua percolante o stillicidi (dalle schede di difettosità infiltrazioni poco estese e di intensità medio-bassa) e si è in presenza di una galleria con uno strato di impermeabilizzazione a singola membrana o gasket;
- la classe diminuisce di un livello (ad esempio da medio-bassa a bassa) se in fase di ispezione non si osserva presenza di acqua percolante o stillicidi e si è in presenza di una galleria con strato di impermeabilizzazione doppio o gasket doppi con cordone bentonitico.

La valutazione si effettua, utilizzando ancora una volta le schede di difettosità, secondo lo schema riportato nella tabella seguente.

Tabella 4.7 – Valutazione dell'influenza della circolazione d'acqua e della presenza dello strato di impermeabilizzazione

ALTA	Presenza o evidenza di acqua percolante
MEDIO-ALTA	Presenza di stillicidi diffusi in corrispondenza dei giunti di getto e delle fessure o di tracce di passaggio di acqua
MEDIO-BASSA	Presenza di stillicidi occasionali in galleria con uno strato di impermeabilizzazione o assenza di stillicidi in galleria non impermeabilizzata
BASSA	Assenza di acqua percolante o stillicidi in galleria con strato di impermeabilizzazione o di tracce di passaggio di acqua

4.2.2.4 Tipologia di galleria, materiali costituenti e tecniche e complessità costruttive

La tipologia di galleria intesa come tipologia strutturale e dimensionale gioca anch'essa un ruolo di primo piano nella valutazione della vulnerabilità con tutti gli aspetti ad essa connessi:

- geometria e schema statico dell'opera (forma, presenza o meno di arco rovescio, ecc.);
- materiale costituente il rivestimento;
- diametro della galleria.

Riassumendo questi aspetti si può determinare la classe di vulnerabilità strettamente legata alla tipologia di galleria come riportato nella tabella seguente.

Tabella 4.8 – Determinazione della classe di vulnerabilità in relazione alla tipologia di galleria

Geometria e schema statico	Materiale	$D \leq 7 \text{ m}$	$7\text{m} < D < 11\text{m}$	$11\text{m} \leq D < 15\text{m}$	$D \geq 15 \text{ m}$
Galleria non rivestita	/	Per gallerie di questa tipologia fare riferimento a fenomeni di instabilità locale.			
Galleria con rivestimento di calcestruzzo proiettato	calcestruzzo proiettato	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Galleria a ferro di cavallo (senza arco rovescio)	muratura	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	calcestruzzo	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA
	c.a.	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA
	mista*	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA
Galleria a ferro di cavallo (con platea di contrasto sub-orizzontale)	muratura	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	calcestruzzo	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA
	c.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA
	mista*	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	ALTA
Galleria (con arco rovescio)	calcestruzzo	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA
	c.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA
Galleria circolare (conci prefabbricati)	c.a.	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA
Galleria scatolare	c.a.	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA

*Con il termine "misto" si fa riferimento ad una struttura composta (getto di calcestruzzo-muratura).

Una particolare attenzione va posta nel caso della presenza di una soletta, usualmente utilizzata per la compartimentazione della ventilazione, nonché per la presenza di nicchie o allarghi (ad esempio le piazzole di sosta) con eventuali solette sub-orizzontali. In questi casi deve essere effettuata un'apposita analisi considerando anche la qualità degli appoggi. A seguito di questa analisi è possibile innalzare di una classe la vulnerabilità relativa alla Tipologia di galleria in Tabella 4.8.

La qualità dei rivestimenti definitivi delle gallerie è condizionata, in particolare per le gallerie molto vetuste, dai problemi operativi che le imprese costruttrici hanno incontrato in fase di realizzazione dell'opera (possibili giunti freddi, presenza di acqua circolante nei pressi del getto del rivestimento, ecc.).

All'interno di questo macro-fattore, si considera un indice per tenere conto delle tecniche e della complessità costruttiva dell'opera. Ad esempio, se si è scavato con l'uso di esplosivo il grado di disturbo sarà maggiore che uno scavo con macchina a piena sezione oppure l'uso di consolidamenti, rinforzi o miglioramenti riduce il grado di disturbo globale degli ammassi rocciosi. In aggiunta, se in fase esecutiva si sono riscontrati collassi al fronte di scavo questa condizione è indice di una situazione potenzialmente complessa che non può essere trascurata nella definizione della vulnerabilità del rivestimento definitivo.

Si definiscono, quindi, 3 differenti categorie relative alle tecniche e complessità costruttive come riportato nella seguente tabella:

Tabella 4.9 – Classificazione delle Complessità costruttive

Classe A	Alto grado di disturbo in fase di scavo- Problematiche realizzative elevate - alta complessità dell'ammasso roccioso/terreno - formazione di fornelli e crolli in sede costruttiva – gallerie parietali in frana
Classe B	Medio grado di disturbo in fase di scavo - Problematiche realizzative medie - Media complessità dell'ammasso roccioso/terreno e/o sporadici crolli e assenza di fornelli in sede costruttiva
Classe C	Basso grado di disturbo in fase di scavo - Problematiche realizzative assenti - Bassa complessità dell'ammasso roccioso/terreno e/o assenza di fornelli in sede costruttiva

All'aumentare della complessità costruttiva, con riferimento alla Tabella 4.9, occorre incrementare la classe la vulnerabilità come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4.10 – Determinazione della classe di vulnerabilità in funzione delle complessità costruttive e della tipologia di galleria

		Tipologia di galleria			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
Complessità costruttiva	Classe A	Alta	Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa
	Classe B	Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
	Classe C	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa	Bassa

4.2.2.5 Determinazione della classe di vulnerabilità strutturale globale e geotecnica

In sintesi, la vulnerabilità è il risultato della combinazione dei vari parametri, secondo lo schema logico riportato in Figura 4.3. Dallo schema è facile notare come, qualora il livello di difettosità attuale risulti elevato, la galleria sia comunque caratterizzata da una classe di vulnerabilità alta, a prescindere dagli altri fattori considerati.

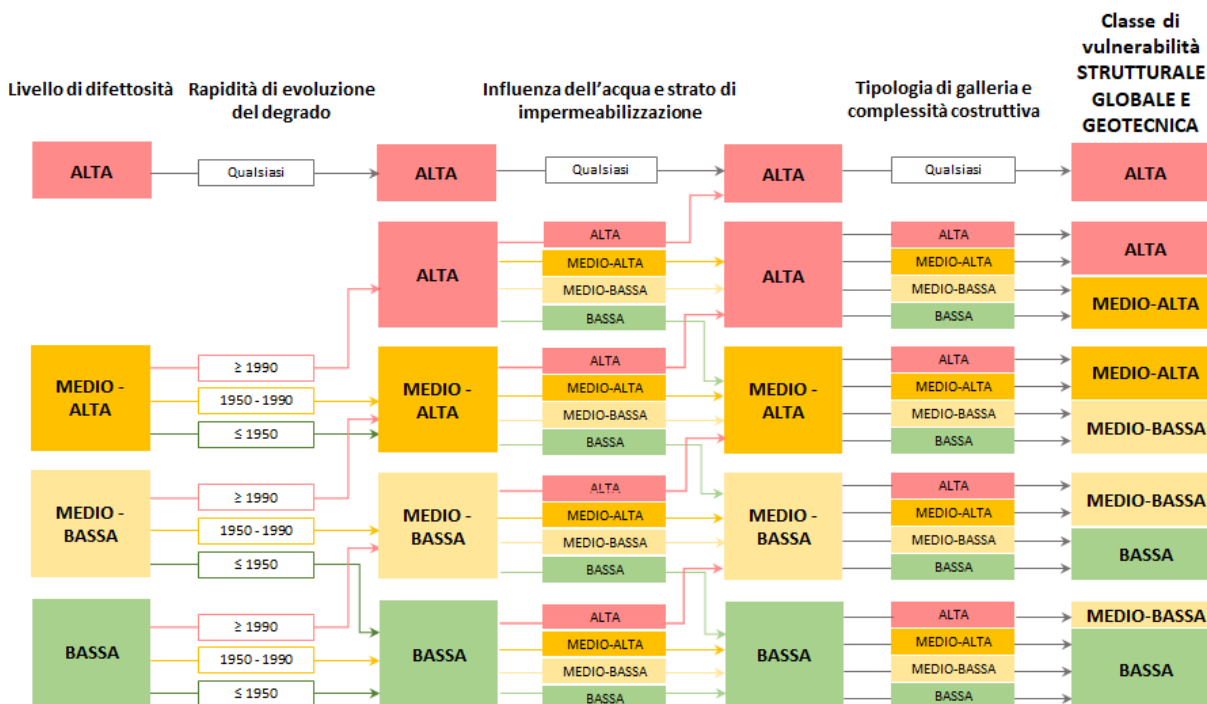


Figura 4.3 – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità strutturale globale e geotecnica

4.2.3 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICA

La stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di frequenza dei veicoli transitanti, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste, ossia alla sua resilienza nonché alle caratteristiche del traffico e alla presenza di edifici e infrastrutture potenzialmente danneggiabili in superficie a seguito di un dissesto in galleria.

I parametri da considerare per la valutazione del fattore esposizione si dividono in:

- parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM), lunghezza della galleria;
- parametri secondari: veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t) e/o che trasportano merci pericolose, velocità massima di progetto, itinerari alternativi ed eventuali interferenze con edifici ed infrastrutture.

4.2.3.1 I parametri primari: livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM) e lunghezza della galleria

Mediante le informazioni relative alle reti stradali di appartenenza raccolte nel censimento di Livello 0, acquisite a seguito di studi trasportistici specifici o fornite dagli enti gestori di competenza, è possibile ricavare il volume di traffico previsto, in termini di Traffico Medio Giornaliero (TGM) ossia il numero medio di veicoli transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata servita dalla galleria. Sulla base di questo, si determina il livello di attenzione relativo al valore del TGM considerato, secondo quanto esposto nella seguente tabella:

Tabella 4.11 – Livello di Traffico Medio Giornaliero (veicoli/giorno sull'intera carreggiata)

ALTA	≥ 40000 veicoli/giorno
MEDIO-ALTA	$25000 \leq$ veicoli/giorno < 40000
MEDIO-BASSA	$10000 \leq$ veicoli/giorno < 25000
BASSA	< 10000 veicoli/giorno

A seconda del valore della lunghezza (L) della galleria si distinguono, invece, le classi riportate nella seguente tabella:

Tabella 4.12 – Lunghezza della galleria

Classe A	$L \geq 3000$ m
Classe B	$1000\text{m} \leq L < 3000\text{m}$
Classe C	$500\text{m} \leq L < 1000\text{m}$
Classe D	$L < 500$ m

Le classi così determinate relative al TGM ed alla lunghezza della galleria si combinano poi secondo lo schema indicato nella seguente tabella:

Tabella 4.13 – Combinazione dei parametri primari per la valutazione della classe di attenzione

	$L < 500$ m	$500\text{m} \leq L < 1000\text{m}$	$1000\text{m} \leq L < 3000\text{m}$	$L \geq 3000$ m
≥ 40000 veicoli/giorno	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
$25000 \leq$ veicoli/giorno < 40000	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA
$10000 \leq$ veicoli/giorno < 25000	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA
< 10000 veicoli/giorno	BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	ALTA

4.2.3.2 I parametri secondari e il calcolo della Classe di Esposizione

La definizione dei parametri secondari relativamente ai veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t) ed alla velocità massima di progetto è riportata nelle seguenti tabelle, rispettivamente.

Tabella 4.14 – Parametri secondari: percentuale dei veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t)

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

Tabella 4.15 – Parametri secondari: velocità massima (Vmax) di progetto

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

Analogamente agli altri fattori, il valore dei parametri primari determina una distinzione in 4 classi o livelli di esposizione che è poi modificata dai parametri secondari, secondo lo schema mostrato di seguito.

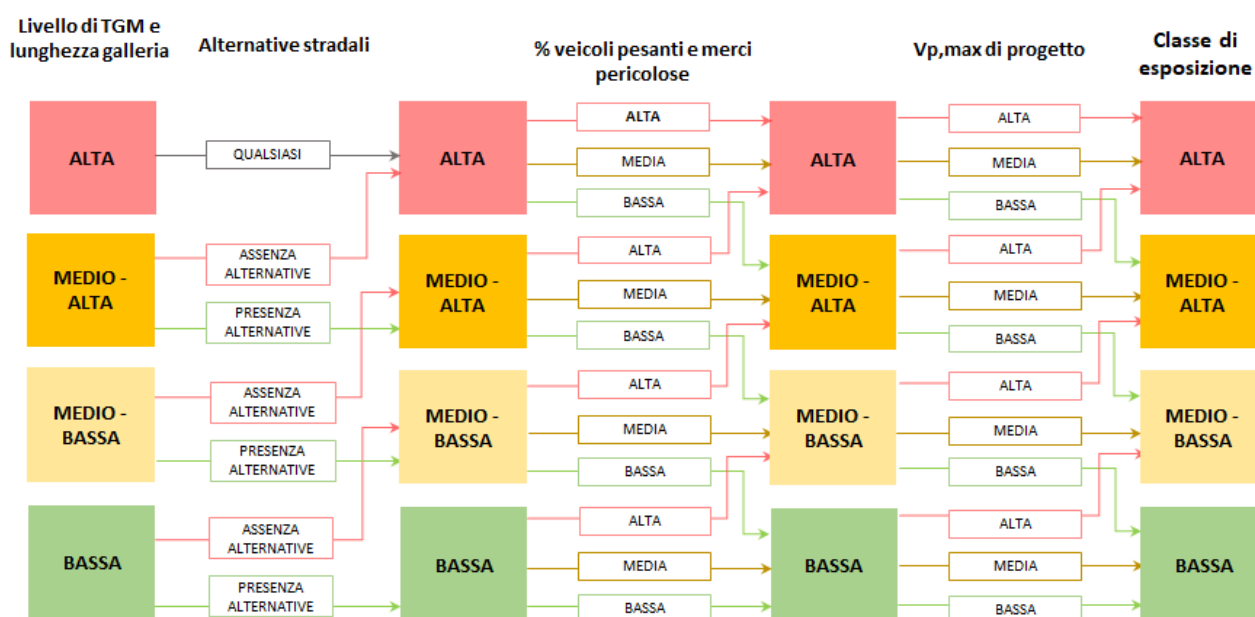


Figura 4.4 – Flusso logico per la determinazione della Classe di Esposizione

La presenza di edifici/infrastrutture superficiali interferenti con la galleria modifica poi la Classe di esposizione definita in Figura 4.4 secondo quanto riportato nella Tabella 4.16, che definisce la classe della potenziale interferenza con edifici ed infrastrutture, e della Tabella 4.17 che ridefinisce la classe di attenzione a seconda della classe assunta nella tabella precedente.

Tabella 4.16 – Potenziale interferenza con edifici ed infrastrutture

Classe A	In presenza di edifici/infrastrutture superficiali interferenti con la galleria con bassa copertura (ad esempio imbocchi)
Classe B	In presenza di gallerie profonde o gallerie con bassa copertura senza evidente interferenza con opere superficiali

Tabella 4.17 – Correzione della Classe di Esposizione definita in Figura 4.4

		Tipologia di galleria			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
Interferenza con edifici ed infrastrutture	CLASSE A	Alta	Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa
	CLASSE B	Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa

4.2.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICA

Noti i parametri in gioco, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) strutturale globale e geotecnica combinando la classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della galleria come indicato nella *Tabella 4.1*. Nelle combinazioni, maggiore rilevanza risulta assegnata alla classe di vulnerabilità della galleria: se essa è alta, la CdA finale è comunque alta qualsiasi siano le classi di pericolosità ed esposizione. In tal modo, poiché la classe di vulnerabilità è strettamente connessa con il livello di difettosità, una galleria con uno stato di conservazione preoccupante, tale da individuare problematiche che ne pregiudichino la statica a livello globale o locale, ha sempre una CdA e quindi una priorità alta.

4.3 CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE LOCALE

La classe di attenzione locale corrisponde, ad esempio, a condizioni, anche diffuse, di distacco di porzioni di rivestimento che possono interagire con la rete viaria ma che non comportano l'instabilità globale della struttura. I parametri primari e secondari da considerare nel calcolo sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 4.18– Parametri primari e secondari per la determinazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio Strutturale locale

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Presenza di acqua	Resistenza f_{ck} del rivestimento
Vulnerabilità	Stato di fratturazione Spessore di lastra (residuo da difetti costruttivi) o presenza di discontinuità interne al rivestimento (ad esempio giunti freddi, disomogeneità di getto) <i>Per gallerie non rivestite si fa riferimento alla possibilità di lastre o diedri instabili</i>	Presenza di armatura Storia del rivestimento e ammaloramenti esistenti
Esposizione	Livello del TGM Lunghezza della galleria	Veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 ton) Velocità massima di progetto. Itinerari alternativi

4.3.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ STRUTTURALE LOCALE

La pericolosità locale è legata alla presenza di fattori che possono influire ad incrementare la probabilità di occorrenza che il rivestimento definitivo della galleria sia soggetto a distacchi di frammenti di dimensioni limitate. Tali fattori sono essenzialmente:

- la presenza di acqua percolante attraverso il rivestimento;
- lo stato tensionale nel rivestimento.

Per la valutazione della presenza d'acqua per il rivestimento della galleria si fa riferimento alle schede di difettosità.

Nella seguente tabella invece, è riportata la classificazione con riferimento al livello di resistenza caratteristica del rivestimento considerato.

Tabella 4.19 – Classificazione con riferimento al livello di resistenza del rivestimento definitivo

Classe A	$f_{ck} < 20$ Mpa o rivestimento in muratura
Classe B	$f_{ck} \geq 20$ MPa

La pericolosità strutturale locale associata alla galleria può essere valutata combinando i fattori analizzati come riportato nella seguente figura.

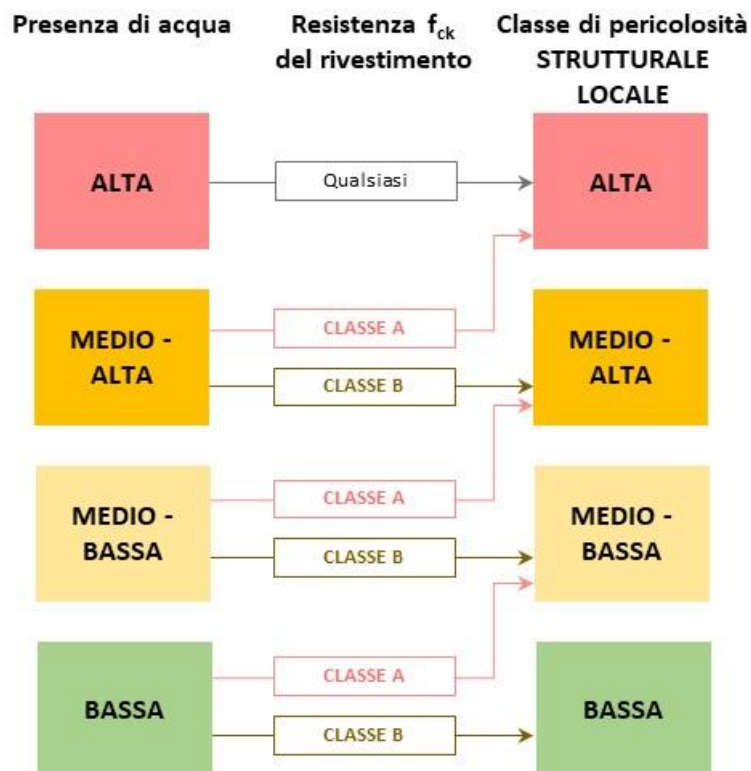


Figura 4.5 – Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità strutturale locale

4.3.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ STRUTTURALE LOCALE

La Classe di Attenzione della vulnerabilità dipende da diversi parametri primari e secondari, in particolare:

- parametri principali: stato di fessurazione del rivestimento e presenza di difetti costruttivi quali i vespai o altri (con riferimento alle schede di difettosità), sotto-spessore del rivestimento definitivo generato in fase di getto (dal rivestimento residuo possono distaccarsi parti prevalentemente sotto forma di blocchi o lastre cioè strati estesi di contenuto spessore di calcestruzzo), ed eventuale presenza di discontinuità all'interno del rivestimento (ad esempio giunti freddi, disomogeneità di getto);
- parametri secondari: presenza di armatura e ammaloramento diffuso (secondo quanto indicato nelle schede di difettosità).

A seguito di quanto rilevato in fase di ispezione, in base alle schede di difettosità, si veda il § 3, si definiscono quindi 4 differenti categorie relative allo stato di fessurazione come riportato nella seguente tabella:

Tabella 4.20– Definizione della classe di vulnerabilità in funzione dello stato di fessurazione o dei difetti costruttivi locali

ALTA	Quadri fessurativi molto estesi ed intensi e/o difetti costruttivi estesi ed intensi
MEDIO-ALTA	Quadri fessurativi estesi di intensità medio-bassa o quadri fessurativi mediamente estesi di intensità elevata e/o difetti costruttivi estesi di intensità medio-bassa o difetti costruttivi mediamente estesi di intensità elevata
MEDIO-BASSA	Quadri fessurativi mediamente estesi di intensità medio-bassa o quadri fessurativi poco estesi di intensità elevata e/o difetti costruttivi mediamente estesi di intensità medio-bassa o difetti costruttivi poco estesi di intensità elevata
BASSA	Assenza di fessurazione o quadri fessurativi poco estesi di intensità medio-bassa e/o assenza di difetti costruttivi o difetti costruttivi poco estesi di intensità medio-bassa

La presenza di sotto-spessori del rivestimento definitivo in fase di getto o giunti freddi di getto dovuti a disomogeneità costruttive può indurre distacchi localizzati in calotta o ai reni della galleria sotto forma di blocchi o di lastre anche solo per azione del peso proprio del rivestimento in calcestruzzo. La presenza di armatura nel rivestimento, al contrario, tende a ridurre la pericolosità di questo fenomeno.

Nella *Tabella 4.21* sono riportate le classi definite con riferimento allo spessore residuo del rivestimento in conseguenza a difetti costruttivi. Particolare attenzione va posta in presenza di nicchie o allarghi con eventuali solette sub-orizzontali: in questi casi è da effettuarsi una valutazione specifica considerando anche la qualità degli appoggi. L'influenza della presenza, o meno, di armatura nel rivestimento è presa in conto mediante la definizione delle classi di cui alla *Tabella 4.22*.

La Classe di Attenzione della vulnerabilità strutturale locale associata alla galleria può essere quindi valutata combinando i fattori analizzati come riportato in *Figura 4.6*.

Tabella 4.21 – Definizione della classe in funzione dello spessore di lastra residuo da difetti costruttivi

CLASSE A	< 10 cm
CLASSE B	10-20 cm
CLASSE C	>20 cm

Tabella 4.22 – Definizione della classe funzione della presenza di armatura

CLASSE A	Rivestimento definitivo non armato o con armatura corrosa
CLASSE B	Rivestimento definitivo armato

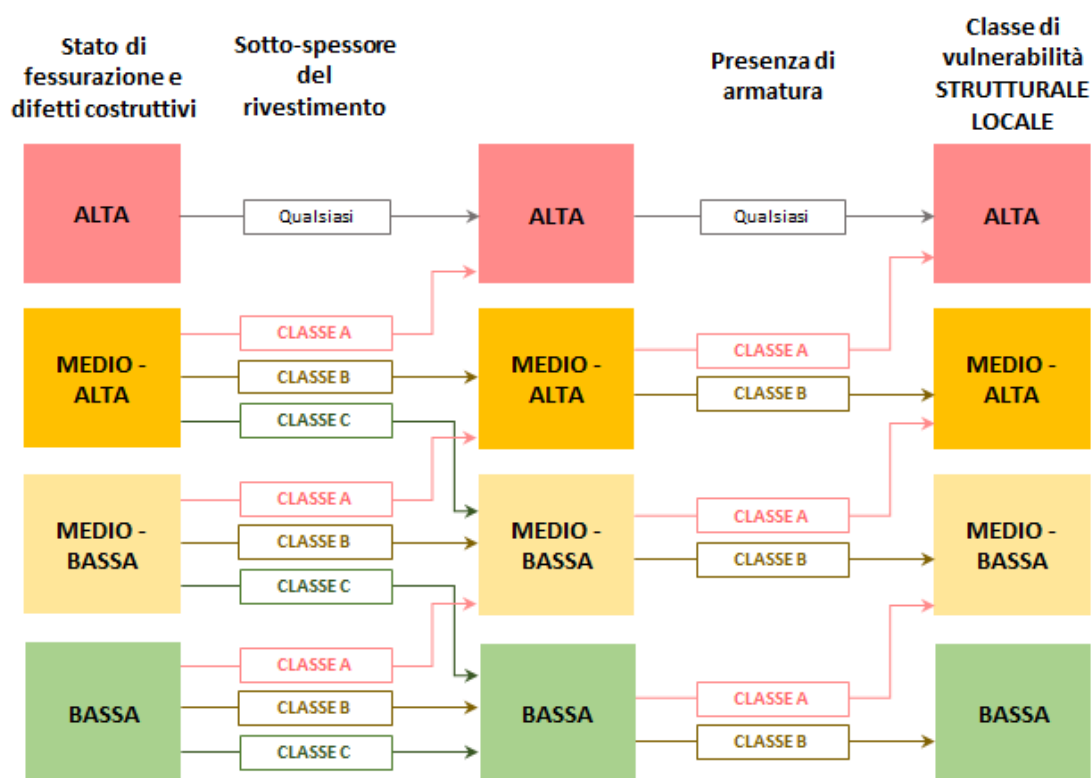


Figura 4.6 – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità strutturale locale

4.3.3 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE STRUTTURALE LOCALE

La stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di frequenza dei veicoli transitanti, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste, ossia alla sua resilienza nonché alle caratteristiche del traffico.

I parametri da considerare per la valutazione del fattore esposizione si dividono in:

- parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM), lunghezza della galleria;
- parametri secondari: veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t), velocità massima di progetto, itinerari alternativi.

La definizione della Classe di esposizione si ottiene utilizzando le indicazioni esposte nel § 4.2.3 con riferimento alla *Figura 4.4*.

4.3.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE LOCALE.

Noti i parametri in gioco, si procede con la determinazione della classe di attenzione combinando pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della galleria utilizzando le relazioni logiche già presentate nella *Figura 4.1*.

4.4 CLASSE DI ATTENZIONE STRADALE

La definizione di classe di attenzione stradale considera i principali parametri che influenzano la sicurezza e la funzionalità della galleria nelle ordinarie condizioni di esercizio. Si tratta di parametri relativi alle caratteristiche geometriche della galleria, al grado di efficienza del piano viabile e al suo processo di degrado nel tempo, e all'entità e composizione del traffico veicolare; nonché di parametri legati al funzionamento e gestione della rete stradale di appartenenza. Essi sono distinti in parametri primari e secondari come riportato nella seguente tabella:

Tabella 4.23 - 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

4.4.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ STRADALE

La pericolosità stradale, causata da dissesti del piano viabile, è legata alla probabilità che la galleria sia interessata da incidenti da traffico e/o da eventuali incendi in caso di più severe collisioni tra i veicoli o contro ostacoli fissi interni alla struttura.

L'indicatore di pericolosità stradale è il tasso di incidentalità espresso in incidenti/10⁸ veicoli-km.

A parità di altre condizioni, una galleria più lunga potrebbe presentare un maggiore livello di rischio. Ciò comporta che risulterebbe utile classificare le gallerie in funzione della loro lunghezza, *Tabella 4.12*.

A parità di lunghezza, una galleria con un tracciato più complesso potrebbe essere più rischiosa. Si possono pertanto individuare delle classi di pericolosità, in base alla combinazione di lunghezza e tortuosità del tracciato come riportato in *Tabella 4.24*. La tortuosità planimetrica del tracciato si può esprimere col parametro denominato CCR (Curvature Change Rate = tasso di variazione della curvatura, definito come rapporto tra la deviazione angolare totale e la lunghezza del tratto curvilineo esaminato (sviluppo delle clotoidi e archi di cerchio).

Tabella 4.24 - Classi di pericolosità stradale

	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

4.4.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ STRADALE

La vulnerabilità dipende da diversi fattori e in particolare da:

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

L'indicatore del livello di difettosità del piano viabile (parametro primario) è l'IRI (International Roughness Index) espresso in mm/m.

Il livello di difettosità è legato allo stato di conservazione del piano viabile ed è valutabile dal rilievo dei difetti basato su indagini speditive (previsto al Livello 1 dell'approccio multilivello nella Parte 4 delle schede di difettosità, oppure se necessario da misure ad alto rendimento) e dalla conseguente elaborazione dei dati osservati. Esso può essere classificato in 4 classi in funzione della gravità, estensione, intensità e sua rilevanza sulla sicurezza della circolazione veicolare (oppure rilevanza sulla sicurezza pedonale in presenza di marciapiedi o di banchine utilizzabili come vie di fuga, in caso di un evento incidentale significativo con conseguenze rilevanti in galleria), come da tabella seguente:

Tabella 4.25 - Livello di difettosità

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 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.

4.4.2.1 Evoluzione del degrado

La vulnerabilità non è legata solo al livello di difettosità del piano viabile, ma anche al suo decorso nel tempo e in particolare alla velocità con la quale il suo stato attuale è stato raggiunto. In generale il livello di difettosità del piano viabile in una galleria sotto l'azione del traffico e degli agenti atmosferici si può considerare "fisiologico", e pressappoco paragonabile a quello dei tratti stradali all'aperto. Tuttavia, se lo stesso livello di difettosità rilevato in una galleria si sviluppa molto più rapidamente, ciò indica che esso raggiungerà livelli significativi di attenzione in tempi molto più ravvicinati e rapidi. Anche il confronto con l'anno di costruzione di una galleria può essere significativo, perché se il piano viabile di una galleria nuova presenta lo stesso livello di difettosità di una galleria costruita molti anni fa, rappresenta, in assenza di interventi di manutenzione, un più precoce raggiungimento di valori di soglia di attenzione. Nel caso in cui siano stati messi in essere interventi di manutenzione del piano viabile (oppure il rifacimento dell'intera sovrastruttura stradale che conferisce la regolarità al manto stradale) al fine di riprodurre livelli di stato di conservazione confrontabili con quelli iniziali, è necessario nell'evoluzione del degrado fare riferimento all'anno dell'ultimo intervento di manutenzione/rifacimento; attribuendo una vulnerabilità maggiore alle gallerie il cui piano viabile interessato da interventi più recenti si trova allo stesso livello di degrado di quello interessato da interventi meno recenti.

Utilizzando la documentazione disponibile al Livello 0 si possono trarre utili informazioni inerenti la tipologia e l'efficacia degli interventi di manutenzione/rifacimento messi in essere, e il loro periodo di realizzazione.

Alla luce di quanto sopra detto, la rapidità di evoluzione del degrado del piano viabile può essere stimata in funzione del periodo di costruzione della piattaforma stradale con relativa realizzazione della sovrastruttura, nel caso di assenza di interventi, oppure del periodo di messa in opera dell'ultimo intervento di manutenzione significativo.

A tal fine si possono distinguere, tenendo conto del periodo antecedente e successivo alla fine della Seconda guerra mondiale e di quello inerente l'emanazione delle principali istruzioni-norme storiche della progettazione stradale, 4 categorie in funzione del periodo di costruzione e dell'ultimo intervento di manutenzione significativa del piano viabile.

- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo antecedente al 1945.
- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione significativo compreso tra il 1945 e 1980 (nel 1980 furono emanate le Istruzioni CNR per i progetti stradali e quelle per le caratteristiche geometriche delle strade).

- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione compreso tra il 1980 e 2001 (Nel 2001 fu emanato il DM 5/11/2001).
- Periodo di costruzione o dell'ultimo intervento di manutenzione posteriore al 2001 (Dopo il 2001 sono stati emanati: D.M. 2376/2004, D.M. 19 aprile 2006, D.lgs. 264/2006, D. lgs. 35/2011).

4.4.2.2 Tipologie di sovrastrutture stradali

La vulnerabilità del piano viabile dipenderà anche dalla resistenza strutturale della sovrastruttura stradale (spessori degli strati, caratteristiche dei materiali impiegati e portanza del sottofondo). La vulnerabilità del piano viabile sarà più alta nel caso di sovrastrutture con minore resistenza strutturale oppure maggiore sensibilità dei materiali al fenomeno di degrado. A parità di caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali, in *Tabella 4.26* è riportata la classe di vulnerabilità proposta per tipologia di sovrastruttura (flessibile, semirigida, rigida a lastre, rigida ad armatura continua), sensibilità al degrado dei materiali e loro spessore (S), cioè spessore dei singoli strati dei materiali costituenti la sovrastruttura stradale.

Tabella 4.26 - Classi di vulnerabilità in funzione della tipologia di sovrastruttura stradale, sensibilità al degrado dei materiali e spessori (S).

Tipologia di sovrastruttura	Materiale	$S \leq 15 \text{ cm}$	$15 < S \leq 25 \text{ cm}$	$25 < S \leq 35 \text{ cm}$	$35 < S \leq 45 \text{ cm}$
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

4.4.3 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE STRADALE

La stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di frequenza dei veicoli transitanti, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste, ossia alla sua resilienza nonché alle caratteristiche del traffico.

I parametri da considerare per la valutazione del fattore esposizione si dividono in:

- parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM), lunghezza della galleria;
- parametri secondari: veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t), velocità massima di progetto, itinerari alternativi.

La definizione della Classe di Attenzione dell'esposizione si ottiene utilizzando le indicazioni esposte nel § 4.2.3 con riferimento alla *Figura 4.4*.

4.4.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE STRADALE

La stima delle classi di attenzione stradale si ottiene combinando la classe di pericolosità, vulnerabilità e esposizione, con le combinazioni indicate *Tabella 4.1*. 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.

4.5 CLASSE DI ATTENZIONE GEOLOGICA ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

4.5.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO DI DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE LEGATA AL RISCHIO FRANE

La definizione della classe di attenzione geologica associata al rischio frane tiene conto di alcuni specifici parametri che indicano il livello di coinvolgimento della struttura in eventuali fenomeni franosi, sia dal punto di vista spaziale che temporale. Sono in linea generale da escludere le gallerie artificiali e sottopassi in aree sub-pianeggianti, per contro sarà da prestare particolare attenzione a gallerie con bassa copertura ed alle zone di imbocco.

Analogamente alla definizione di altre classi di attenzione, la classe di attenzione geologica fa riferimento a fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati mediante la combinazione di parametri primari e secondari. L'approccio utilizzato per la determinazione della classe di attenzione geologica è, ancora una volta, un approccio per classi e operatori logici.

Si sottolinea che, a differenza dell'usuale nomenclatura impiegata per la definizione degli altri tipi di classe di attenzione analizzati, si adotta il termine di "suscettibilità" anziché di pericolosità; in tal modo, viste le specifiche difficoltà intrinseche alla definizione della probabilità di accadimento dell'evento, si vuole far riferimento alla sola previsione spaziale, dipendente dagli assetti litostrutturali ed idrogeologici, trascurando la previsione di tipo temporale.

I parametri primari e secondari individuati come rilevanti per la determinazione della classe di attenzione geologica sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 4.27 – Parametri necessari per la definizione della classe di attenzione geologica

	Parametri primari	Parametri secondari
Suscettibilità	Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, stato di attività)	Misure di mitigazione o monitoraggio
Vulnerabilità	Rapporti tra galleria e condizioni morfologiche: instabilità profonde lungo lo sviluppo o agli imbocchi Incertezza del modello/affidabilità della valutazione	-
Esposizione	Livello del TGM Lunghezza della galleria	Veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t) Veicoli che trasportano merci pericolose Velocità massima di progetto. Itinerari alternativi Interferenza con edifici ed infrastrutture

Come si evince confrontando la *Tabella 4.27* con quelle relative alla classe di attenzione strutturale e geotecnica globale (*Tabella 4.2*) alcuni dei parametri considerati coincidono. In particolare, i parametri di esposizione - Traffico Medio Giornaliero (TGM), alternative stradali, tipologia di ente sottopassato e strategicità dell'opera - hanno definizione

analoga a quella impiegata per la CdA strutturale globale e geotecnica e CdA sismica, mentre il parametro di vulnerabilità fa specifico riferimento alla potenziale interferenza instabilità-galleria e al grado di capacità del sistema o degli elementi strutturali di resistere all'evento naturale.

Per la definizione della classe di attenzione geologica sussistono quindi diverse situazioni in relazione alla mutua posizione fra opera e condizioni morfologiche: gallerie artificiali in sottopasso, gallerie parietali, gallerie con media-alta copertura, anche in riferimento alle possibili diverse condizioni lungo lo sviluppo della specifica galleria, con particolare attenzione alle zone di imbocco che possono rappresentare caratteri di criticità per instabilità locali, più o meno superficiali e a cinematica anche veloce (es: colate detritiche, crolli etc.), anche in relazione alle scelte progettuali iniziali adottate nei singoli casi.

4.5.2 STIMA DEL LIVELLO DI SUSCETTIBILITÀ GEOLOGICA ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

Il livello di suscettibilità legato al rischio frane in relazione all'opera galleria dipende dall'ambito geomorfologico (aree di pianure/versanti) in cui la galleria è inserita. Tale informazione si può acquisire attraverso i dati di censimento e del quadro delle conoscenze del Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni di Livello 1.

Qualora si possa ritenere che sia assente la possibilità di accadimento di un evento franoso o una instabilità nelle zone di imbocco coinvolgente l'opera in esame, non occorre proseguire con la valutazione della CdA frane, in quanto non influente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata.

Similmente, la collocazione delle gallerie in aree coinvolte da accadimenti pregressi o in atto comporta la necessità di sviluppare valutazioni più approfondite di Livello 4, superando, quindi, la valutazione della classe di attenzione e la conseguente classificazione.

Documentazioni quali le carte di pericolosità e rischio delle Autorità distrettuali territorialmente competenti, così come quelle di altri processi pianificatori o derivanti da analisi tecnico-scientifiche, costituiscono solo un primo riferimento, utile ma certamente non esaustivo.

Per la valutazione della suscettibilità da frana sono utilizzati alcuni dei consueti parametri di classificazione e la nomenclatura propria delle "instabilità di versante", quali lo stato di attività, la magnitudo, e la velocità; per quest'ultima, sono considerati campi di valori significativi nei riguardi di possibili risentimenti sulla galleria.

Questi parametri sono poi combinati tra loro per fornire un indice di instabilità di versante il quale, combinato con il parametro secondario della presenza o meno di misure di mitigazione e/o monitoraggio, fornisce il grado di suscettibilità di una frana.

4.5.2.1 Instabilità di versante

Ribadita la complessità della previsione di accadimento anche funzione delle intrinseche differenziazioni in termini di modalità esplicative degli eventi di frana, si è valutata fondamentale la definizione di tre parametri ritenuti di specifica importanza nel caso di opere in sotterraneo, rilevabili o deducibili dalle documentazioni e osservazioni in situ. Tali parametri sono:

- stato di attività;
- magnitudo, intesa come volume mobilizzabile;
- velocità attesa in relazione a possibili risentimenti sulla galleria e in corrispondenza delle zone di imbocco.

Per i tre parametri sono definiti altrettanti operatori logici, successivamente combinati come riportato in *Tabella 4.31*.

L'attività da svolgere sulla base di documenti e dati già disponibili, da confrontare con gli esiti dell'ispezione iniziale di Livello 1, è quella di riconoscere la presenza di eventuali frane in atto o potenziali e instabilità in corrispondenza degli imbocchi, definendone la tipologia secondo le classificazioni della letteratura scientifica ed i materiali coinvolti. Particolare importanza viene attribuita allo stato di attività e alla presenza – o meno – di interventi di mitigazione/stabilizzazione. Più precisamente:

- il riconoscimento di tratti di galleria che interferiscano con frane attive o sospese, nella definizione della CdA e dei successivi sviluppi comporta la necessità di ulteriori valutazioni di dettaglio (ispezioni speciali, analisi Livello 4)
- al contrario, il riconoscimento di frane inattive o stabilizzate conduce sempre a un indice di instabilità inferiore.

Tabella 4.28 - Stato di attività della frana lungo lo sviluppo della galleria o instabilità agli imbocchi

Attiva al momento dell'esame o con segni di movimento in atto	Sospesa (Attivo nell'ultimo ciclo stagionale)	Quiescente (Non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile)	Inattiva (Non attivo da diversi cicli stagionali) o Stabilizzata
ALTO	MEDIO-ALTO	MEDIO-BASSO	BASSO

Tabella 4.29 - Magnitudo volumetrica in metri cubi

$> 1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6 \div 3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^3$	$< 1 \cdot 10^3$
Estremamente/molto grande	Grande	Media	Piccola- Molto piccola
ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA

Tabella 4.30 - Velocità attesa in relazione ai possibili risentimenti sulla galleria

$> 50\text{mm/anno}$	$50\text{mm/anno} \div 10\text{mm/anno}$	$< 10 \text{ mm /anno}$
ALTA	MEDIA	BASSA

Tabella 4.31 – Determinazione dell'indice di instabilità

Classe di attività FRANA ATTIVA O SOSPESA

		Classe di Magnitudo			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
classe di velocità	Alta	ALTA			
	Media	ALTA		MEDIO-ALTA	
	Bassa	MEDIO-ALTA		BASSA	

Classe di attività QUIESCENTE

		Classe di Magnitudo			
		Alta	Medio-Alta	Medio-Bassa	Bassa
classe di velocità	Alta	ALTA		MEDIO-ALTA	
	Media	ALTA		MEDIO-BASSA	
	Bassa	BASSA			

4.5.2.2 Misure di mitigazione

Il parametro secondario che concorre a determinare la classe di suscettibilità della galleria è la presenza o meno di sistemi di stabilizzazione del versante instabile o delle zone di imbocco, oltre che sistemi di monitoraggio, e il loro attuale stato di conservazione.

Si distinguono pertanto versanti stabilizzati, qualora le misure di mitigazione del rischio dette sopra siano effettivamente attuate e riconosciute come efficaci, versanti monitorati, nel caso di presenza di sistemi di monitoraggio atti a controllare l'insorgere di eventuali eventi franosi siano presenti.

L'assenza di sistemi finalizzati alla mitigazione del rischio frane induce l'innalzamento della classe di suscettibilità e quindi della classe di attenzione mentre la presenza di interventi di stabilizzazione porta a una condizione di indice di suscettibilità basso secondo il flusso logico mostrato nella seguente figura.

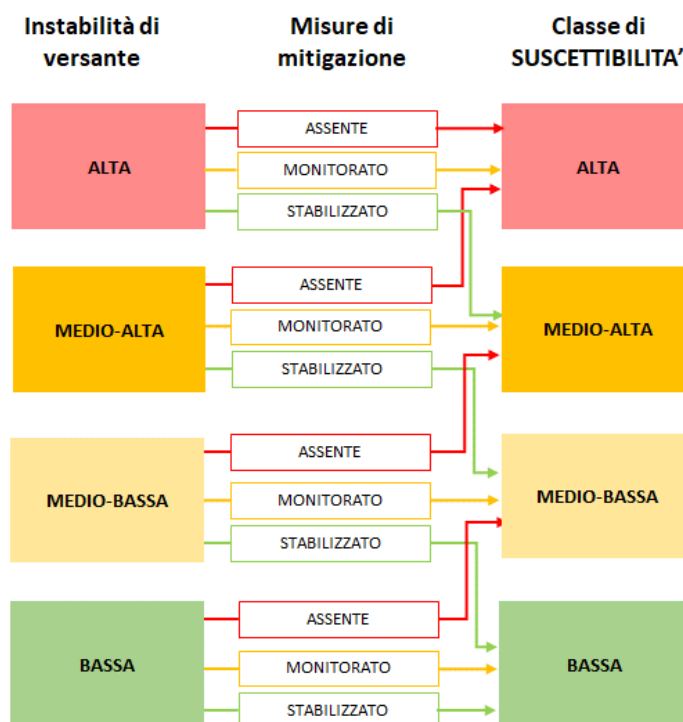


Figura 4.7 – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità

4.5.3 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ GEOLOGICA ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

Per la valutazione della vulnerabilità geologica relativa agli eventi franosi, il parametro principale è la posizione reciproca fra galleria e condizioni morfologiche, ulteriormente qualificato in relazione al livello delle conoscenze disponibili. Ad esso sono poi combinati parametri secondari come la tipologia di galleria e il livello di difettosità del rivestimento definitivo.

4.5.3.1 Rapporti tra galleria e condizioni morfologiche

Le situazioni che possono verificarsi sono molteplici in relazione a condizioni geomorfologiche e allo sviluppo della tratta stradale in galleria ed ai reciproci rapporti e interazioni. Il livello delle conoscenze disponibili determina il grado di affidabilità e di incertezza nella previsione dei potenziali effetti sulla galleria e qualifica ulteriormente la vulnerabilità, come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4.32 – Determinazione della classe di vulnerabilità geologica

	Livello di conoscenza	
	Limitata	Buona
grande copertura (>50) m	MEDIO-BASSA	BASSA
Media copertura (20-50m) e gallerie parietali	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
Bassa copertura (<20m) e zone di imbocco	ALTA	MEDIO-ALTA

4.5.4 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE GEOLOGICA ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

La stima del livello di esposizione è basata sui dati di traffico relativi alla rete stradale di interesse, in termini di frequenza dei veicoli transitanti, oltre che su fattori legati alla capacità della rete di fronteggiare situazioni impreviste, ossia alla sua resilienza nonché alle caratteristiche del traffico e alla presenza di edifici e infrastrutture potenzialmente danneggiabili in superficie a seguito di un dissesto in galleria.

I parametri da considerare per la valutazione del fattore esposizione si dividono in:

- parametri primari: Livello di Traffico Giornaliero Medio (TGM), lunghezza della galleria;

- parametri secondari: veicoli pesanti (massa ≥ 3.5 t), velocità massima di progetto, itinerari alternativi ed interferenza con edifici ed infrastrutture.

La definizione della Classe di Attenzione dell'esposizione si ottiene utilizzando le indicazioni esposte nel § 4.2.3 con riferimento alla *Figura 4.4*.

La presenza di edifici/infrastrutture superficiali interferenti con la galleria modifica poi la Classe di esposizione definita in *Figura 4.4* secondo quanto riportato nella *Tabella 4.16*, che definisce la classe della potenziale interferenza con edifici ed infrastrutture, e ne ridefinisce la classe di attenzione secondo quanto riportato nella *Tabella 4.17*.

4.5.5 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE GEOLOGICA

Noti i parametri in gioco, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) geologica combinando la classe di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione della galleria secondo lo schema generale indicato in precedenza per tutte le tipologie di Classe di Attenzione, nella *Tabella 4.1*.

4.6 CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA

4.6.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO

Nella definizione della classe di attenzione sismica si è tenuto in considerazione che un'opera in sotterraneo, ad eccezione che per le zone di imbocco e in caso di interferenza con faglie attive, non è particolarmente sensibile a fenomeni sismici. In ogni caso si è ritenuto di seguire l'approccio generale facendo dipendere la classe di attenzione sismica da fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati mediante la combinazione di parametri primari e secondari riportati nella *Tabella 4.33*.

Come si evince dal confronto della *Tabella 4.33* e della *Tabella 4.2*, relativa alla classe di attenzione strutturale globale e geotecnica, alcuni dei parametri considerati sono gli stessi. A differenza però dei parametri di esposizione, ossia Traffico Giornaliero Medio (TGM) e lunghezza della galleria, alternative stradali, traffico veicoli pesanti e strategicità dell'opera, la cui definizione resta la stessa, i parametri di vulnerabilità, sono tenuti in conto con criteri, in parte o del tutto, differenti.

Tabella 4.33 – Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Presenza di faglie capaci, franosità, condizioni geologiche sfavorevoli Accelerazione sismica	Potenziali fenomeni di amplificazione locale
Vulnerabilità	Posizione morfologica Copertura	-
Esposizione	Livello di TGM e lunghezza della galleria	Alternative stradali Traffico pesante Strategicità dell'opera

4.6.2 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Per la valutazione della pericolosità sismica si fa riferimento all'attraversamento di faglie capaci o a presenza di faglie capaci prossime alla galleria nonché alla interazione della galleria con frane suscettibili di riattivazione per effetto di azioni sismiche. Si fa altresì riferimento alla complessità geologico-strutturale dei litotipi attraversati dalla galleria che, in corrispondenza di zone ad elevata fratturazione e di passaggi fra ammassi più rigidi a ammassi più deformabili, potrebbe potenzialmente danneggiarsi per gli effetti del contrasto di impedenza sismica determinato da differenti caratteristiche litologiche, strutturali e geomeccaniche. Al fine di giungere ad una gerarchizzazione del livello di

pericolosità sismica è qui proposto un sistema a punti, attribuendo valori numerici sia al parametro principale P_g sia al parametro secondario P_a . La valutazione del livello di pericolosità è quindi sviluppata sulla base della somma P dei punteggi associati ai due parametri secondo la classificazione in *Tabella 4.34*.

In particolare, l'attività del verificatore è quella di individuare, dalla documentazione di base e dalla cartografia geologica più aggiornata disponibile, l'eventuale attraversamento o la presenza in prossimità della galleria di faglie capaci e di valutare il possibile attraversamento di ammassi di scadente qualità geomeccaniche o caratterizzati da significativi contrasti di rigidità. A seguito di tale procedimento, il verificatore potrà attribuire il primo punteggio, P_g , scegliendone il valore secondo la corrispondente riga di *Tabella 4.40*. Per tenere conto della influenza della sismicità sui fenomeni di danneggiamento indotti da un evento sismico, la classe di pericolosità sismica viene fatta dipendere dall'intensità dell'accelerazione massima attesa in superficie attraverso il secondo punteggio, P_a , con i valori riportati sempre in *Tabella 4.34*.

Tabella 4.34 – Parametri per la determinazione della pericolosità sismica

Assetto geologico				
	Attraversamento o prossimità a faglie attive e capaci	Assetti geologici estremamente complessi: Intenso grado di fratturazione e significativi contrasti di rigidità dei litotipi attraversati	Assetti geologici complessi: litotipi fratturati e contrasti di rigidità dei litotipi attraversati	Assetti geologici semplice (formazione attraversata omogenea a comportamento duatile)
P_g	8	6	4	2
Accelerazione in superficie con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)				
	>0,25	0.15 < a_g ≤ 0.25	0.05 < a_g ≤ 0.15	a_g ≤ 0.05
P_a	4	3	2	1
$P_s = P_g + P_a$			Pericolosità Sismica	
10 – 12			ALTA	
8 - 9			MEDIO – ALTA	
5 - 7			MEDIO-BASSA	
3 - 4			BASSA	

4.6.2.1 Potenziali effetti di amplificazione sismica locale

Come parametro secondario che influenza la classe di pericolosità si considera la possibilità che si verifichino fenomeni di amplificazione locale quando un tratto di galleria attraversa terreni particolarmente scadenti. A tal fine si individua la ripartizione in Classi riportata nella seguente tabella.

Tabella 4.35 – Effetti di amplificazione sismica

Categoria di sottosuolo in classe C o D	Classe A
Assenza di potenziali fenomeni di amplificazione	Classe B

In definitiva, si perviene alla classificazione della pericolosità sismica come riportato nel diagramma logico nella figura seguente.

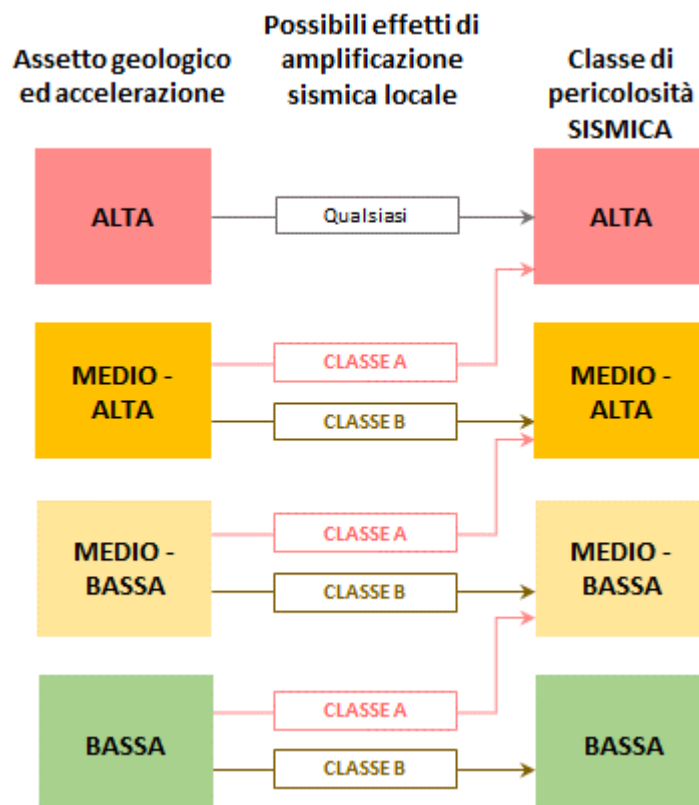


Figura 4.8 - Flusso logico per la determinazione della classe di pericolosità sismica

4.6.3 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ LEGATO AL RISCHIO SISMICO

Attesa la grande complessità e i numerosi aspetti che possono concorrere alla definizione del contributo della vulnerabilità al rischio sismico, si è valutata come fondamentale la classificazione della posizione della galleria in relazione ai due parametri "morfologia superficiale" (galleria parietale e imbocchi su versanti) e "copertura", da valutare per segmenti di lunghezza pari alla distanza fra i giunti di getto ovvero per tratti di 20 m (Tabella 4.36)

Tabella 4.36 – Determinazione della classe di vulnerabilità sismica

Posizione morfologica					
	Tratti di galleria parietali con imbocchi su versanti con pendenza $\geq 25^\circ$	Tratti di galleria parietali con imbocchi su versanti con pendenza $< 25^\circ$	Tratti di galleria con ricoprimento inferiore a 50 m e gallerie superficiali	Tratti di galleria profonda ($>$ di 50 m)	Tratti di galleria artificiale di pianura e sottopassi
CdV	ALTA	MEDIO ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA

4.6.4 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE SISMICA

La definizione del livello di esposizione sismica segue gli stessi criteri e considera gli stessi parametri impiegati per la stima della classe di esposizione strutturale e geotecnica al § 4.2.4, ossia il livello di TGM, la lunghezza della galleria, la presenza di alternative stradali, traffico veicoli pesanti e la strategicità dell'opera, anche in funzione di condizioni di emergenza. La classe di esposizione sismica, pertanto, è determinata a partire dalla classe di esposizione strutturale e geotecnica, valutata secondo lo schema in Figura 4.4 corretta in funzione della strategicità dell'opera come in Figura 4.9.

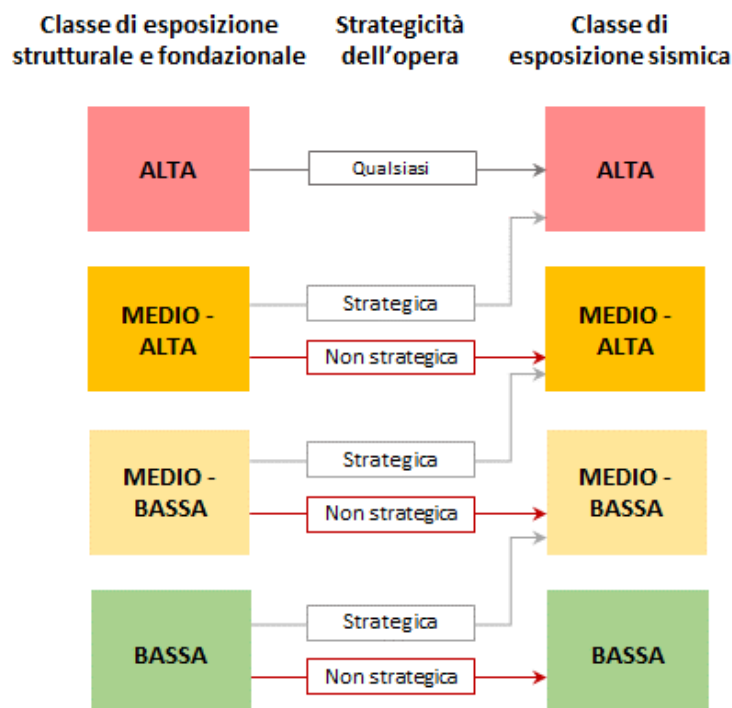


Figura 4.9 – Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica

4.6.4.1 Traffico Medio Giornaliero (TGM) e lunghezza della galleria, alternative stradali, e traffico pesante

Relativamente ai parametri necessari per la determinazione della classe di esposizione strutturale globale e geotecnica, si rimanda al paragrafo § 4.2.4 per definizioni e criteri di classificazione.

4.6.4.2 Strategicità dell'opera

Le opere considerate di interesse strategico, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, devono avere una più elevata priorità, in quanto è necessario garantirne l'efficienza in caso di emergenza.

A tal fine, la classe identificata secondo gli altri parametri aumenta, come riportato in *Figura 4.9* nel caso in cui la galleria rientri tra le opere ritenute di interesse strategico per le emergenze a seguito di un evento sismico (con riferimento alle Condizioni Limite di Emergenza) o, in altre parole, se rientra nelle classi d'uso III o IV. Tali opere sono espressamente indicate dalla protezione civile o dall'ente amministrativo competente.

4.6.5 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA

Noti i parametri in gioco, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) sismica combinando la classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della galleria come indicato in generale per tutti i possibili aspetti nella *Tabella 4.1*.

4.7 CLASSE DI ATTENZIONE IDRAULICA

La classe di attenzione idraulica analizza le cause e individua i parametri che influenzano potenziali fenomeni di allagamento dell'opera, intendendo con allagamento il fenomeno che ne pregiudichi in qualsiasi modo la funzionalità e la sicurezza degli utenti e degli addetti. Al riguardo si ribadisce che tale tipo di verifica va eseguita per qualsiasi lunghezza della galleria, in particolare anche se inferiore ai 200 m.

Non sono quindi esaminati i fenomeni di percolazione e stillicidi già considerati nella classe di attenzione strutturale globale e geotecnica al paragrafo 4.2.3.3 in relazione all'ammaloramento dei rivestimenti, ma l'attenzione è posta su quanto provochi presenza di acqua sulla carreggiata in quantità almeno tale da poter essere causa del fenomeno di acquaplaning. L'esatta definizione dello spessore della lama d'acqua dipende dalla velocità del veicolo e dalle

condizioni del fondo stradale oltre che degli pneumatici, ma è comunemente accettato che il valore di soglia sia compreso tra 2,5 e 10 mm per velocità del veicolo fra 70 e 90 km/h.

Si tratta quindi di quantità d'acqua di un certo rilievo, per lo più derivanti dal contesto esterno in corrispondenza degli accessi al sottopasso o galleria, dovendo tener conto, quando presenti, anche degli eventuali cunicoli di esodo/accesso realizzati per motivi di sicurezza o servizio.

Nella definizione della classe di attenzione idraulica risulta certamente utile distinguere fra galleria e sottopasso, essendo il secondo potenzialmente soggetto a fenomeni di allagamento in misura e frequenza ben maggiore della prima anche in conseguenza dello sviluppo delle pregallerie rispetto al tratto in sotterraneo. Le pregallerie collettano certamente le acque meteoriche in relazione alla loro estensione planimetrica ma, in mancanza di opportuni presidi idraulici, il bacino contribuente può estendersi in misura notevole e incontrollata.

Chiaramente anche venute d'acqua meno rilevanti, derivanti ad esempio da processi di filtrazione, possono essere causa di fenomeni di allagamento in assenza di un opportuno sistema di drenaggio o dal fallimento del sistema di evacuazione delle portate.

La classe di attenzione idraulica è definita a livello globale, anche se il fenomeno dell'allagamento interessa prevalentemente il tratto più depresso della galleria compreso tra due tratte discendenti.

I parametri per la determinazione delle CdA sono distinti in "parametri primari" e "parametri secondari", come indicato in *Tabella 4.37*.

Come per i precedenti fattori, il valore della Classe di Attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della pericolosità, dell'esposizione e della vulnerabilità associati alla singola opera, effettuata elaborando i risultati scaturenti dalle ispezioni visive.

Tabella 4.37 - Classe di Attenzione Idraulica: parametri primari e secondari

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Intensità della precipitazione Quota di falda / piezometrica	Superficie contribuente in corrispondenza degli accessi Conducibilità idraulica terreni/ carezza impermeabilizzazione
Vulnerabilità	Sistema di cattura Sistema di convogliamento Restituzione a gravità / con sollevamento	Intasamento sistema di cattura Sistema di raccolta liquidi infiammabili / pericolosi Sistema semaforico automatico
Esposizione	Livello del TGM	Trasporto di liquidi infiammabili / pericolosi Velocità massima di progetto Sistemi di riduzione dell'esposizione

4.7.1 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Il rischio idraulico valuta la potenziale presenza d'acqua in galleria, dalle semplici trafilature a situazioni di vero e proprio allagamento, potendo risultare le stesse egualmente pericolose, anche se in misura diversa in relazione allo specifico contesto e ai tempi di intervento.

Risultano essere parametri primari: a) l'intensità della precipitazione e b) la quota di falda o della piezometrica. L'intensità di precipitazione che qui interessa è quella relativa alle durate orarie e suborarie, per le quali alcune Regioni rendono disponibili informazioni sull'intero territorio (e.g. l'Atlante delle Piogge Intense di ARPA Piemonte), pur essendo tale servizio purtroppo non disponibile in tutte le regioni.

L'intensità di precipitazione da assumere a riferimento per la valutazione della pericolosità è quella relativa ad eventi di durata pari ad una ora e con tempo di ritorno $Tr=20$ anni. Tale parametro risulta infatti significativo in termini di durata per le precipitazioni brevi ed intense, oltre ad essere comunemente disponibile sul territorio (rapporti VAPI) o comunque valutabile sulla base dei dati pluviometrici raccolti dalle ARPA regionali. La scelta del tempo di ritorno pari a 20 anni non riveste nessun significato statistico ma permette la costruzione di un parametro robusto anche con un numero relativamente limitato di anni di osservazione.

Nella seguente tabella sono riportate le classi di attenzione relative all'intensità di precipitazione.

Tabella 4.38 - Classi di attenzione in relazione all'intensità di precipitazione (evento di riferimento: durata=1 ora, tempo di ritorno $T_r=20$ anni)

ALTA	>60 mm/h
MEDIO – ALTA	50-60 mm/h
MEDIO – BASSA	40-50 mm/h
BASSA	<40 mm/h

La quota di falda o piezometrica con riferimento alla quota minima del piano di scorrimento stradale dell'intero sottopasso o del tratto di galleria in esame, e le classi di attenzione fondo è riportata nella seguente tabella.

Tabella 4.39 - Classi di attenzione relative alla quota di falda / piezometrica

ALTA	Egualo o superiore al cielo della galleria
MEDIO – ALTA	Compresa fra il cielo e metà altezza della galleria
MEDIO – BASSA	Compresa fra metà altezza della galleria e il fondo
BASSA	Egualo o inferiore al fondo della galleria

I parametri secondari sono a) la superficie contribuente, intesa come area della superficie contribuente che convoglia le acque nel tratto del manufatto galleria/sottopasso eventualmente anche attraverso cunicoli di esodo/accesso realizzati per motivi di sicurezza o servizio e b) la conducibilità idraulica dei terreni.

L'identificazione di a) è basata su osservazioni topografiche che portano all'individuazione di linee di displuvio, o sul riconoscimento di presidi idraulici (quali i fossi di guardia) che delimitano il bacino contribuente. La classe di attenzione è bassa se la superficie contribuente corrisponde ai tratti non coperti degli accessi (pregallerie) in virtù della sola altimetria dei luoghi, alta altrimenti. In questo ultimo caso, se sono presenti fossi di guardia per la delimitazione della superficie contribuente, la classe di attenzione risulta media.

La conducibilità idraulica è valutata alta in presenza di terreni a grana grossa o rocce fratturate, bassa quando il sottopasso/galleria sia realizzato in terreni a grana fine o roccia compatta. La presenza un sistema di impermeabilizzazione e assenza di stillicidi comporta una valutazione bassa indipendentemente dalle caratteristiche dei terreni.

I parametri principali e secondari della pericolosità si combinano come illustrato nelle seguenti tabelle per quanto riguarda gli afflussi superficiali e sotterranei rispettivamente.

Tabella 4.40 – Classi di pericolosità relative agli afflussi superficiali per combinazione di intensità di precipitazione e superficie contribuente

Intensità di precipitazione	Superficie contribuente	Classe di pericolosità
ALTA	ALTA	ALTA
	MEDIA	
	BASSA	
MEDIO – ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA
	MEDIA	
	BASSA	
MEDIO – BASSA	ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIA	
	BASSA	
BASSA	ALTA	BASSA
	MEDIA	
	BASSA	

Tabella 4.41 – Classi di pericolosità relative agli afflussi sotterranei per combinazione di quota di falda/piezometrica e conducibilità idraulica/difetto impermeabilizzazione

Quota di falda/piezometrica	Conducibilità idraulica/difetto impermeabilizzazione	Classe di pericolosità
ALTA	ALTA	ALTA
	BASSA	MEDIO – ALTA
MEDIO – ALTA	ALTA	
	BASSA	MEDIO – BASSA
MEDIO – BASSA	ALTA	BASSA
	BASSA	
BASSA	ALTA	
	BASSA	

La combinazione delle classi di pericolosità relative agli afflussi superficiali e sotterranei fornisce le classi di pericolosità idraulica totale illustrate nella seguente tabella.

Tabella 4.42 – Classi di pericolosità totale per combinazione di afflussi superficiali e sotterranei

Afflussi superficiali	Afflussi sotterranei	Classe di pericolosità
ALTA	ALTA	ALTA
	MEDIO-ALTA	
	MEDIO-BASSA	
	BASSA	
MEDIO – ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA
	MEDIO-ALTA	
	MEDIO-BASSA	
	BASSA	
MEDIO – BASSA	ALTA	ALTA
	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA
	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA
	BASSA	MEDIO-BASSA
BASSA	ALTA	ALTA
	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA
	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA
	BASSA	BASSA

4.7.2 STIMA DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ IDRAULICA

La vulnerabilità idraulica risulta principalmente dipendente dalle caratteristiche del sistema di restituzione, a gravità o per sollevamento, dall'ispezionabilità del sistema di condotte che convoglia le acque, dalla tipologia e dallo stato di efficienza del sistema di cattura superficiale. Ai fini della classificazione delle presenti Linee Guida, la presenza di un sistema semaforico in grado di segnalare automaticamente la presenza di un livello idrico anomalo in galleria rappresenta un elemento mitigatorio solo se controllato da sistemi di sicurezza ridondanti per la sua attivazione e segnalazione.

La capacità del sistema di provvedere alla raccolta e allo stoccaggio di liquidi infiammabili o pericolosi originati da sversamenti accidentali è assunta quale parametro secondario ma non rientra direttamente nella stima del livello di vulnerabilità idraulica, potendo comunque non essere autorizzato il trasporto di merci pericolose coerentemente ai punti 2.6.1 e 2.6.2 del D.Lgs. n. 264 del 5.10.2006.

Le classi di attenzione dei parametri in relazione alla vulnerabilità idraulica risultano come nel seguito definiti.

Sistema di restituzione:

- con sollevamento, ovvero quando è richiesto l'inserimento di un sistema meccanico di evacuazione per essere la quota di restituzione delle acque superiore alla quota minima del piano stradale da drenare;
- a gravità, quando la quota di restituzione delle acque è sempre inferiore alla quota minima del piano stradale da drenare.

Sistema di convogliamento:

- ispezionabile, ovvero realizzato con canaline scopribili nel loro sviluppo, o con condotte chiuse intervallate da pozzetti di ispezione ad ogni deviazione planimetrica/altimetrica e, nei tratti rettilinei, a distanze non superiori a 50 m;
- non ispezionabile, ovvero con caratteristiche costruttive diverse da a).

Sistema di cattura, distinto in base a tipologia:

- 1) organi di cattura puntuali in misura inferiore ad uno ogni 200 m²;
- 2) organi di cattura lineari e puntuali in misura superiore ad uno ogni 200 m²;

e grado di intasamento:

- 3) organi di cattura con rilevanti evidenze di intasamento (area di cattura occupata >30%);
- 4) organi di cattura senza rilevanti evidenze di intasamento (area di cattura occupata <30%).

La combinazione di tipologia e grado di intasamento forniscono le seguenti tre classi di attenzione del sistema di cattura:

- A. combinazione di 1 e 3;
- B. combinazione di 1 e 4 o di 2 e 3;
- C. combinazione di 2 e 4.

La vulnerabilità complessiva del sistema di evacuazione delle portate è riportata nella seguente tabella.

Tabella 4.43 - Vulnerabilità del sistema di evacuazione delle portate

Restituzione	Sistema di convogliamento	Sistema di cattura	Vulnerabilità
CON SOLLEVAMENTO	NON ISPEZIONABILE	A, B	ALTA
		C*	MEDIO - ALTA
	ISPEZIONABILE	A	MEDIO - BASSA
		B, C*	MEDIO - BASSA
A GRAVITÀ	NON ISPEZIONABILE	A, B*	MEDIO - ALTA
		C*	MEDIO - BASSA
	ISPEZIONABILE	A	MEDIO - BASSA
		B, C	BASSA

* Solo se in combinazione con la presenza di un sistema semaforico automatico controllato da sistemi di sicurezza ridondanti per la sua attivazione e segnalazione la vulnerabilità passa al livello inferiore

4.7.3 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE IDRAULICA

Come già fatto con riferimento a classi di attenzione diverse da quella idraulica, mediante le informazioni relative alle reti stradali di appartenenza raccolte nel censimento di Livello 0, acquisite a seguito di studi trasportistici specifici o fornite dagli enti gestori di competenza, è possibile ricavare il volume di traffico previsto, in termini di Traffico Medio Giornaliero (TGM) ossia il numero medio di veicoli transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata servita dalla galleria.

Il livello del TGM si combina con i parametri secondari "velocità massima" e "sistemi di riduzione dell'esposizione". Questi ultimi possono essere riconducibili, ad esempio, a itinerari alternativi opportunamente segnalati in relazione alle effettive condizioni locali.

Per quanto riguarda la velocità massima, il discrimine è posto sulla velocità di 80 km/h, assunto quale valore di soglia per il quale si manifesta il fenomeno dell'acquaplaning per tiranti idrici sul battistrada compresi tra 2,5 e 10 mm.

La presenza di sistemi di riduzione dell'esposizione rappresenta un fattore di mitigazione dell'esposizione solo per livelli di TGM bassi (< 10000 veicoli/giorno). Per livelli di traffico medio giornaliero superiori, i sistemi di riduzione dell'esposizione sono considerati fattori di mitigazione solo se accompagnati dalla presenza di opportuni sistemi di segnalazione. Nel caso di alti valori di TGM (≥ 40000 veicoli/giorno) e velocità massima superiore a 80 km/h, la presenza di sistemi di riduzione dell'esposizione non mitiga la classe di esposizione. Il risultato complessivo è illustrato nella seguente tabella.

Tabella 4.44 – Esposizione complessiva nei confronti della vulnerabilità idraulica

TGM	VELOCITÀ MASSIMA	SISTEMI DI RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE	ESPOSIZIONE
veicoli/giorno \geq 40000	> 80 km/h	NO	ALTA
		SI	
	< 80 km/h	NO	MEDIO-ALTA
		SI*	
25000 \leq veicoli/giorno < 40000	> 80 km/h	NO	ALTA
		SI*	
	< 80 km/h	NO	MEDIO-BASSA
		SI*	
10000 \leq veicoli/giorno < 25000	> 80 km/h	NO	MEDIO-ALTA
		SI*	
	< 80 km/h	NO	BASSA
		SI*	
veicoli/giorno < 10000	> 80 km/h	NO	MEDIO-BASSA
		SI	BASSA
	< 80 km/h	NO	MEDIO-BASSA
		SI	BASSA

* Solo se in combinazione con la presenza di opportuni sistemi di segnalazione, altrimenti è NO e l'esposizione passa al livello superiore.

Come già richiamato nel precedente paragrafo § 4.7.2, il trasporto di liquidi infiammabili / pericolosi è autorizzato solo in presenza di opportune caratteristiche del sistema di drenaggio, dovendo altrimenti provvedere ad una specifica analisi di rischio come disposto ai punti 2.6.1 e 2.6.2 del D.Lgs. n. 264 del 5.10.2006.

4.7.4 STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE IDRAULICA COMPLESSIVA

La determinazione della classe di attenzione (CdA) idraulica si ottiene combinando la classe di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della galleria come indicato nelle seguenti tabelle.

Per rendere agevole la definizione della classe di attenzione, tramite la tabella seguente è valutata la pericolosità specifica come combinazione di pericolosità e vulnerabilità.

Tabella 4.45 – Pericolosità specifica ottenuta dalla combinazione di pericolosità e vulnerabilità idrauliche

Pericolosità	Vulnerabilità			
	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
MEDIO-ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
BASSA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	BASSA

La pericolosità specifica combinata con l'esposizione come mostrato nella tabella seguente porta, infine, alla definizione della classe di attenzione idraulica.

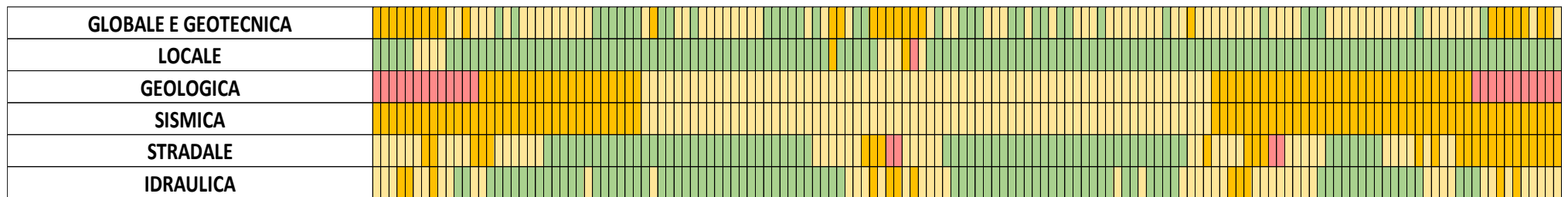
Tabella 4.46 – Classe di attenzione idraulica ottenuta dalla combinazione di pericolosità specifica ed esposizione

Pericolosità specifica	Esposizione			
	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
MEDIO-ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
MEDIO-BASSA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	BASSA
BASSA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA

4.8 ANALISI MULTI-RISCHIO E DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE COMPLESSIVA

Calcolate le Classi di Attenzione per tutti gli ambiti precedentemente elencati (Strutturale Globale e geotecnico, Strutturale Locale, Geologico, Sismico, Stradale, Idraulico) queste devono essere riportate per ogni tratto omogeneo di rilievo della galleria e ciascun ambito è anche qualificato dall'indice di diffusione lungo la galleria.

Nel seguito si riporta un esempio grafico della rappresentazione sintetica del risultato ottenibile dall'applicazione del Livello 2 del presente documento e del conseguente indice di diffusione.



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)

Le classi di attenzione sono combinate per fornire una classe di attenzione complessiva anch'essa qualificata da un indice di diffusione ottenuta applicando le seguenti matrici di combinazione. La classe di attenzione complessiva non comprende l'ambito idraulico date le sue specificità. Conseguentemente questo ambito deve essere trattato in modo indipendente.

Tabella 4.48 – Combinazione delle Classi di Attenzione “Strutturale globale e geotecnico” e “Strutturale locale”

		STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICO			
		ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
STRUTTURALE LOCALE	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	MEDIO-ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIO-BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
	BASSA	ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA	BASSA

Tabella 4.49 – Combinazione delle Classi di Attenzione “Strutturale globale e geotecnico-Strutturale Locale” e “Geologica”

		STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICO - STRUTTURALE LOCALE			
		ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
GEOLOGICA	ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIO-BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
	BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA

Tabella 4.49 – Combinazione delle Classi di Attenzione “Strutturale globale e geotecnico-Strutturale Locale” e “Sismica”

		STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICO - STRUTTURALE LOCALE			
		ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
SISMA	ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIO-ALTA	ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIO-BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
	BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA

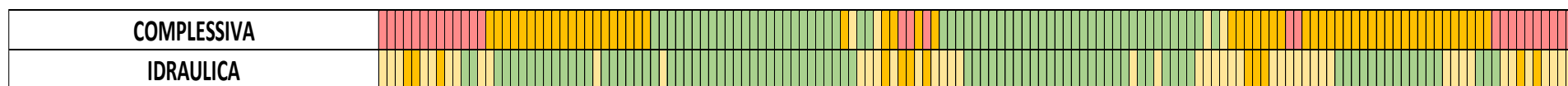
Tabella 4.51 – Combinazione delle Classi di Attenzione “Strutturale globale e geotecnico-Strutturale Locale-Geologica-Sismica”

		STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICO - STRUTTURALE LOCALE - GEOLOGICA			
		ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICO - STRUTTURALE LOCALE - SISMA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	MEDIO-ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA
	MEDIO-BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	MEDIO-BASSA
	BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA

Tabella 4.52 – Definizione della Classe di Attenzione “Complessiva”

		STRUTTURALE GLOBALE E GEOTECNICO - STRUTTURALE LOCALE - GEOLOGICA - SISMA			
		ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
STRADALE	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
	MEDIO-ALTA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA
	MEDIO-BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	MEDIO-BASSA	BASSA
	BASSA	ALTA	MEDIO-ALTA	BASSA	BASSA

Nel seguito si riporta un esempio grafico della rappresentazione sintetica del risultato ottenibile combinando le Classi di Attenzione relative ai vari ambiti secondo quanto previsto dal Livello 2 del presente documento.



COMPLESSIVA	39,7%	2,7%	37,7%	19,9%
IDRAULICA	58,9%	32,9%	8,2%	0,0%

Figura 4.11 – Esempio di rappresentazione sintetica del Livello 2 (Classe di attenzione complessiva e Classe di attenzione idraulica per ogni singolo concio e relativo Indice di diffusione)

5. VALUTAZIONI DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza di un'opera esistente deve consentire di ricomporre il quadro delle conoscenze relative al pregresso periodo di esercizio, fin dalle fasi di realizzazione ed a seguito di eventuali interventi successivi. La verifica di sicurezza è solo la fase finale che, mediante una valutazione numerica, conclude un processo più esteso ed articolato. È necessario ricostruire e comprendere gli schemi, le ipotesi dei carichi e le caratteristiche dei materiali, delle strutture e delle formazioni naturali, presi a riferimento nel progetto originario. È da verificare come tali condizioni iniziali possano essersi modificate per effetto di interventi successivi; ad esempio un intervento di impermeabilizzazione può modificare sostanzialmente il regime di spinta a tergo del rivestimento, come pure interventi di intasamento di cavità a tergo del rivestimento stesso. È necessario mettere in campo una capacità di lettura dell'opera esistente e non limitarsi ad applicare criteri e schemi di calcolo all'attualità valide per opere di nuova costruzione in cui tutte le scelte progettuali sono possibili.

L'adeguatezza nella caratterizzazione delle entità e grandezze che intervengono nelle verifiche e modellazioni numeriche è anche più importante di quanto non si debba adottare per il progetto di nuove opere. Può essere di valido ausilio il confronto con misure di spostamento e deformazioni del manufatto per ricostruire, attraverso back analysis, il comportamento dell'opera negli anni di esercizio e tarare i parametri che intervengono nelle modellazioni per la successiva verifica di efficacia di eventuali interventi.

La sicurezza di gallerie esistenti consegue ad una varietà di problematiche che possono interessare l'opera: epoca di costruzione, scelte progettuali, difetti nei dimensionamenti di progetto, difetti costruttivi, caratteristiche dei materiali impiegati e delle formazioni naturali, usura e degrado, caratterizzazione idrologica del sito, condizioni di traffico per volumi e composizione.

Ne consegue che una valutazione di sicurezza, sia essa preliminare o approfondita, non può essere ricondotta ad una semplicistica e formale schematizzazione e modellazione numerica, ma richiede la ricostruzione accurata del quadro di conoscenza dell'opera, come più volte affermato nelle presenti linee guida, ricorrendo anche ad un programma di eventuali indagini integrative opportunamente motivato.

In ambito normativo, il cap. 8.3 del DM del 17 gennaio 2018 *Nuove Norme tecniche per le costruzioni NTC 2018*, indica che: *“La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.”*

Valutazioni preliminari e/o approfondite, queste ultime eventualmente richieste dai risultati delle valutazioni preliminari, si rendono necessarie a seguito del riconoscimento di rilevanti difetti dell'opera in occasione delle Ispezioni iniziali del Livello 1 e la conseguente attribuzione, nel Livello 2, ad una Classe di Attenzione da Medio-Alta ad Alta.

Si dovrà comunque procedere ad una ispezione, con indagini approfondite, estesa a tutto lo sviluppo della galleria ed a tutti gli ambiti, indipendentemente dall'Indice di diffusione e dalla natura del potenziale pericolo, ad integrazione di quanto già disponibile dal quadro conoscitivo del Livello 0, con valutazioni su geometria e stato del rivestimento, compresa la ricostruzione di spessori e presenza di vuoti a tergo.

Le verifiche si pongono l'obiettivo di approfondire le conoscenze dell'opera, sino alla fase della eventuale definizione dei provvedimenti tecnici, con interventi anche locali, ritenuti necessari per incrementare il livello di sicurezza.

Le informazioni procedurali sulle modalità di verifica fornite nel presente capitolo sono da considerarsi indicative ma non esaustive di tutte le possibili situazioni riscontrabili. Caso per caso è necessario specificare o dettagliare maggiormente le fasi di conoscenza, modellazione, analisi e valutazione della sicurezza in funzione delle peculiarità riscontrate.

Il presente capitolo è organizzato in diversi paragrafi, riferiti alle varie tipologie di pericolo da cui si determinano le condizioni di rischio secondo cui viene qualificata la Classe di attenzione, che comportano la conduzione di verifiche per gli specifici pericoli riconosciuti. Per ciascuna tipologia di pericolo sono richiamati i criteri secondo cui condurre le Valutazioni preliminari del Livello 3 e le Valutazioni approfondite del Livello 4.

Il Responsabile della galleria programma per ogni galleria il piano delle attività in termini di valutazioni preliminari e approfondite in relazione alla Classe di attenzione, tenuto conto degli indicatori di qualifica della stessa in relazione alla effettiva diffusione lungo lo sviluppo della galleria e alla tipologia di rischio cui è esposta la galleria.

Sulla base dell'esito delle valutazioni della sicurezza, il Responsabile della galleria valuterà la necessità di dare corso alla adozione di interventi integrativi, compresa l'adozione di misure restrittive della circolazione, qualora ne riconosca le condizioni.

La programmazione degli interventi dovrà essere sviluppata tenendo conto dei condizionamenti in corso d'opera sulla circolazione lungo l'infrastruttura in termini di funzionalità e sicurezza.

5.1 CONCETTI FONDAMENTALI E CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Nel presente paragrafo sono presentati i concetti fondamentali e i criteri generali da adottare per la valutazione della sicurezza. Particolare riguardo è dedicato alla fase conoscitiva e alla definizione dei livelli di analisi in funzione della finalità della verifica che si intende perseguire.

La valutazione preliminare di Livello 3 è sostanzialmente finalizzata a una verifica della Classe di Attenzione attribuita alla galleria nel Livello 2. Pertanto, essa consiste in un approfondimento delle indicazioni scaturite dai livelli precedenti, generalmente basato sulle conoscenze e sui dati già disponibili.

I risultati conseguiti dalla valutazione preliminare possono condurre:

- ad una conferma di un rischio significativo per lo specifico ambito, come precedentemente attribuito alla galleria. In questo caso è necessario procedere ad una valutazione accurata;
- ad una ridefinizione della Classe di Attenzione.

Nel caso in cui il livello di conoscenza e i dati disponibili non siano ritenuti sufficienti per pervenire ad una stima attendibile del margine di sicurezza, sarà necessario procedere ad un approfondimento del livello di conoscenza ed a una valutazione accurata di Livello 4.

La valutazione accurata di Livello 4 è finalizzata a una attendibile valutazione del margine di sicurezza associato a porzioni della galleria o a opere accessorie, comprensive degli imbocchi, e alla necessità – o meno - di prevedere eventuali misure di mitigazione per lo specifico rischio. L'affidabilità delle suddette valutazioni deve essere garantita da un adeguato livello di conoscenza; per il raggiungimento di quest'ultimo, sarà generalmente necessaria la preventiva programmazione ed esecuzione di indagini e misure integrative, in aggiunta ai dati già disponibili dai Livelli precedenti.

5.1.1 LA NORMATIVA VIGENTE

Le presenti Linee Guida seguono l'impostazione delle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 17.01.2018, GU 20.02.2018) e della relativa Circolare esplicativa (Circ. 21.01.201, n.7/CSLLPP, GU 11.02.2019) che costituiscono riferimento. Il Capitolo 8 *Costruzioni esistenti*, sebbene di valenza generale, acquisisce specifica rilevanza per l'ambito di applicazione in esame per quanto riferibile alle gallerie esistenti.

Con riferimento alle problematiche che possono essere indotte sulle strutture esistenti da instabilità di versante occorre tenere in debito conto le indicazioni dettate dalle NTC2018 e dalla circolare esplicativa (G.U. 11.02.2019) con particolare riferimento alla "progettazione geotecnica" (capitolo C6.3) in tutti i casi in cui la verifica di sicurezza delle gallerie è dovuta ad azioni eccezionali, come precisato nel § 3.6.

Le presenti Linee Guida costituiscono un punto di partenza per valutazioni più accurate e approfondite in materia.

5.1.2 CASI IN CUI È NECESSARIA LA VALUTAZIONE DI SICUREZZA

Nel Cap. 8.3 delle Norme Tecniche NTC 2018 sono indicati i casi in cui è necessaria la valutazione della sicurezza:

"La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso superiore;*
- *esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;*
- *ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4;*

- opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere effettuata anche solo sugli elementi interessati e su quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura."

La Circolare, nel corrispondente punto C8.3, aggiunge il fondamentale concetto secondo cui:

"Tra i casi per i quali è obbligatorio procedere alla verifica della costruzione è escluso il caso conseguente ad una eventuale variazione dell'entità delle azioni a seguito di una revisione o della normativa o delle zonazioni che differenziano le azioni ambientali (sisma, neve, vento) nelle diverse parti del territorio italiano."

Riguardo la necessità di effettuare la valutazione di sicurezza nel caso di esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali che interagiscano comunque con gli elementi strutturali, si sottolinea l'importanza di valutare l'eventuale aggravio di carichi permanenti portati in relazione alle variazioni apportate con l'installazione di nuovi impianti di servizio (ad esempio impianti di ventilazione), oltre a controllare che le modalità di messa in opera degli stessi non abbiano arrecato problemi di durabilità al rivestimento (a titolo esemplificativo si citano i possibili danni arrecati alla guaina di impermeabilizzazione eventualmente presente a tergo del rivestimento definitivo).

La valutazione della sicurezza (§8.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni) è inoltre contemplata nel caso in cui si eseguano gli interventi strutturali previsti dal cap. 8.4 delle Norme Tecniche.

A seguito della realizzazione di interventi locali che riguardano singole parti della struttura, volti a ripristinare le caratteristiche iniziali di parti danneggiate anche allo scopo di impedire meccanismi di collasso locale, la valutazione della sicurezza potrà essere riferita alle sole parti degli elementi interessati dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno non vengano prodotte sostanziali modifiche della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti (§8.4.1).

Si evidenzia infine un punto di assoluta rilevanza nella concezione normativa nazionale: emerge infatti con chiarezza che non vi è generale obbligo di verifica strutturale qualora cambino solo le norme.

Ai fini dell'attuazione delle procedure delle presenti Linee Guida la necessità di valutazioni preliminari di Livello 3 deriva dall'attribuzione della galleria, nel Livello 2, ad una Classe di Attenzione da Medio-Alta ad Alta. La necessità di valutazioni approfondite scaturisce dal riconoscimento di gravi difetti nell'ambito delle ispezioni iniziali del Livello 1, oppure a seguito delle valutazioni preliminari del Livello 3 e, in ogni caso, se la Classe di Attenzione da Livello 2 è Alta. Resta inteso che valutazioni preliminari potranno essere eseguite, anche per gallerie con Classe di Attenzione Medio-Bassa e Bassa, qualora se ne riscontrasse la necessità, ad esempio, per confermare l'attribuzione della Classe di Attenzione precedentemente determinata.

5.1.3 IL RUOLO FONDAMENTALE DELLA CONOSCENZA

La conoscenza dell'opera rappresenta un fattore cruciale per comprendere il reale comportamento della costruzione esistente, in funzione delle modalità e fasi di costruzione, dei fenomeni di degrado e degli eventuali interventi di manutenzione e/o consolidamento della struttura e dell'ammasso roccioso o del terreno adiacente la galleria, realizzati nel corso degli anni.

L'obiettivo principale del processo conoscitivo è la riduzione delle incertezze sul comportamento dell'ammasso e delle strutture (provvisorie e definitive), così da raggiungere livelli di conoscenza appropriati in funzione delle verifiche da eseguire.

A tal fine sono definiti, come previsto dalla Circolare Esplicativa, livelli progressivi di approfondimento di conoscenza, indagine e verifica. Le informazioni sui dettagli costruttivi e sulle proprietà dei materiali si possono ricavare dall'esecuzione di successive campagne conoscitive, di volta in volta caratterizzate da maggior dettaglio, pianificate sulla base delle indicazioni ricavate dalle valutazioni preliminari di sicurezza che permetteranno di individuare le principali criticità dell'opera. L'approfondimento delle indagini consentirà di incrementare e dettagliare la conoscenza in maniera organica e critica, focalizzando l'attenzione laddove necessario, per l'elaborazione di modellazioni geotecniche e strutturali caratterizzate da crescente accuratezza, con valutazioni di sicurezza più attendibili e meglio rappresentative del reale comportamento della galleria.

5.2 VALUTAZIONI STRUTTURALI GLOBALI E GEOTECNICHE

La valutazione della sicurezza delle gallerie esistenti presenta delle peculiarità in merito all'influenza dello stato di degrado della struttura definitiva di rivestimento e all'eventuale contributo offerto dal sistema di sostegno provvisorio messo in opera in fase di costruzione al fine garantire la stabilità e sicurezza del cavo, anche nei riguardi delle maestranze, prima del getto del rivestimento definitivo.

L'orizzonte temporale per cui si richiede il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza va assunto in funzione dello scopo cui è destinata l'analisi svolta. Al termine di tale arco temporale, si presuppone in generale che le analisi siano da ripetere e vadano svolte ulteriori verifiche ed adottati i necessari provvedimenti per garantire il dovuto livello di sicurezza, in termini, ad esempio, di opere di rinforzo e riparazione. In funzione dello stato dell'opera e dell'intervento stesso, viene quindi opportunamente definito un intervallo di tempo in cui occorre adottare interventi sulla struttura e/o nell'ammasso di terreno o roccia adiacente per garantirne la sicurezza. Nelle more di effettuare tali interventi, è cura del soggetto gestore, mettere in atto tutti i provvedimenti e/o le limitazioni conseguenti, idonei a garantire comunque la sicurezza e l'incolumità pubblica. Il suddetto tempo definito per effettuare degli interventi o per l'adozione dei provvedimenti atti a garantire la sicurezza e l'incolumità pubblica è comunicato agli Organi di controllo ed alle previste Banche dati.

Le strutture di rivestimento delle gallerie esistenti sono di frequente interessate da fenomeni di degrado dovuti alle azioni ambientali, quali le infiltrazioni d'acqua, prevalentemente localizzate nelle disomogeneità dei getti oppure lungo i giunti trasversali di costruzione dei conci e nelle lesioni (anche passanti), che causano, con il tempo, degradi del calcestruzzo.

Nei rivestimenti definitivi delle gallerie esistenti è inoltre possibile riscontrare spessori delle strutture in calcestruzzo differenti da quelle previste in progetto, dovute a:

- convergenze eccessive del cavo prima del getto;
- sezioni di scavo non conformi alle previsioni progettuali;
- difetti di getto che hanno lasciato dei vuoti (tipicamente in calotta) tra il rivestimento definitivo e quello provvisorio (sotto spessori locali).

Nella configurazione di verifica occorre considerare con attenzione le effettive dimensioni geometriche della struttura e le condizioni di degrado dei materiali.

5.2.1 LA CONOSCENZA DEL PROGETTO, DELLA COSTRUZIONE E DEI PROBLEMI IN FASE DI ESERCIZIO

La conoscenza della "storia" della galleria rappresenta un elemento indispensabile, sia per valutare la sicurezza attuale, sia per l'eventuale progettazione degli interventi e la previsione della loro efficacia nel tempo.

Il percorso conoscitivo comprende attività diverse e strettamente interconnesse tra loro da eseguirsi con livelli successivi di approfondimento al fine di ottimizzare, sia in termini quantitativi sia in termini di costi e tempi, la conoscenza dell'opera.

L'analisi storico-critica della galleria (punto 8.5.1 NTC 2018) richiede:

- a. L'acquisizione e l'analisi del progetto originario e, in particolare, gli studi relativi alla Caratterizzazione Geologica e Geotecnica dell'ammasso di terreno e/o roccia in cui la galleria è stata scavata;
- b. Le modalità di scavo e le fasi di costruzione con le eventuali modifiche ed integrazioni progettuali che si sono rese necessarie in corso di realizzazione in relazione alle reali caratteristiche dei terreni incontrati;
- c. Il rilievo (geometrico-strutturale, dei dettagli costruttivi, del quadro fessurativo e dei dissesti);
- d. La caratterizzazione geologico-tecnica del sito;
- e. Le indagini finalizzate alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e dei materiali.
- f. L'inquadramento dell'assetto geo-morfologico e l'evidenza di movimenti di versante potenzialmente interagenti con la struttura o parti di essa, nonché la presenza e l'efficienza di passati interventi di stabilizzazione (nei casi in cui la verifica di sicurezza sia richiesta da fenomeni di instabilità di versante);
- g. Interventi eseguiti in passato e loro efficacia.

L'analisi storico-critica permette la ricostruzione del percorso di realizzazione del manufatto tramite il reperimento di materiale documentario, relazioni tecniche, elaborati progettuali originari, ecc. già alla base della ricostruzione del quadro conoscitivo di cui al Livello 0. Attraverso queste attività è possibile comprendere i dissesti, i fenomeni di

degrado, i cimenti subiti dall'opera e le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario.

L'analisi del progetto originario fornisce importanti indicazioni su possibili criticità in relazione a possibili errori o lacune di progettazione e all'affidabilità delle calcolazioni semplificate all'epoca effettuate.

La documentazione progettuale disponibile, corredata da un opportuno programma di indagini e rilievi, deve permettere di ricostruire con ragionevole confidenza il modello geometrico della struttura, sulla base del quale effettuare le verifiche di sicurezza.

Il rilievo del quadro fessurativo e dei dissesti permette l'individuazione delle patologie del manufatto. Unitamente alle risultanze dei rilievi geometrici e strutturali, l'analisi storico-critica consente di formulare ipotesi sulla genesi dei sintomi presenti e la progettazione di sistemi di monitoraggio finalizzati a valutarne l'evoluzione.

La caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito prevede l'individuazione dei principali elementi stratigrafici, litologico-tecnici, geomorfologici, idrogeologici e sismici del sito, mediante l'esecuzione di indagini specifiche o l'interpretazione critica della documentazione esistente.

Le indagini verranno pianificate ed eseguite sulla base dei risultati ottenuti dalle precedenti attività di analisi storico-critica e di rilievo, mediante saggi in situ sugli elementi costruttivi e indagini in situ e/o in laboratorio sui materiali. È opportuno procedere per livelli successivi di approfondimento, su tratte di galleria a comportamento *omogeneo*, in modo da ottenere una migliore conoscenza in corrispondenza delle zone caratterizzate da maggiore criticità e maggiore incertezza, limitando l'impatto delle indagini in situ laddove strettamente necessario.

L'inquadramento geo-morfologico, anche in relazione ad una possibile pericolosità relativa a instabilità che possano interessare la galleria lungo il suo sviluppo o nelle zone di imbocco, permette di individuare potenziali eventi di frana che possono coinvolgere la galleria, o parti di essa, e di valutare i possibili danni conseguenti al verificarsi di questi eventi, prevedendo l'eventuale realizzazione di sistemi di monitoraggio atti alla individualizzazione in tempo reale della possibile evoluzione dei fenomeni di instabilità del versante. È necessario rivolgere particolare attenzione alla presenza di passati interventi di stabilizzazione e alla loro attuale efficienza, nonché alla disponibilità di misure provenienti da piani di monitoraggio e controllo.

5.2.2 IL PERCORSO ITERATIVO DELLA CONOSCENZA

Come già premesso, il percorso conoscitivo è organizzato per livelli progressivi di approfondimento di conoscenza, indagine e verifica. Le informazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni e sulle proprietà dei materiali strutturali si possono ricavare dall'esecuzione di campagne conoscitive successive, di volta in volta caratterizzate da maggior dettaglio, organizzate sulla base di una verifica preliminare di sicurezza che permetta di individuare gli elementi critici per l'esercizio della galleria.

A tal fine l'attendibilità della documentazione originaria di progetto, se presente, potrà essere verificata in situ mediante saggi a campione finalizzati a valutare la rispondenza tra quanto ipotizzato in fase di progetto in merito alle caratteristiche geologiche e geotecniche dell'ammasso attraversato dalla galleria, quanto effettivamente incontrato nel corso dello scavo e gli interventi di sostegno e rivestimento installati. Qualora si riscontri una buona rispondenza tra stato di progetto e stato di fatto, utilizzando le informazioni disponibili sarà possibile ricostruire un modello geologico, geotecnico e strutturale finalizzato alla valutazione della sicurezza dell'opera. Al contrario, nel caso in cui la rispondenza tra stato di fatto e stato di progetto sia assente o parziale, le informazioni reperite potranno comunque consentire una valutazione di sicurezza preliminare basata sull'assunzione di schemi semplificati anche al fine di indirizzare le indagini sperimentali verso le zone o elementi più critici rispetto al comportamento globale.

Nel caso invece in cui non sia stato reperito il materiale originario di progetto, l'analisi della sicurezza statica e della vulnerabilità è preceduta da una preventiva campagna conoscitiva, consistente in un numero limitato di indagini sugli elementi strutturali del rivestimento (provvisorio e definitivo). In tal modo sarà possibile effettuare analisi preliminari, anche locali o semplificate. In questa prima fase le indagini potranno essere indirizzate ad analizzare la sicurezza delle tratte *omogenee* della galleria interessate da maggiori difetti. L'approfondimento delle indagini sulla base dei risultati forniti dalle verifiche preliminari consentirà di incrementare e dettagliare la conoscenza in maniera organica e critica, evitando quanto non strettamente necessario e ridondante e focalizzando l'attenzione laddove necessario. L'approfondimento progressivo delle indagini garantisce l'elaborazione di modellazioni caratterizzate da crescente accuratezza e pertanto l'esecuzione di valutazioni di sicurezza più attendibili e meglio rappresentative del comportamento dell'opera.

5.2.3 VALUTAZIONE PRELIMINARE

La necessità di valutazioni preliminari della sicurezza di una galleria esistente è richiesta per la Classe di Attenzione da Medio Alta ad Alta attribuita all'opera nel Livello 2. Prima di procedere alla valutazione preliminare del Livello 3 è necessario verificare che i dati raccolti e resi disponibili dal censimento dell'opera e dall'ispezione iniziale siano sufficienti a sviluppare l'analisi preliminare per tutti gli indicatori di rischio che hanno determinato l'attribuzione della Classe, a conferma delle valutazioni già effettuate a Livello 2.

5.2.4 MODALITÀ OPERATIVA DI VERIFICA

La valutazione dello stato di sforzo e di deformazione nelle strutture di sostegno della galleria e nell'ammasso di roccia o di terreno adiacente lo scavo presenta varie difficoltà in quanto i carichi agenti sulle strutture di sostegno dipendono da vari fattori quali:

- lo stato di sforzo originario agente in sito prima della realizzazione dell'opera;
- la geometria della sezione di scavo e le fasi di costruzione,
- le caratteristiche meccaniche (resistenza e deformabilità) dell'ammasso e l'eventuale dipendenza dal tempo di questi parametri;
- la pressione dell'acqua interstiziale ed i relativi gradienti che si stabiliscono per effetto dello scavo;
- le caratteristiche meccaniche dei sostegni di prima fase, messi in opera ad immediato ridosso del fronte, o in avanzamento rispetto a questo, necessari a garantire la stabilità e la sicurezza del cavo nell'intervallo di tempo richiesto per il getto del rivestimento definitivo.
- Le caratteristiche del rivestimento definitivo, la distanza dal fronte a cui viene realizzato e le fasi di getto.

I metodi numerici di analisi degli sforzi consentono di analizzare situazioni molto complesse; l'attendibilità dei risultati ottenuti risulta tuttavia fortemente condizionata dal livello di conoscenza acquisita per i diversi fattori che influenzano il comportamento dell'opera. Come già indicato in precedenza, risulta opportuno che il percorso conoscitivo si sviluppi per livelli progressivi di approfondimento di conoscenza, indagine e verifica, partendo da quanto riportato in progetto, verificando poi la rispondenza di quanto ipotizzato in progetto con quanto realizzato in fase di costruzione e di quanto si è verificato nell'esercizio, ciò al fine di comprendere le cause da cui dipendono le difettosità che si sono manifestate. In questo percorso conoscitivo è opportuno partire utilizzando calcolazioni semplificate sia per quel che riguarda la geometria della sezione di scavo sia per le condizioni di sforzo originario per il quale si assume in genere l'ipotesi di sforzo isotropo.

I risultati di queste analisi semplificate, di fatto utilizzate anche nella fase preliminare dello sviluppo progettuale ad oggi seguito, costituiscono una stima di primo livello dell'interazione terreno-struttura ed agevolano molto la comprensione delle cause che possono aver determinato le difettosità riscontrate. Queste verifiche preliminari sono propedeutiche all'eventuale approfondimento dell'analisi mediante il ricorso a metodi di calcolo numerici in cui è possibile tener conto di leggi costitutive dei materiali più adeguate a descrivere il reale comportamento dell'ammasso di terra o roccia in cui la galleria si sviluppa e di condizioni al contorno complesse.

Il §8.3 della vigente normativa NTC2018 prevede che, qualora ricorrano le situazioni per cui risulta necessario effettuare la valutazione della sicurezza di una struttura esistente, la verifica debba essere effettuata mediante un "*procedimento quantitativo*", ricorrendo cioè a metodi e strumenti di analisi che consentano di verificare la funzionalità dell'opera, *quantificandone* il livello di sicurezza.

Negli ultimi decenni la comprensione dei fenomeni deformativi e tensionali indotti dallo scavo nell'ammasso adiacente l'opera ed i metodi di analisi e verifica delle gallerie si sono notevolmente sviluppati rispetto a quanto disponibile all'epoca della costruzione delle opere oggi esistenti, specie per quelle da più lungo tempo in esercizio, e consentono di analizzare le opere in sotterraneo in modo totalmente diverso da quanto era possibile fare nel passato.

Per gran parte delle gallerie tuttora in esercizio realizzate prima degli anni 1990, il progetto delle strutture di sostegno e rivestimento dello scavo è spesso basato solo sull'*esperienza* del Progettista supportata dall'uso di *Classifiche Tecniche* e/o modelli di calcolo statico con carichi esterni applicati ad una serie di elementi trave che schematizzano il rivestimento; la reazione del terreno alla deformazione della struttura può essere rappresentata con un sistema di molle alla Winkler.

Per scavi in roccia nella letteratura tecnica sono disponibili numerose proposte che suggeriscono il tipo di sostegno più idoneo alla stabilizzazione delle pareti di scavo sulla base degli indici di *qualità* dell'ammasso; l'affinamento delle scelte progettuali veniva poi effettuato *in corso d'opera* a seguito delle osservazioni al fronte di scavo e misure del comportamento deformativo della struttura.

L'analisi rigorosa dell'interazione tra il terreno e la struttura di rivestimento richiederebbe una buona conoscenza delle caratteristiche geotecniche dei terreni e una accurata simulazione delle effettive modalità di scavo della galleria e della messa in opera dei sostegni (di prima fase e definitivi). La ricostruzione del processo costruttivo potrebbe tuttavia risultare incerta anche in considerazione del fatto che, in passato, le strutture di sostegno di prima fase erano considerate opere provvisorie di sicurezza a carico dell'appaltatore, per cui spesso non sono indicate né nei documenti di progetto e neppure nei documenti di contabilizzazione dei lavori.

Per la valutazione preliminare di Livello 3, finalizzata alla verifica della Classe di Attenzione attribuita alla galleria, è tuttavia possibile ricorrere a procedimenti di analisi semplificati che utilizzano soluzioni analitiche o modelli numerici assialsimmetrici o di tipo piano.

5.2.5 ANALISI SEMPLIFICATE PER LA VALUTAZIONE PRELIMINARE

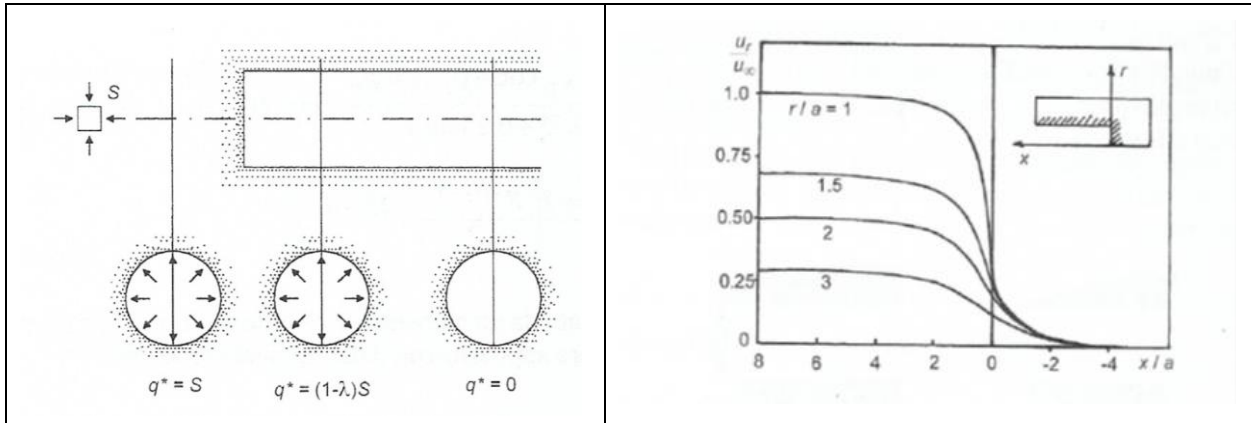
La complessità di valutare la sicurezza dei sostegni e del rivestimento di una galleria deriva dal fatto che non è possibile definire il carico agente sulla struttura senza tener conto delle modalità di scavo, delle fasi di costruzione dell'opera e della rigidità relativa tra la struttura di sostegno e l'ammasso di roccia o terreno circostante. Una accurata analisi dell'interazione tra la struttura e l'ammasso adiacente è molto influenzata dall'affidabilità dei valori delle caratteristiche geotecniche locali dell'ammasso e dalle fasi e tempi di messa in opera del rivestimento, spesso di difficile valutazione per le opere esistenti.

I metodi semplificati consentono tuttavia di chiarire l'importanza dei singoli fattori che condizionano l'interazione tra il terreno e la struttura e l'influenza della variazione di questi fattori, entro un certo campo di valori, sulla sicurezza dell'opera. Queste procedure di analisi, oltre che rappresentare un primo passo nel percorso conoscitivo dell'opera, che potrà essere eventualmente meglio analizzato con modelli geotecnici e strutturali più complessi, forniscono indicazioni quantitative sul possibile intervallo di deformazioni e sforzi della struttura e pertanto rispondono, in prima approssimazione, a quanto richiesto dalla normativa. Nel seguito si intende fornire un riferimento sul livello delle analisi da sviluppare, ferma restando la responsabilità in sede di conduzione delle valutazioni della sicurezza circa la applicabilità allo specifico caso in esame, che richiede una autonoma valutazione circa la necessità di ulteriori verifiche ed analisi più rappresentative.

Il "*metodo delle curve caratteristiche*" noto anche come "*metodo convergenza - confinamento*" è quello più utilizzato in fase di progettazione per una prima valutazione dei sostegni dello scavo. Il metodo richiede la determinazione della *curva caratteristica della galleria*, che definisce la relazione tra la convergenza delle pareti di scavo ed il carico radiale applicato, e la *curva caratteristica del rivestimento* che esprime la relazione tra il carico applicato all'estradosso della struttura di sostegno e la relativa convergenza.

Le principali semplificazioni insite in questo metodo di calcolo riguardano la forma della sezione, che viene assunta circolare, e le condizioni di sforzo iniziale agente in sito, ipotizzato isotropo. Questo metodo di calcolo, basato su relazioni analitiche in forma chiusa, consente di stimare le condizioni di sforzo e di deformazione nell'ammasso adiacente il cavo ed il carico che l'ammasso di terreno o roccia esercita sulla struttura di sostegno, tenendo in debito conto i tempi e delle modalità di realizzazione della stessa. Le soluzioni ottenute con questa procedura di calcolo forniscono risultati attendibili nel caso di gallerie profonde e di forma isometrica, come in effetti lo sono molte delle gallerie stradali, ed in ogni caso rappresentano una stima di primo livello qualora si riconosca la necessità di procedere con un approfondimento dello studio.

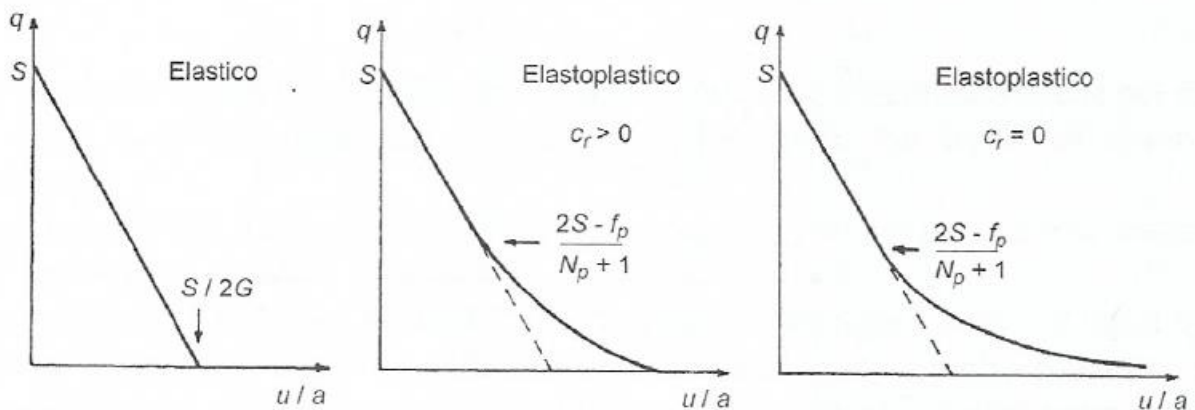
Lo scavo di una galleria modifica lo stato di sforzo iniziale nell'ammasso adiacente. Davanti al fronte della galleria, ad una certa distanza dallo stesso, lo stato tensionale iniziale S è assunto isotropo. Nell'analisi piana l'effetto tridimensionale della variazione dello stato tensionale nel terreno, dovuto al progressivo avanzamento del fronte di scavo, può essere simulato con una progressiva riduzione della pressione fittizia interna $q^*=(1-\lambda)S$ applicata sulla parete di scavo; λ rappresenta il "*fattore di rilascio*" ed assume un valore compreso tra 0 e 1. Nella zona retrostante il fronte, ad una distanza pari a circa 2 diametri, si può assumere che $q^*=0$ (completo rilascio dello sforzo iniziale, $\lambda=1$).



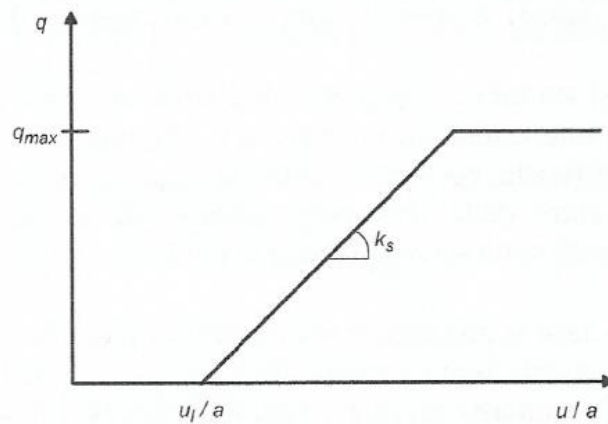
Il progressivo rilascio tensionale sul contorno di scavo simula l'avanzamento del fronte e determina la convergenza delle pareti della galleria. La convergenza si sviluppa sia nella zona antistante il fronte, su un tratto di lunghezza pari al raggio della sezione di scavo, sia nella zona retrostante, già scavata, per un tratto di lunghezza pari a circa due diametri del cavo.

Qualora lo stato tensionale finale indotto dalla variazione della pressione fittizia q^* risulti minore della resistenza dell'ammasso questo rimane in campo elastico. In assenza di sostegni installati, la convergenza radiale al fronte di scavo risulta pari a circa il 28% della convergenza finale mentre, nella zona retrostante, ad una distanza pari al raggio della galleria la convergenza radiale raggiunge un valore pari a circa l'80% di quella finale e raggiunge il valore finale ad una distanza pari a due diametri.

La *curva caratteristica della galleria* rappresenta graficamente la convergenza radiale in funzione della pressione fittizia q^* applicata al contorno della sezione. In un mezzo a comportamento elastico, oppure nel caso in cui la variazione dello stato tensionale nel terreno non sia tale da determinare deformazioni plastiche (ammasso di ottime caratteristiche meccaniche) la curva caratteristica rappresentata da un segmento rettilineo. Qualora invece la riduzione del carico interno q^* dovesse determinare il raggiungimento delle condizioni di resistenza, la curva caratteristica avrà andamento rettilineo fino ad un valore del carico (q_R) al di sotto del quale, in prossimità delle pareti dello scavo, viene a formarsi una fascia di roccia in condizioni plastiche e la curva caratteristica presenta una concavità rivolta verso l'alto.



La *curva caratteristica del rivestimento* rappresenta invece la convergenza della struttura di sostegno al variare del carico radiale applicato sull'estradosso; l'andamento è all'incirca lineare fino al raggiungimento della resistenza massima del materiale di cui è costituita la struttura. La pendenza della curva dipende dalla rigidezza dell'anello di rivestimento.

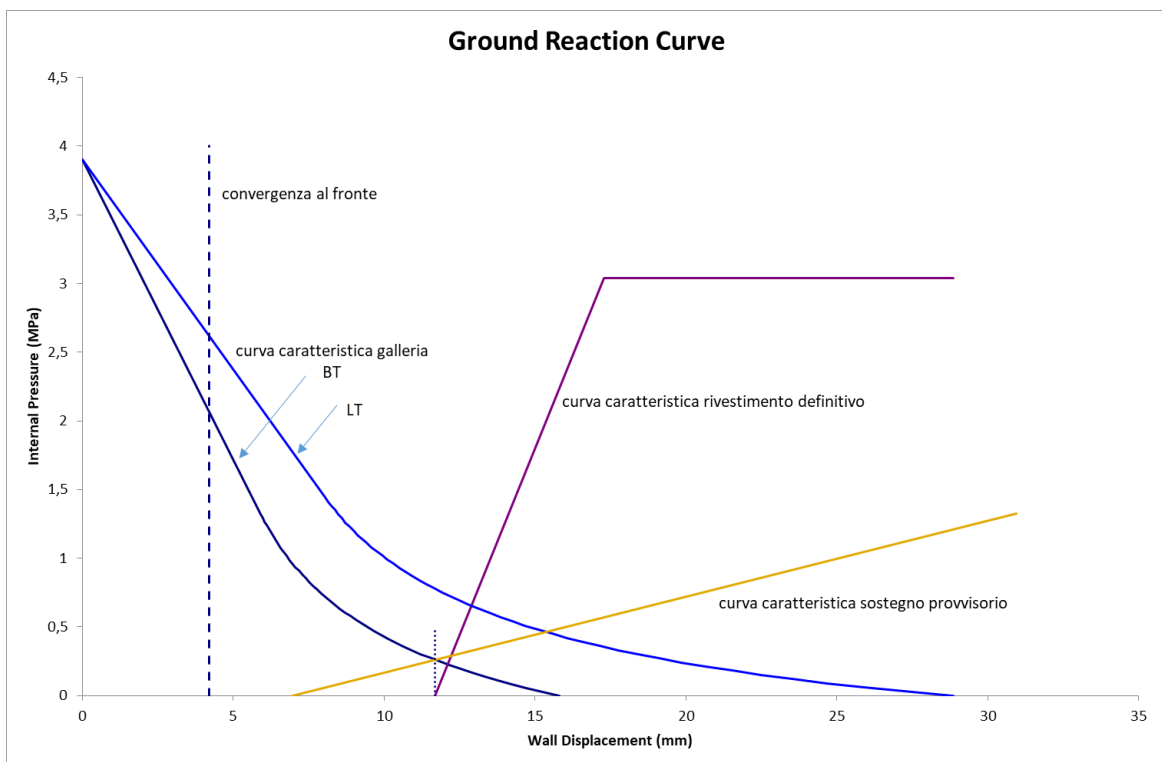


Nel momento in cui viene installato il sostegno, anche a ridosso del fronte, si è già verificata una quota parte della convergenza finale; la relativa curva caratteristica dovrà pertanto essere tracciata a partire dal valore della convergenza delle pareti della sezione di scavo al momento dell'installazione del sostegno.

Il punto di intersezione tra le curve caratteristiche del rivestimento e della galleria consente di individuare il carico di equilibrio del sistema terreno-struttura e la convergenza delle pareti dello scavo.

Questa semplice analisi mette bene in evidenza come il carico che il terreno esercita sul rivestimento dipenda dalla rigidità relativa tra il terreno e la struttura nonché dalla distanza dal fronte di scavo della sezione in cui viene messo in opera il sostegno. In un ammasso di buone caratteristiche meccaniche la sezione di scavo può risultare stabile anche in assenza di un sistema di sostegno e qualora questo venga installato (solo per motivi di sicurezza) ad una distanza dal fronte maggiore di 2 diametri il carico che l'ammasso esercita sulla struttura sarebbe nullo.

Nella successiva figura si considera ad esempio una galleria profonda, di sezione circolare avente diametro pari a 12m, scavata in un ammasso roccioso di buone caratteristiche meccaniche, con un rivestimento di prima fase realizzato con centine e calcestruzzo proiettato ed installato a breve distanza dal fronte.



La condizione di equilibrio terreno - sostegno di prima fase non viene modificato dalla realizzazione della struttura di rivestimento definitivo che pertanto rimane scarica, a meno che l'ammasso di terreno/roccia non presenti un comportamento dipendente dal tempo, da cui deriva una modifica della curva caratteristica della galleria, o per il degrado del rivestimento provvisorio.

Nella progettazione corrente i carichi sul rivestimento definitivo vengono definiti ipotizzando che, nel tempo, i sostegni di prima fase possano perdere le proprie caratteristiche di resistenza (per esempio a causa dell'ossidazione delle centine metalliche) e di conseguenza il carico venga trasferito al rivestimento definitivo. Le condizioni di equilibrio vengono pertanto determinate tenendo conto della rigidità del sostegno definitivo, tracciando la curva caratteristica del rivestimento a partire dal valore di convergenza che si era sviluppata in precedenza.

L'analisi approfondita dell'interazione terreno-struttura richiederebbe l'impiego di modelli numerici 2D e 3D nonché l'accurata simulazione delle fasi di scavo e della messa in opera dei sistemi di sostegno. Per gallerie profonde l'analisi semplificata effettuata con il metodo convergenza-confinamento risulta tuttavia utile per valutare in prima approssimazione il carico di interazione terreno-struttura. Questo modello si presta anche ad analizzare la variazione di carico sul rivestimento per deformazioni dello scavo ritardate nel tempo dovute al comportamento reologico della roccia o del terreno. In questo caso la convergenza alla posa del rivestimento di prima fase (provvisoria) può essere calcolata utilizzando le caratteristiche meccaniche a breve termine del terreno (BT) mentre le condizioni di equilibrio finali vengono determinate utilizzando le caratteristiche a lungo termine (LT).

5.2.6 VALUTAZIONE ACCURATA

Per situazioni geotecniche complesse oppure nel caso in cui le analisi preliminari confermano il rischio significativo per l'opera risulta necessario procedere ad una valutazione accurata.

In questo caso l'analisi richiede l'impiego di modelli numerici di tipo piano o tridimensionali e la simulazione delle fasi costruttive di scavo, posa in opera delle strutture di rinforzo e sostegno. L'attendibilità dei risultati attenuati dal ricorso a modelli numerici avanzati è tuttavia notevolmente influenzata dalla corretta definizione del modello geotecnico dell'ammasso, dalla situazione idraulica intorno allo scavo, dalle caratteristiche dei materiali e dalle fasi costruttive dell'opera.

Anche in presenza della documentazione originaria di progetto è opportuno effettuare indagini per verificare ed integrare le informazioni possedute. In particolare, potranno essere effettuati:

- misure geofisiche per il controllo dello spessore dei rivestimenti e della eventuale presenza di vuoti dietro di essi;
- saggi in situ sugli elementi costruttivi;
- prove sperimentali per la determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali e delle strutture;
- rilievi in situ e carotaggi per determinare lo stato di durabilità dei materiali.
- controlli e misure di tipo geomeccanico e geofisico per valutare le caratteristiche dell'ammasso e per individuare lo spessore della fascia di roccia allentata nell'intorno dello scavo.

Le campagne conoscitive dovranno essere organizzate per livelli successivi di approfondimento:

- il primo livello di indagine è mirato al reperimento delle informazioni sufficienti all'esecuzione di una valutazione di sicurezza che permetta di individuare le zone affette da maggiori problematiche, maggiormente sollecitate, o anche meno conosciute;
- i livelli successivi di indagine saranno 'calibrati' sui risultati delle verifiche precedenti, e permetteranno di ottimizzare la conoscenza e, conseguentemente, di elaborare modellazioni via via più raffinate e che garantiscono una maggiore attendibilità dei risultati.

La valutazione critica dei risultati ottenuti da ciascun livello di approfondimento di conoscenza/indagine effettuato, in riferimento alla tipologia di materiale ed alle relative caratteristiche meccaniche ipotizzate per l'elemento considerato, permette l'aggiornamento e l'integrazione delle campagne sperimentali.

Il quantitativo di saggi in-situ, sia per la caratterizzazione meccanica che di durabilità, dipende dal grado di conoscenza della struttura che si vuole raggiungere, tenendo presenti le informazioni effettivamente possedute al momento in cui si intraprendono le operazioni di rilievo, modellazione, analisi e valutazione della sicurezza.

5.3 VALUTAZIONI STRUTTURALI LOCALI DEL RIVESTIMENTO

La valutazione della sicurezza di una galleria può essere condotta a diversi livelli di approfondimento in funzione della classe di attenzione che viene attribuita all'opera.

Una valutazione preliminare può essere condotta nel caso di opere che ricadono nelle classi di attenzione da bassa a medio-bassa, cioè quando non ci sono elementi che possano indicare significative carenze che possano portare a degradi localizzati o estesi in evoluzione.

Una verifica accurata è invece raccomandata nei casi in cui l'opera ricada nelle classi di attenzione da medio-alta ad alta, e quindi in cui sia necessaria una verifica della sicurezza dell'opera per la possibile insorgenza di fenomeni di degrado in evoluzione.

5.3.1 VALUTAZIONE PRELIMINARE

Nel caso di una valutazione preliminare, ci si può limitare a verifiche della qualità dei materiali in opera e rilievo di eventuali fenomeni di degrado, con valutazioni che si basano su osservazioni che possono essere anche condotte direttamente dal personale dedicato all'opera in oggetto. Sono da rilevare anche eventuali fessurazioni, specie se ricorrenti in diverse posizioni della galleria, al fine soprattutto di rilevare se i suddetti danneggiamenti indicano una evoluzione nel tempo.

5.3.2 VALUTAZIONE ACCURATA

Nel secondo caso (valutazione accurata), le indagini devono prevedere innanzitutto rilievi più accurati della qualità dei materiali e della presenza di elementi che possono favorire l'evoluzione del degrado, rilievi che devono essere condotti da personale specializzato, anche con l'esecuzione di prove di laboratorio.

Inoltre, devono essere condotti rilievi ed indagini dell'effettiva geometria dell'opera e di suoi eventuali difetti, specie se non è disponibile un progetto affidabile dell'opera ed indicazioni su quanto effettivamente realizzato. I rilievi condotti sull'effettiva geometria e le prove sui materiali saranno necessari anche per una valutazione strutturale globale dell'opera stessa.

Al fine di verificare la rispondenza dell'opera alle previsioni teoriche possono essere condotte indagini sullo stato tensionale dei rivestimenti, ad esempio con l'uso di martinetti piatti. I risultati ottenibili da tali prove sono utili ma devono essere considerati comunque qualitativi, stante l'inevitabile complessità del comportamento di una galleria cui consegue una prevedibile differenza tra i modelli teorici-numeriche che sono elaborati con riferimento a comportamenti a favore di sicurezza nella definizione delle azioni del terreno sull'opera, e l'effettivo comportamento dell'opera stessa in condizioni di normale esercizio.

5.4 VALUTAZIONI DELLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

5.4.1 VALUTAZIONE PRELIMINARE

La valutazione preliminare deve essere riferita innanzitutto ad una ispezione visiva, atta a verificare la presenza di difetti sulla superficie della sovrastruttura, riconoscendone la tipologia. In base alla natura del fenomeno è possibile classificare il difetto e dedurne la causa. In particolare, meritano attenzione e, conseguentemente, una valutazione accurata i difetti che possono essere ricondotti a cause derivanti da cedimenti profondi degli strati che potrebbero essere indice di un'anomalia strutturale della galleria ovvero, comunque, di un movimento a profondo, a livello di sottofondo.

I difetti che tipicamente sono riconoscibili sulle pavimentazioni sono:

1. Fessurazioni: da fatica o pelle di cocodrillo; a blocchi;
 - 1.3. di riflessione di giunti;
 - 1.4. longitudinali e trasversali;
 - 1.5. di bordo;
 - 1.6. da scorrimento.
2. Distorsioni:
 - 2.1. ormaie;
 - 2.2. corrugamenti;
 - 2.3. depressioni;
 - 2.4. rigonfiamenti;
3. Disintegrazioni:
 - 3.1. Buche;
 - 3.2. Sgranamenti;
4. Perdite di aderenza:
 - 4.1. Risalita di bitume;

4.2. Levigatura degli inerti.

Tra questi sicuramente i difetti 1.1, 1.3, 1.5, 2.1 (se di tipo profondo), 2.3, 2.4 e 3.1 rappresentano quelli di tipo profondo di cui s'è detto che necessitano di un approfondimento. Le altre tipologie di ammaloramento, pur rappresentando difetti della piattaforma potenzialmente rischiosi per la circolazione stradale, non afferiscono alla sfera della stabilità strutturale dell'opera d'arte. In tali casi il gestore della strada dovrà tenerne conto nell'ambito delle proprie ordinarie procedure di gestione e manutenzione della sovrastruttura stradale.

5.4.2 VALUTAZIONE ACCURATA

Le difettosità che rilevano ammaloramenti profondi nelle pavimentazioni potrebbero dipendere da dissesti dell'opera d'arte e devono essere investigate con maggior dettaglio. Le indagini possono essere di tipo non distruttivo, ricorrendo ad esempio all'uso di georadar e di Falling Weight Delectometer (FWD), ovvero distruttive, attraverso la realizzazione di pozzetti esplorativi per mettere a nudo il sottofondo e verificare direttamente la natura e la causa primaria dell'anomalia.

5.5 VALUTAZIONI INSTABILITÀ LUNGO LA GALLERIA E AGLI IMBOCCHI

La valutazione della sicurezza nei riguardi di fenomeni franosi è necessaria nei seguenti casi:

- l'interferenza tra la frana e la galleria è riconosciuta, e comporta uno stato di sofferenza in atto per la struttura o per le opere accessorie, comprensive delle opere agli imbocchi. In questo caso è necessario procedere direttamente a una verifica accurata (Livello 4), by-passando la valutazione preliminare (Livello 3);
- la Classe di Attenzione associata al rischio frane nel Livello 2 ricade nel campo da Alta a Medio-Alta. In questo caso è opportuno procedere dapprima a una valutazione preliminare, per poi valutare la necessità – o meno – di una successiva verifica accurata.

In riferimento a quanto indicato nel capitolo 6.3 dalle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018 e dalla relativa Circolare esplicativa, la valutazione delle interferenze di eventi di frana con le gallerie e gli imbocchi delle stesse deve essere definita sulla base della ricostruzione di affidabili modelli geologici e geotecnici, nel caso sia d'instabilità esistenti sia potenziali. Considerata l'importanza degli assetti geologici, geomorfologici e idrogeologici quali fattori predisponenti, specifica attenzione va posta nella disponibilità di dati di superficie e di profondità, necessari per la ricostruzione delle instabilità nelle tre dimensioni, nonché di rilievi degli eventuali stati fessurativi interessanti i rivestimenti o le opere accessorie e delle entità di movimento.

A riguardo in figura 5.4.1 si riporta, a titolo di esempio, la rappresentazione del quadro fessurativo rilevato sulle strutture del rivestimento (Wang, 2010) che può risultare particolarmente utile per associare le deformazioni rilevate sui rivestimenti alle instabilità.

In specifici casi l'integrazione dei dati a disposizione può essere dirimente, oltre che nella predisposizione di attività di monitoraggio, anche definizione degli scenari di coinvolgimento delle strutture nei movimenti e degli interventi di mitigazione. Il tale ambito, considerate le caratteristiche generali delle opere e della loro posizione morfologica, possono essere particolarmente utili i dati scaturenti da analisi interferometriche satellitari che forniscono gli spostamenti nel tempo di strutture anche in mancanza di dati di sito.

Le modellazioni, da sviluppare anche su specifiche indagini in mancanza di dati pregressi, devono definire, oltre che il tipo di movimento, le geometrie superficiali e profonde della instabilità e l'eventuale storia evolutiva, in termini anche cinematici, eventualmente correlata a possibili fattori innescanti quali precipitazioni o sismi.

Relativamente alle tipologie di frana appare scontato che mentre gallerie posizionate a profondità elevate (es: superiori a 50 metri) possono essere interessate da fenomenologie con cinematica generalmente lenta o lentissima, le gallerie parietali e gli imbocchi possono essere coinvolte in fenomenologie a cinematica veloce. Di conseguenza, anche considerate le connesse energie di impatto, in quest'ultimo caso le valutazioni dovranno essere estese in un intorno significativo delle strutture potenzialmente coinvolte.

Sulla base del complesso delle conoscenze acquisite sui modelli e sulle possibili interferenze tra instabilità e strutture delle gallerie si dovrà procedere a disporre sistemi di monitoraggio basati sull'analisi temporale di parametri fisici, a valutazioni della sicurezza tramite procedure di analisi consolidate e basate su di una attenta valutazione delle geometrie e dei parametri caratteristici degli ammassi, nonché alla programmazione e definizione di eventuali azioni o misure di mitigazione.

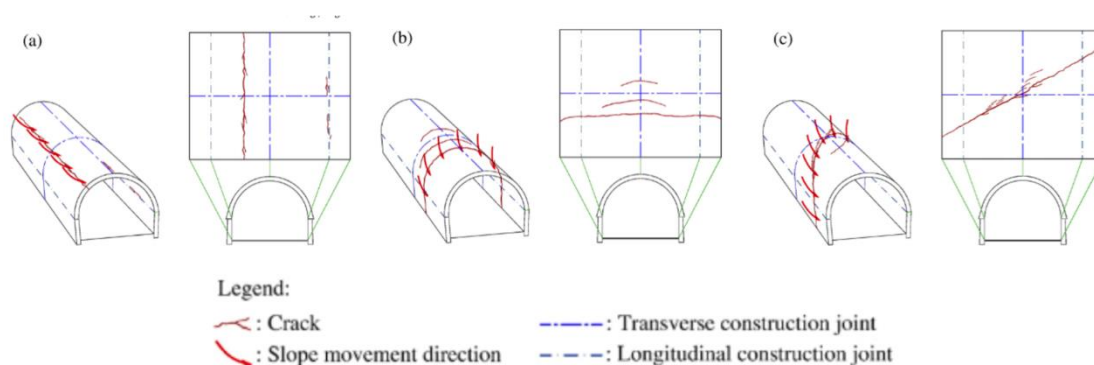


Figura 5.1 – Rappresentazione del quadro fessurativo rilevato sulle strutture del rivestimento (Wang, 2010)

5.5.1 VALUTAZIONE PRELIMINARE

La valutazione preliminare di Livello 3 è finalizzata a una verifica della Classe di Attenzione attribuita alla galleria nel Livello 2. Pertanto, essa consiste in un approfondimento delle indicazioni scaturite dai livelli precedenti, generalmente basato sulle conoscenze e sui dati già disponibili.

Le valutazioni della stabilità, dei margini di sicurezza e delle possibili azioni indotte sull'intera struttura o parti di essa sono definite sulla base di modellazioni geologiche e geotecniche svolte secondo quanto indicato dal capitolo 6.3 delle NTC e dalla relativa Circolare; in particolare, l'adeguatezza del margine di sicurezza ritenuto accettabile deve essere giustificata sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica. Le verifiche devono essere eseguite anche per le combinazioni sismiche previste dalle NTC, secondo quanto disposto nel § 7.11 delle NTC stesse.

5.5.2 VALUTAZIONE ACCURATA

In conformità alle NTC, le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematismi, considerando forma e posizione delle potenziali superfici di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi e il regime delle pressioni interstiziali. Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quelle riconosciute con le indagini. Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Nel caso in cui l'interferenza con la frana sia accertata, e questa comporti uno stato di sofferenza in atto per la struttura o per le opere accessorie, le verifiche devono tenere conto della interazione meccanica e cinematica tra l'ammasso e la struttura, e possibilmente consentire la determinazione dello stato di sforzo negli elementi strutturali.

Qualora siano disponibili misure sulla velocità degli spostamenti sufficientemente estese nel tempo, potrà essere adottato un approccio di tipo prestazionale finalizzato a verificare e assicurare la funzionalità delle opere in un determinato periodo di riferimento.

5.6 VALUTAZIONI SICUREZZA IDRAULICA

La valutazione della sicurezza idraulica non può prescindere dall'analisi storica degli eventi di allagamento di qualsiasi entità verificatisi nel passato.

Sia per la valutazione Preliminare che per quella Accurata risulta infatti fondamentale essere in grado di riconoscere la frequenza probabile degli eventi quando significativa, estesa quindi ad un numero sufficiente di anni, o in alternativa, le informazioni che possono essere tratte dalla back analysis di eventi sporadici.

A tale scopo risultano particolarmente importanti le ispezioni a seguito di eventi di rilievo previste nell'Allegato D, in occasione delle quali devono essere raccolte tutte le informazioni disponibili per identificare le possibili cause dell'allagamento.

Un elenco delle principali informazioni da raccogliere deve considerare le seguenti voci:

- data ed orario del fenomeno di allagamento;
- se localizzato, tratto della galleria interessata dal fenomeno di allagamento;
- massimo battente idraulico all'interno della galleria/sottopasso;
- condizioni idrauliche del recapito;
- condizioni idrauliche nelle aree in corrispondenza degli accessi (pregallerie ed eventuali cunicoli di accesso/esodo);
- durata ed intensità dell'eventuale evento pluviometrico;
- massimo livello della falda in concomitanza al fenomeno di allagamento;
- cause dell'eventuale malfunzionamento dell'impianto di sollevamento, se conseguenza della fallanza della(e) pompa(e) o per mancanza di alimentazione elettrica;
- livelli di attacco/stacco preimpostati per le pompe;
- andamento temporale dell'energia assorbita dalle pompe in concomitanza all'evento con intervallo di acquisizione non superiore a 5 minuti;
- eventuale accumulo di detriti nel sistema di convogliamento/restituzione e/o in corrispondenza del sistema di cattura;
- eventuali misure di regolazione degli accessi e loro regolare funzionamento.

Tali informazioni vanno organizzate in un database corredato da riprese video o fotografiche, con lo scopo di essere agevolmente reperibili in occasione della Valutazione Preliminare e/o Accurata.

5.6.1 VALUTAZIONE PRELIMINARE

Nel caso di valutazione preliminare ci si può limitare all'esame degli esiti delle operazioni di normale manutenzione e pulizia del sistema di cattura / convogliamento / restituzione condotte durante le ispezioni periodiche, che deve risultare libero da detriti. Condizioni di intasamento significative devono infatti essere segnalate e annotate su di un apposito registro corredato da documentazione fotografica, indicando con precisione la(e) posizione(i) delle porzioni del sistema di cattura / convogliamento / restituzione che risultassero intasate. Se presente, deve inoltre essere verificato il corretto funzionamento del sistema di sollevamento e il corretto posizionamento dei galleggianti che controllano i livelli di attacco/stacco preimpostati per le pompe. Tali operazioni possono essere condotte dal personale dedicato all'opera in oggetto. E' da verificare l'andamento temporale degli assorbimenti relativi alle pompe, individuando eventuali anomalie a confronto con i dati storici, oltre ad analizzare i dati raccolti durante le ispezioni a seguito di eventi di rilievo.

5.6.2 VALUTAZIONE ACCURATA

La valutazione accurata prevede l'analisi dell'intero sistema di drenaggio per il quale deve essere acquisito l'as-built di tutte le sue parti oltre alla topografia delle aree immediatamente prospicienti gli imbocchi e i tratti di pregalleria.

Oltre agli esami previsti per la valutazione preliminare, dovrà essere verificata:

- l'area contribuente relativa agli afflussi meteorici;
- la funzionalità dei presidi idraulici eventualmente installati per la delimitazione della stessa area contribuente;
- la capacità dell'eventuale sistema di pompaggio per l'evacuazione delle portate a fronte di eventi meteorici con prefissata frequenza probabile;
- la capacità di cattura del sistema di caditoie;
- l'adeguatezza del sistema di convogliamento e di restituzione.

Dovrà inoltre essere sviluppata la back analysis degli eventi di rilievo, individuando le cause degli allagamenti registrati.

5.7 CRITERI DI SELEZIONE E PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI

Il Responsabile della galleria provvederà a predisporre i piani di monitoraggio ed interventi che si rendessero necessari, tenuto conto degli esiti delle valutazioni di sicurezza di cui ai punti precedenti, con riferimento in via prioritaria agli specifici fattori che hanno determinato l'attribuzione della Classe di attenzione.

Saranno differenziati gli interventi di rapida attuazione da quelli che richiedano un adeguato sviluppo progettuale, prendendo in conto l'eventualità di adottare misure restrittive del traffico fin dall'immediato nel caso in cui se ne riconoscano le condizioni, dandone opportuna motivazione.

Il gestore, in accordo con il Responsabile della galleria, valuterà e motiverà l'opportunità di estendere interventi di manutenzione in via preventiva a tratte ed ambiti più estesi rispetto a quanto preso a base della Classe di attenzione. È infatti da tener presente che la programmazione di interventi in galleria, con gli inevitabili risentimenti che possono essere indotti in termini di funzionalità e sicurezza, può far ritenere, in veste opportunamente motivata, di eseguire interventi estesi a tutta la galleria e a gallerie contigue comprese lungo una stessa tratta dell'infrastruttura.

6. MONITORAGGI E INDAGINI

I programmi di indagine devono basarsi su un esauriente esame di quanto già disponibile e devono essere orientati alle problematiche di interesse per la specifica galleria, avvalendosi sia di indagini dirette che di tipo indiretto. Queste ultime presentano l'indubbio vantaggio di poter raccogliere informazioni diffuse e non puntuali lungo la galleria, in genere con tempi relativamente rapidi nelle operazioni in campo (indagini ad alto rendimento), fattore rilevante per il contenimento dei risentimenti sul traffico.

La misura di grandezze fisiche indirette da correlare alle caratteristiche dei materiali impiegati e delle formazioni naturali, nonché il rilievo dei reciproci rapporti, richiede in ogni caso il ricorso ad indagini dirette di taratura tenuto conto della affidabilità del risultato dei rilievi che è condizionato dalla fase di acquisizione in cambio con relativa taratura e calibrazione del sistema di acquisizione in relazione alle specifiche condizioni e ambienti in cui si opera, della fase di elaborazione e della rappresentatività dei modelli di riferimento adottati, della fase di interpretazione del complesso delle misure tenuto conto delle indagini dirette.

Anche i programmi di monitoraggio devono essere predisposti con specifico riferimento alle singole situazioni e graduati ed approfonditi in relazione alla natura e importanza delle problematiche di sicurezza rilevate. In genere è preferibile per una stessa grandezza di interesse ricorrere a più tecniche di misura, come pure prevedere una opportuna ridondanza delle postazioni di misura per tener conto degli inevitabili malfunzionamenti della strumentazione.

I sistemi di monitoraggio devono essere oggetto di uno specifico progetto con indicati per ciascuna grandezza rilevata i campi di variabilità attesi nei rilievi, per meglio orientare la scelta della tipologia di strumentazione da impiegare, in relazione a risoluzione, accuratezza e ripetibilità della misura. Si dovrà inoltre tener conto di grandezze che possono presentare andamenti variabili nel tempo, come nel caso dei livelli piezometrici, prevedendo eventuale registrazione in continuo delle misure per una più appropriata caratterizzazione.

In generale, considerati i potenziali risentimenti sull'esercizio e la sicurezza degli addetti nel corso dei rilievi si raccomanda di ricorrere a sistemi di acquisizione in locale con recapito in zone esterne alla galleria, o anche presso un Centro di controllo remoto ove già presente in relazione al sistema di regolazione dell'esercizio adottato dal gestore. Nelle circostanze in cui si valuti necessario per la sicurezza dell'esercizio saranno anche preventivamente definite delle soglie di attenzione e di allarme per le grandezze più significative.

La predisposizione dei programmi di indagine e monitoraggio sarà coordinata dal Responsabile della galleria, che si avvale degli esperti e degli ispettori, motivando le scelte operate in relazione alle specifiche problematiche riscontrate.

6.1 INDAGINI E MONITORAGGIO GEOTECNICI

Il ruolo delle indagini geotecniche nell'ambito del processo di attribuzione della classe di attenzione alla galleria è quello di costituire il quadro sperimentale di riferimento per le valutazioni necessarie a migliorare la conoscenza del modello geologico e geomeccanico in riferimento al manufatto e per verificare la sussistenza di problematiche strutturali e geotecniche della galleria derivanti da possibili interazioni con il terreno.

Per quanto rappresentato nella *Tabella 6.1*, le indagini devono essere scelte in funzione dei possibili distinti obiettivi generali:

- Fenomeni indotti da movimenti franosi e subsidenza
- Fenomeni indotti dalla perdita di tenuta idraulica
- Fenomeni indotti dal rigonfiamento del terreno.

6.1.1 FENOMENI INDOTTI DA MOVIMENTI FRANOSI E SUBSIDENZA

In questo ambito, gli obiettivi delle indagini sono diversi se ci si riferisce alla possibile interferenza fra galleria e frana o se si vuole indagare sul tema della subsidenza. Nel primo caso, infatti, le indagini devono analizzare i caratteri cinematici della frana per stabilire in primo luogo l'esistenza di una effettiva interferenza con la galleria. Nel secondo caso, tipicamente ristretto alle gallerie superficiali, si deve verificare la possibile formazione o evoluzione di un bacino di subsidenza conseguente a problematiche strutturali sopraggiunte nel corso dell'esercizio della galleria.

La verifica di interferenza frana-galleria implica la caratterizzazione di un movimento franoso da un punto di vista cinematico e successivamente lo studio del fenomeno per comprenderne cause e meccanica. L'obiettivo è quello di procedere in successione temporale al riconoscimento ed alla delimitazione della geometria della frana, alla individuazione dei possibili cinematismi e solo se necessario alla individuazione dei fattori che causano il fenomeno, tipicamente quelli idraulici e quelli determinati dal comportamento meccanico dei materiali coinvolti.

I rilievi superficiali necessari per definire la geometria e la estensione di una frana, si sviluppano a partire da un rilievo di carattere geomorfologico volto ad evidenziare la traccia delle nicchie di distacco, le fessure sul terreno, zone di subsidenza e di rigonfiamento, zone di accumulo. Nel corso del rilievo geomorfologico è inoltre necessario caratterizzare l'idrografia superficiale, in particolare la presenza di sorgenti e di ristagni idrici, e determinare le condizioni dei corsi d'acqua ed il loro equilibrio in relazione ai possibili effetti erosivi al piede dei versanti.

In relazione alla natura dei terreni che costituiscono il versante, in presenza di versanti in roccia o in terreni molto consistenti e fragili, sarà necessario completare i rilievi di superficie con un rilievo geo-strutturale con l'obiettivo di definire le strutture geologiche quali faglie, fratture e discontinuità che concorrono a determinare la geometria e la cinematica della frana.

Nei pendii caratterizzati da cinematica prevalente in direzione E-W, è possibile fare riferimento ai rilevamenti radar satellitari, elaborati con la tecnica dell'Interferometria Differenziale (SAR). Il metodo consente di stimare l'entità degli spostamenti superficiali del terreno avvenuti durante un periodo temporale sufficientemente esteso per gli scopi delle indagini, tipicamente disponibili per l'Italia a partire dal 2010, senza soluzione di continuità. Per l'applicazione del metodo è necessario che siano disponibili riflettori materializzati su elementi strutturali già presenti al suolo quali manufatti (edifici, monumenti, elementi presenti su infrastrutture viarie, impalcati di viadotti o ponti, linee ferroviarie, tralicci metallici) oppure elementi naturali quali gli affioramenti rocciosi. La disponibilità di tali elementi dovrà essere verificata nel corso del rilievo geomorfologico.

In assenza di dati satellitari, i movimenti in atto potranno essere rilevati con rilievi topografici di superficie o con tecnica fotogrammetrica, se risultassero disponibili strisciate fotografiche da volo aereo.

Il rilievo dei movimenti profondi è quanto mai necessario per stabilire l'estensione in profondità di un fenomeno franoso riconosciuto da precedenti rilievi superficiali. I movimenti profondi orizzontali sono determinati attraverso gli inclinometri, strumenti appositamente installati all'interno di un foro di sondaggio. Nello specifico, un tubo guida viene installato in verticale, all'interno di una perforazione e reso solidale al terreno mediante cementazione. Perché la misura degli spostamenti possa essere significativa è necessario che il tubo guida si estenda ben al di sotto della superficie di scorrimento della frana. E' inoltre opportuno che la posizione della verticale di indagine sia geolocalizzata e che la sommità del tubo guida sia rilevata topograficamente con la stessa cadenza delle letture inclinometriche. Queste ultime sono eseguite periodicamente attraverso un'apposita sonda che scende nel tubo guida rilevando la inclinazione locale del tubo alle quote di misura. Dai valori di inclinazione locale si ricavano componenti e direzione di spostamento nel piano orizzontale. Tipicamente il passo delle letture è di 0.5 – 1.0 m; le letture sono eseguite ad intervalli mensili e possono essere diradate nel tempo quando la cinematica del versante risulta ormai accertata. La lunghezza operativa delle verticali inclinometriche raramente raggiunge 100 metri; più comunemente gli inclinometri hanno lunghezze massime intorno a 50 metri.

I rilievi inclinometrici sono particolarmente utili per la caratterizzazione di un fenomeno franoso e per questo motivo, quando è possibile che il movimento franoso interagisca con una galleria, è opportuno installare uno o più inclinometri lungo sezioni caratteristiche del versante instabile. La distribuzione in pianta delle verticali inclinometriche deve essere scelta in modo da permettere il riconoscimento della forma della superficie di rottura. Se opportuno, è possibile strumentare una guida inclinometrica attraverso sonde inclinometriche fisse, posizionate in modo da cogliere i caratteri essenziali della cinematica del versante. Le sonde inclinometriche fisse sono monitorate con continuità, da remoto, e consentono, entro certi limiti, di anticipare possibili stati di crisi del versante. A tal fine, attraverso un periodo sufficiente di monitoraggio manuale, devono essere stabilite soglie di allarme in termini di variazione delle inclinazioni locali alle profondità delle sonde fisse.

In alcune tipologie di frana, la cinematica è controllata dalla piezometria del versante. Il monitoraggio piezometrico è dunque essenziale sia per analizzare il comportamento della frana sia per valutare le condizioni favorevoli alla riattivazione dei movimenti o alla accelerazione dei fenomeni. Il monitoraggio piezometrico si esegue attraverso i piezometri, strumenti che rilevano le altezze piezometriche o il valore della pressione interstiziale in un punto del versante.

In linea generale si possono utilizzare sia strumenti a lettura manuale sia automatizzata, questi ultimi con registrazione in continuo dei valori misurati. Gli strumenti a lettura manuale di gran lunga più affidabili sono i piezometri tipo Casagrande. Piezometri a tubo aperto invece sono da evitare perché forniscono un dato che assai raramente è interpretabile. Gli strumenti a lettura da remoto sono le celle di pressione, con sensore resistivo, induttivo, piezoelettrico, a corda vibrante. Nella scelta del tipo di strumento da installare si devono favorire le soluzioni che garantiscano la stabilità della misura nel tempo, la robustezza della installazione rispetto a possibili danneggiamenti causati dalle lavorazioni agricole, la resistenza alla corrosione.

Al variare del tipo di piezometro, l'interpretazione delle misure deve tenere conto dei tempi di risposta di ciascuna tipologia di strumento rispetto alla variazione delle condizioni idrauliche al contorno, tempi che dipendono anche dalla permeabilità dei terreni interessati. Per interpretare correttamente le misure piezometriche è dunque necessaria la caratterizzazione stratigrafica di dettaglio e conoscere la permeabilità delle diverse unità litologiche presenti.

Quest'ultima deve essere determinata tenendo conto sia della permeabilità del materiale in sé, sia di quella conseguente all'assetto macrostrutturale dell'acquifero.

Per ricostruire la piezometria del versante è necessario eseguire molte misure piezometriche, con strumenti collocati in più punti, a profondità e posizione in pianta diverse e per un intervallo di tempo abbastanza lungo. Tipicamente le misure piezometriche si svolgono per un tempo che copre un intero arco stagionale e i risultati devono essere messi in relazione agli andamenti pluviometrici dell'area, sia storici, sia relativi al periodo di monitoraggio.

La disponibilità di dati provenienti da una stazione di rilevamento climatica collocata nel medesimo contesto meteorologico di quello dell'area interessata dal fenomeno franoso è dunque da accertare. A questo fine è noto che il Servizio di Protezione Civile nazionale e i centri di servizio di protezione civile regionali hanno predisposto una rete di misura per il monitoraggio locale dei principali parametri meteorologici (precipitazioni, temperatura, umidità, vento ecc.), idrogeologici (livello idrometrico dei corsi d'acqua) e nivologici (spessore e temperatura stratificata del manto nevoso). Tali dati possono risultare tutti molto utili per l'inquadramento e la comprensione di un fenomeno franoso.

La caratterizzazione geometrica di un fenomeno franoso, la sua estensione in profondità, il modo di interagire con una galleria che lo attraversa possono essere indagati anche attraverso prospezioni di tipo geofisico, indagini che possono essere eseguite dalla superficie e che consentono di rilevare attraverso diverse possibili metodologie le disomogeneità stratigrafiche, la presenza di discontinuità, la variabilità di alcune proprietà meccaniche o fisiche dei terreni. La conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche attraverso l'impiego di indagini di tipo sismico permette inoltre di stimare la rigidità dei materiali attraversati dalle onde che si propagano. Numerose sono le metodologie disponibili, con limitazioni e campo di applicazione distinti. I metodi geofisici possono risultare molto utili per ricostruire l'assetto strutturale dei depositi e quindi per indagare sulle possibili interazioni frana-galleria quando il comportamento del sistema è influenzato dalla presenza di superfici di discontinuità e macrostrutture di origine geologica. In tutti i casi, i metodi geofisici difficilmente possono essere da soli sufficienti per ricostruire un modello geomeccanico utile all'analisi dell'interazione, ma lo diventano se utilizzati insieme a tutte le altre metodologie di indagine fin qui illustrate.

Nei casi in cui è opportuno analizzare un problema di interazione fra un versante in frana e una galleria, è sempre necessario completare le indagini con una caratterizzazione meccanica dei terreni o delle rocce adeguata alle necessità ed alla difficoltà del tema. La caratterizzazione geotecnica implica la realizzazione di prove geotecniche in sito ed in laboratorio, realizzando un programma di prove sperimentali coerente con gli obiettivi delle analisi che si devono svolgere. Non è certo possibile in questo contesto affrontare il tema vastissimo delle prove geotecniche ma è possibile qui richiamare solo alcuni principi che possono essere utilmente seguiti per stabilire un programma di prove.

Il programma delle prove geotecniche, in sito e di laboratorio, è la conseguenza di un'analisi preliminare del problema di interazione frana galleria, sulla base della documentazione tecnica esistente e sulle informazioni acquisite attraverso le analisi di Livello 0 e Livello 1.

Gli approfondimenti sperimentali attraverso nuove prove possono essere necessari o per l'assenza di informazioni di base sulle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni coinvolti o perché le analisi dell'interazione frana galleria implica l'uso di strumenti di modellazione geotecnica per i quali devono essere scelti valori rappresentativi di parametri che non sono deducibili dal quadro sperimentale già consolidato.

La definizione del programma di prove è pertanto un'attività da sviluppare in stretta connessione con il progettista geotecnico il quale caratterizzerà il programma in base alle necessità specifiche degli studi e delle analisi numeriche da svolgere.

6.1.2 FENOMENI INDOTTI DALLA PERDITA DI TENUTA IDRAULICA

In riferimento ai Fenomeni indotti dalla perdita di tenuta idraulica della galleria, le indagini geotecniche si dovranno rivolgere in primo luogo al rilievo delle condizioni idrauliche del sottosuolo che interferisce con l'opera.

A tal fine si dovrà ricostruire su base documentale l'assetto idrogeologico delle formazioni al contorno della galleria, la distribuzione delle permeabilità, la presenza di macrostrutture che possono avere influenza sulle condizioni idrauliche generali degli ammassi. Il quadro di riferimento iniziale dovrà essere completato con la raccolta dei dati pluviometrici e sulle falde idriche che possono interferire con la galleria.

Qualunque intervento di impermeabilizzazione deve essere progettato sulla base della conoscenza dei carichi idraulici al contorno della galleria. A tal fine è necessario avviare un monitoraggio di tipo piezometrico, con l'installazione di strumenti all'interno di perforazioni eseguite dalla superficie, quando possibile, ovvero in fori sub-orizzontali praticati dall'interno della galleria. E' preferibili utilizzare strumenti che consentano il monitoraggio in automatico per ottenere un quadro completo degli andamenti temporali delle pressioni idrauliche, da mettere in relazione con i dati pluviometrici.

Particolarmente importante per la corretta progettazione degli interventi di impermeabilizzazione è la conoscenza della permeabilità delle formazioni geologiche che interagiscono con la galleria, in particolare se trattasi di permeabilità per porosità ovvero di permeabilità per fratturazione.

Le prove di permeabilità, tipicamente eseguite in foro, non consentono di ottenere la permeabilità effettiva di un ammasso fratturato ma forniscono una permeabilità equivalente, determinata con l'ipotesi di omogeneità. L'analisi dei risultati sperimentali di tali prove implica pertanto la conoscenza dell'assetto macrostrutturale dell'ammasso interessato dalla prova, per valutare in senso statistico la rappresentatività del risultato sperimentale. A tal fine può essere utile eseguire più prove di permeabilità interessando tratti di foro di lunghezza diversa, per comprendere più o meno discontinuità.

La modifica delle condizioni idrauliche al contorno della galleria a seguito della perdita di tenuta idraulica e/o di interventi di impermeabilizzazione influenza lo stato tensionale e deformativo dell'ammasso. È dunque opportuno prendere in considerazione l'avvio di un monitoraggio degli spostamenti al contorno, topografico di superficie o con strumenti realizzati dall'interno della galleria, per controllare gli effetti degli interventi di impermeabilizzazione in termini di spostamenti indotti in punti di interesse.

6.1.3 FENOMENI INDOTTI DAL RIGONFIAMENTO DEL TERRENO.

La presenza di terreni rigonfianti può determinare deformazioni e problemi strutturali nel corso dell'esercizio della galleria. Condizioni favorevoli allo sviluppo di fenomeni di rigonfiamento in esercizio sono determinate dalla presenza al contorno di argille espansive, ricche di minerali argillosi attivi quali montmorillonite e illite, di argilliti, di anidrite, minerale evaporitico presente nelle rocce sedimentarie, che a contatto con acqua si trasforma in gesso. Le indagini sperimentali dovranno pertanto essere rivolte alla ricerca della presenza nel terreno di minerali rigonfianti.

Tabella 6.1 – Quadro sinottico delle indagini geotecniche

OBIETTIVO GENERALE	OBIETTIVO SPECIFICO	TIPI DI INDAGINE/PROVA	RIFERIMENTI (Raccomandati)
Fenomeni indotti da movimenti franosi e subsidenza	Rilievi superficiali	Rilevamento geologico diretto (rilievi geomorfologici e geo-strutturali)	Geotechnical Investigation and testing EN ISO 14688 EN ISO 14689
		Rilievi topografici di superficie	
		Interferometria radar satellitare	
	Rilievo dei movimenti profondi	Monitoraggio inclinometrico	Geotechnical monitoring by field instrumentation EN ISO 18674-3
	Rilievo delle condizioni idrauliche del sottosuolo	Monitoraggio piezometrico	EN ISO 18674-4
	Caratterizzazione meccanica dei terreni e delle rocce coinvolte	Prospezioni geofisiche	è in preparazione uno standard europeo
		Prove geotecniche in sito	Field Testing EN ISO 22476 ISRM suggested methods
		Prove geotecniche di laboratorio	Sampling EN ISO 22475 Laboratory testing of soil EN ISO 17892
	Fenomeni indotti dalla perdita di tenuta idraulica	Rilievo delle condizioni idrauliche del sottosuolo che interferisce con la galleria	Rilievo idrogeologico (raccolta dati pluviometrici, identificazione delle formazioni permeabili, condizioni al contorno per la presenza di corsi d'acqua etc.)
monitoraggio piezometrico al contorno della galleria e nella zona di influenza			EN ISO 18674-4
Misure di permeabilità			EN ISO 22282-2 EN ISO 22282-3
analisi chimico-fisica delle acque del sottosuolo per verificarne l'aggressività		analisi chimico fisica delle acque	vedere norme specifiche
Fenomeni indotti dal rigonfiamento del terreno	Ricerca della presenza nel terreno di minerali rigonfianti	Classificazione e analisi mineralogica dei terreni argillosi al contorno della galleria	EN ISO 14689

6.2 INDAGINI E MONITORAGGI STRUTTURALI DEL RIVESTIMENTO

Il degrado del rivestimento può avere numerose cause, che possono dipendere dalle condizioni ambientali o da difetti originativi anche in fase di realizzazione. I primi possono evolvere nel tempo, i secondi possono dare origine a difetti

localizzati in porzioni specifiche del rivestimento, e possono originare cadute improvvise di materiale sulla sede stradale con problemi alla sicurezza.

Le indagini sul rivestimento devono quindi riguardare sia la qualità dei materiali in opera al fine di evidenziare eventuali degradi in evoluzione, sia il rilievo di eventuali difetti di costruzione che possono essere rilevati con indagini anche a campione.

Le indagini sul rivestimento devono essere correlate a quelle alla scala globale per evidenziare se un difetto riscontrato sul rivestimento può essere una indicazione della presenza di problemi di più ampia portata derivanti dalla interazione con il terreno o la roccia in cui è ricavata la galleria.

6.2.1 RILIEVO DELLA QUALITÀ E DEGRADO DEI MATERIALI IN OPERA

Il rilievo della qualità e degrado dei materiali in opera può essere condotto sia mediante indagini da condurre in modo ricorrente anche in occasione delle regolari ispezioni sull'opera, sia mediante l'esecuzione di prove specifiche condotte sui materiali o per monitorare eventuali fenomeni di aggravamento nel tempo di fessurazioni o danni. Le due tipologie di indagini o prove sono elencate nelle tabelle seguenti.

Tabella 6.2 – Indagini strutturali speditive ricorrenti

OBIETTIVO GENERALE	OBIETTIVO SPECIFICO	TIPI DI INDAGINE/PROVA
Qualità e degrado dei materiali in opera	Irregolarità della superficie	Ispezione visiva
	Pulizia	Prova visiva di asciugamento
	Irregolarità della superficie	Ispezione visiva
	Delaminazione	Sondaggio con martello
	Larghezza delle fessure	Calibro meccanico o elettrico, ispezione visiva

Tabella 6.3 – Prove strutturali specifiche

QUALITÀ E DEGRADO DEI MATERIALI IN OPERA	TIPI DI PROVA
Tenore di umidità del supporto	Campionamento in opera e analisi di laboratorio Prova di resistività Sonde di umidità relativa
Resistenza a compressione	Carotaggio e prova di rottura, esame sclerometrico
Carbonatazione	Prova alla fenolftaleina
Tenore in cloruri	Campionamento in sito e analisi chimica
Penetrazione di altri contaminanti	Campionamento in sito e analisi chimica
Resistenza a trazione armatura	Prove di trazione
Corrosione dell'armatura esistente	Prove su semicella o ispezione visiva
Larghezza e profondità delle fessure	Calibro meccanico o elettrico, carotaggio, prova ad ultrasuoni
Movimento delle fessure	Fessurimetri meccanici o elettronici
Contaminazione delle fessure	Carotaggio e analisi chimica

6.2.2 RILIEVI ED INDAGINI SULL'OPERA

Nel caso in cui sia necessario rilevare l'effettiva consistenza del rivestimento così come l'effettiva rispondenza di quanto realizzato con il progetto, devono essere condotti dei rilievi a campione, in posizione predefinite e rappresentative dell'opera. I rilievi sono fondamentali nel caso in cui non sia disponibile un progetto affidabile della galleria. I risultati ottenuti a campione dovranno essere inquadrati in un contesto più ampio, relativo all'intera opera, al fine di verificare se eventuali difformità rilevate a campione possano avere una maggiore diffusione nell'opera.

Il controllo del livello di compressione nel rivestimento, conducibile mediante prove con martinetti piatti, dà risultati indicativi, stante la complessità dell'opera in genere, ma utili innanzitutto per rilevare se il rivestimento è attivo sotto la spinta del terreno o se trattasi di rivestimento sostanzialmente scarico.

Le tipologie di indagini o prove che possono essere condotte sono elencate nelle tabelle seguenti.

Tabella 6.4 – Rilievi e indagini sull'opera

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

6.3 INDAGINI E MONITORAGGI SOVRASTRUTTURA STRADALE

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.

Tabella 6.5 – Graduazione dei controlli del piano viabile

Indagine piano viabile	Classe di Attenzione Stradale e intervallo di indagine			
	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 eventi)	in occasione di un evento incidentale di rilievo			

7. ADEMPIMENTI

7.1 RESPONSABILE DELLA GALLERIA

Il gestore designa per ogni galleria che rientra nell'ambito di applicazione delle presenti linee guida un responsabile di galleria di adeguato profilo tecnico e specifica competenza nella gestione e manutenzione delle infrastrutture, che avrà il compito di sovrintendere e coordinare le attività nei vari livelli secondo cui si articolano le linee guida.

Il responsabile di galleria potrà essere designato anche per più gallerie, in tal caso si dovrà avvalere di una struttura operativa adeguatamente dimensionata per organico e competenza.

Sarà cura del responsabile programmare le attività previste dalle linee guida, curando il coordinamento fra fase di ispezione e giudizio esperto cui potranno concorrere gli specialisti afferenti le varie discipline di interesse per le specifiche gallerie.

Il responsabile di galleria provvederà, in coordinamento con i competenti responsabili di esercizio, alla attuazione del programma di ispezioni, di rilievi e misure secondo quanto indicato nel Documento integrativo del piano di manutenzione. Fornirà inoltre gli elementi necessari al gestore per la predisposizione della relazione annuale sullo stato di conservazione delle gallerie di competenza in relazione all'ambito di applicazione delle linee guida.

7.2 DOCUMENTO INTEGRATIVO DEL PIANO DI MANUTENZIONE

In relazione a quanto definito in termini della Classe di attenzione il gestore provvederà a predisporre uno specifico documento, ad integrazione del Piano di manutenzione dell'opera in cui saranno riportati:

- frequenza delle ispezioni e modalità di conduzione delle stesse secondo quanto riportato al successivo 7.3;
- programma dei controlli sulla base delle effettive condizioni della galleria prese a riferimento per l'attribuzione della classe di attenzione;
- programma dei rilievi e delle misure corredati da elaborati grafici, con indicazione di tipologia ed ubicazione degli strumenti e basi di misura, frequenza delle misure manuali o in acquisizione automatica;
- eventuali soglie di attenzione per i rilievi e le misure per le gallerie in Classe di attenzione Alta, la cui necessità ed entità sarà valutata sulla base delle specifiche condizioni della galleria.

7.3 ISPEZIONI

Le attività ispettive per le gallerie di cui alle presenti LLGG sono eseguite dai gestori, da Organismi di Ispezione (OdI) accreditati secondo il Regolamento di cui al precedente 1.7 che sarà emanato su parere del Consiglio superiore dei ll.pp. e dai soggetti istituzionali con competenza di vigilanza sui gestori. A queste possono aggiungersi le ispezioni periodiche indipendenti, svolte da Organismi di Certificazione (OdC) riconosciuti ai sensi dell'articolo 12, comma 4, lettera b), del D.L. 109/2018.

Sono previste diverse tipologie di ispezione in relazione alla loro finalità nell'ambito della procedura prevista dalle linee guida e per i soggetti che conducono l'ispezione, come riportato nello schema seguente.

Tabella 7.1 – Tipologie di ispezioni

<i>Tipo di ispezione</i>	<i>Soggetto incaricato</i>
<i>Ispezioni iniziali</i> previste nel livello 1 per la verifica delle Schede di censimento e i livelli di conoscenza di cui al Livello 0	<i>Gestore</i>
<i>Ispezioni approfondite</i> secondo frequenze temporali commisurati alla Classe di Attenzione della singola galleria	<i>Gestore o OdI da esso incaricato</i>
<i>Ispezioni periodiche correnti</i> secondo frequenze temporali commisurati alla Classe di Attenzione della singola galleria	<i>Gestore o OdI da esso incaricato</i>
<i>Ispezioni periodiche indipendenti</i> per la valutazione periodiche dello stato della galleria e delle procedure seguite dal gestore	<i>OdC riconosciuto</i>
<i>Ispezioni straordinarie (a seguito di eventi)</i> a seguito di eventi rilevanti quali: urti, incendi, distacchi dal rivestimento rilevanti ai fini della sicurezza della circolazione, si darà corso ad ispezioni ordinarie ed eventualmente approfondite in funzione delle conseguenze dell'evento	<i>Gestore o OdI da esso incaricato</i>
<i>Ispezioni di vigilanza</i> Eseguite in veste indipendente o in affiancamento alle precedenti, per la valutazione delle procedure seguite dal gestore e/o (a campione) dello stato della galleria	<i>Soggetti istituzionali con compiti di vigilanza sui gestori</i>

La frequenza delle ispezioni è graduata come di seguito, anche in funzione della Classe di Attenzione attribuita a ciascuna galleria.

Tabella 7.2 – Frequenza delle ispezioni

<i>Ispezione</i>	<i>Classe di Attenzione e intervallo ispezione</i>			
	<i>BASSA</i>	<i>MEDIO BASSA</i>	<i>MEDIO ALTA</i>	<i>ALTA</i>
<i>Iniziale</i>	all'avvio della procedura di cui al Livello 1			
<i>Approfondita</i>	max 6 anni	max 4 anni	max 2 anni	max 1 anno
<i>Periodica ordinaria</i>	max 6 mesi	max 6 mesi	max 3 mesi	max 2 mesi
<i>Periodica indipendente</i>	max 4 anni	max 3 anni	max 2 anni	max 1 anno
<i>Straordinaria (a seguito di eventi)</i>	in occasione di evento di rilievo			
<i>Vigilanza</i>	D'iniziativa del Soggetto che svolge funzioni di vigilanza			

Nel corso delle ispezioni i tecnici incaricati possono avvalersi di misure speditive con strumenti portatili di uso corrente quali: sclerometri, distanziometri, fessurimetri, misuratori di portata, ecc.

Per ogni ispezione sarà redatto apposito verbale, con l'elenco dei partecipanti che potranno riportare proprie valutazioni.

In occasione delle ispezioni periodiche indipendenti, oltre a quanto previsto da parte dell'OdC, sarà verificata la conformità delle attività ispettive correnti e approfondite eseguite dal gestore, verificandone la coerenza con quanto accertato nel corso della ispezione indipendente, più in generale sarà valutata l'idoneità del sistema di gestione della galleria in accordo al previsto Regolamento di qualifica del sistema di gestione.

Le ispezioni periodiche, graduate secondo le frequenze in ragione della Classe di attenzione attribuita a ciascuna galleria come sopra riportato, saranno estese alle tratte di galleria significative secondo le indicazioni, indice di diffusione e specialità dei fattori di rischio, riportate nella definizione della Classe di attenzione della singola galleria. In tale circostanza saranno definite le frequenze minime di ispezione per ciascuna tratta di galleria, diverse da quella con frequenza maggiore delle ispezioni, in ragione di natura ed estensione delle problematiche presenti.

L'ambito delle ispezioni comprende anche tutti i locali interconnessi con la galleria, con funzione di locali tecnologici o di collegamento verso l'esterno o fra fornici contigui, nonché specifiche zone esterne secondo le indicazioni riportate nella attribuzione della classe di attenzione.

In presenza di schermi di protezione applicati al rivestimento, o di qualunque altro ostacolo che non consenta la sua ispezione visiva, nel corso della ispezione iniziale e delle prime ispezioni approfondite si dovrà necessariamente, se non già individuate le zone critiche da precedenti indagini già disponibili, procedere alla rimozione temporanea di tutti i pannelli applicati al rivestimento o comunque si adatteranno procedure che consentano di avere una dettagliata cognizione di tutte le porzioni di rivestimento. Per le ispezioni periodiche ed approfondite successive si potrà procedere a rimozioni dei pannelli localizzate, a campione o concentrate in alcune specifiche zone, secondo le indicazioni che saranno in proposito evidenziate in sede di attribuzione della Classe di attenzione di cui la Livello 2 e comunque a giudizio del responsabile di ispezione.

Le ispezioni saranno condotte avendo cura di procedere ad una preventiva pulizia delle superfici all'intradosso del rivestimento di galleria.

I gestori, quando è previsto l'intervento di soggetti esterni alla loro organizzazione, renderanno disponibili mezzi e personale di supporto, procedendo alla predisposizione delle necessarie misure di sicurezza nell'ambiente e nei luoghi dell'ispezione ed alla regolazione del transito e dell'esercizio della tratta lungo cui ricade la galleria.

Il programma delle ispezioni sarà definito tenendo conto di esigenze manutentive e ispettive da altri ambiti normativi e che richiedano la chiusura al transito della galleria, in modo da minimizzare per quanto possibile i risentimenti sulla circolazione lungo le tratte interessate dalla presenza di gallerie.

7.4 ISPETTORI

Le ispezioni iniziali, periodiche correnti e approfondite, le ispezioni straordinarie e a seguito di eventi particolari quali urti, incendi e distacchi di varia natura rilevanti per la sicurezza, saranno condotte da personale tecnico che può appartenere alla organizzazione del gestore con il coordinamento e la supervisione del Responsabile della galleria, qualificati ed accreditati secondo il Sistema di qualifica degli ispettori per gli aspetti di rilevanza strutturale nelle gallerie stradali di cui al precedente 1.7. In mancanza di adeguate professionalità all'interno dell'organizzazione del gestore si potrà ricorrere a Organismi di Ispezione (OdI) accreditati UNI CEI EN ISO/IEC 17020:2012 e dai soggetti istituzionali con competenza di vigilanza sui gestori.

Le ispezioni approfondite saranno svolte dal personale incaricato delle ispezioni periodiche, con il ricorso al supporto di indagini dirette ed indirette eseguite da Laboratori accreditati a sensi delle circolari ministeriali vigenti. Le valutazioni saranno svolte congiuntamente con affiancato da esperti nelle discipline specialistiche di interesse per i singoli specifici casi con il coordinamento del Responsabile della galleria.

Le ispezioni periodiche indipendenti saranno condotte da Organismi di Certificazione accreditati secondo il Sistema di qualifica degli ispettori definito dal Regolamento di cui al precedente 1.7.

Il Sistema di qualifica delle competenze degli ispettori sarà definito con apposito Regolamento emanato previo parere del Consiglio superiore dei lavori pubblici, adottato di intesa con l'ANSFISA, sentiti i soggetti istituzionali che hanno compiti di vigilanza sui gestori, il Consiglio Nazionale degli Ingegneri ed i rappresentanti dei gestori.

Nelle more della istituzione ed entrata a regime del Sistema di qualifica degli ispettori, le ispezioni iniziali nelle gallerie e la redazione delle schede di censimento, propedeutici per la definizione delle Classi di Attenzione, saranno condotte da tecnici appartenenti alla organizzazione del gestore con il coordinamento e supervisione del Responsabile della galleria in possesso di laurea in ingegneria e di esperienza decennale nel settore delle gallerie (progettazione/direzione lavori/amministrazione tecnica) e iscritto da oltre dieci anni all'Albo degli ingegneri. Il Responsabile della galleria

sottoscrive le schede e le ispezioni iniziali e la documentazione che concorre alla attribuzione della Classe di attenzione e le revisioni successive.

Nello stesso periodo transitorio, le ispezioni correnti e straordinarie a seguito di eventi saranno condotte con le stesse modalità delle ispezioni iniziali. Le ispezioni periodiche indipendenti saranno condotte da Organismi di Certificazione accreditati secondo il sistema di qualifica UNI CEI EN ISO/IEC 17020:2012.

I soggetti istituzionali che hanno competenze di vigilanza sui gestori possono in qualunque momento procedere a ispezioni in proprio o in affiancamento a quelle sopra richiamate e potranno chiedere modifiche nella designazione degli ispettori individuati dal gestore.

7.5 RAPPORTI PERIODICI

I gestori provvedono a predisporre a cadenza annuale, entro il 31 marzo dell'anno successivo, la Relazione sullo stato di sicurezza e di conservazione delle gallerie di competenza. I contenuti minimi della Relazione comprenderanno:

- elenco delle gallerie corredato dalle principali indicazioni sulla localizzazione e sulle caratteristiche geometriche, con associata Classe di attenzione al 31 dicembre di ciascun anno e gli indicatori per ciascuna tipologia di rischio specialistico che la determina;
- consuntivo delle attività ispettive, di indagine, di manutenzione eseguite nel corso dell'anno;
- evidenza delle modifiche di classificazione intervenute nel corso dell'anno, con gli eventi e le motivazioni che hanno condotto alla modifica di classe, distinguendo i casi di abbassamento della classe di attenzione per effetto degli approfondimenti e degli eventuali provvedimenti manutentivi adottati, dai casi di innalzamento della classe quale aggravamento di eventi causa \effetto già noti o per l'insorgere o riconoscimento di nuovi eventi;
- approfondimenti di indagine e interventi in corso o programmati;
- elementi relativi a risorse economiche e di personale impiegate e programmate;
- gli eventi di rilievo occorsi nell'anno, le conseguenti ispezioni straordinarie ed eventuali provvedimenti adottati;
- note informative del gestore su particolari esperienze (caratterizzazione eventi, degrado dei materiali, interazione rivestimento e formazioni naturali, tecniche di indagine e di monitoraggio, metodi di valutazione della sicurezza) afferenti la sicurezza nelle gallerie, utili quali ritorni di esperienza per il settore e da assumere quale riferimento per l'aggiornamento delle Linee guida.

Le relazioni annuali saranno trasmesse ai soggetti che svolgono attività di vigilanza ed all'Osservatorio per la sicurezza strutturale delle gallerie.

7.6 OSSERVATORIO PER LA SICUREZZA STRUTTURALE DELLE GALLERIE

È istituito l'Osservatorio per la sicurezza strutturale delle gallerie in relazione al carattere di complessità che riveste per gli obiettivi di sicurezza degli utenti e degli addetti, nel contesto della conservazione del patrimonio infrastrutturale esistente e da lungo tempo in esercizio.

La composizione dell'Osservatorio è definita con Decreto del Presidente del Consiglio superiore dei ll.pp., ai sensi del comma 4 art.2 del D.P.R. n.204 del 27 aprile 2006, Regolamento di riordino del Consiglio superiore dei ll.pp., e comprenderà componenti, esperti e tecnici del Consiglio superiore dei ll.pp., esperti delle amministrazioni interessate, rappresentanti dei soggetti istituzionali che svolgono funzioni di vigilanza sui gestori, esperti di ambito universitario e professionale, rappresentanti degli ordini professionali, rappresentanti dei gestori.

L'Osservatorio esamina le relazioni annuali trasmesse dai gestori e ogni altro documento trasmesso dai gestori o da soggetti istituzionali interessati, con riferimento all'applicazione delle Linee Guida ed ai ritorni di esperienza conseguenti, formula valutazioni per l'aggiornamento delle Linee Guida, fermi restando ruoli e compiti dei soggetti che, ai sensi della normativa vigente, operano a vario titolo ai fini della sicurezza.

L'Osservatorio formula proposte e promuove linee di approfondimento delle conoscenze in merito a tecniche di indagine, di monitoraggio, di verifiche di sicurezza e di intervento in ambito di sicurezza strutturale delle gallerie e di conservazione del patrimonio infrastrutturale esistente, anche mediante scambi di esperienze con organismi in ambito internazionale.



Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

ALLEGATI

ALLEGATI

ALLEGATO A		SCHEMA DI CENSIMENTO/QUADRO CONOSCITIVO
ALLEGATO B		CATALOGO DEI DIFETTI
ALLEGATO C	C 1	SCHEMA DESCRITTIVA DELLE ISPEZIONI
	C 2	SCHEMA DIFETTOSITÀ
ALLEGATO D		SPECIFICA ISPEZIONI