

GALLERIE AUTOSTRADALI **RIVESTIMENTI**

Ispezioni
Servizi di ingegneria per indagini e
progettazione

NUOVO CATALOGO DIFETTI

Relazione tecnico-illustrativa

Sommario

1	PREMESSA	3
2	ELENCO DIFETTI	4
3	DIFETTI CAUSATI DALL'INTERAZIONE CON L'ACQUA	6
4	DETERIORAMENTI DOVUTI AL TERRENO CIRCOSTANTE	20
5	DETERIORAMENTI NELLE SEZIONI NON RIVESTITE	30
6	DETERIORAMENTO DEI MATERIALI DI RIVESTIMENTO – RIVESTIMENTI IN MURATURA O PIETRA	37
7	DETERIORAMENTO DEI MATERIALI DI RIVESTIMENTO – RIVESTIMENTI IN CALCESTRUZZO (GETTATO IN OPERA O PREFABBRICATO)	50
8	DETERIORAMENTO DEI SISTEMI DI IMPERMEABILIZZAZIONE, DRENAGGIO E RACCOLTA ACQUE SUPERFICIALI	63
9	DIFETTI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E DELLA GEOMETRIA DELLA GALLERIA - FESSURE	85
10	DIFETTI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E DELLA GEOMETRIA DELLA GALLERIA - DEFORMAZIONI.....	99
11	DIFETTI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E DELLA GEOMETRIA DELLA GALLERIA – DIFETTI LEGATI ALLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA.....	115
12	DIFETTI DI ELEMENTI SECONDARI.....	130
13	DETERIORAMENTI ASSOCIATI AL FUOCO.....	136
14	DETERIORAMENTI CAUSATI DA DIFETTI DI MANUTENZIONE.....	141

1 PREMESSA

Il presente **Nuovo Catalogo dei Difetti (NCD)** rappresenta il documento integrativo del **Nuovo Manuale delle Ispezioni (NMI)**.

Il seguente documento include, sotto forma di catalogo, i deterioramenti/difetti che possono essere osservati nelle strutture e costituisce la guida pratica dell'ispettore. Il documento è redatto in aderenza alle Linee Guida CETU (Centre D'Etudes des Tunnels) 2015 riguardanti le opere di genio civile, ed in particolare al:

- Road tunnel civil engineering inspection guide – *Book 2: Catalogue of deteriorations* (January 2015)

Il documento ha la finalità di analizzare e classificare ogni tipologia di difetto che l'ispettore potrà rilevare sul campo per il tramite dell'attività ispettiva visiva (VT) e l'ausilio di eventuali attrezzature.

Il catalogo si pone come punto fermo dell'ispettore al fine di supportarlo nell'identificazione, catalogazione e valutazione dei difetti ispezionati.

Inoltre, ha come scopo l'omogeneizzazione del metro di giudizio degli ispettori cercando di diffondere tra gli stessi anche un identico linguaggio.

Sono stati catalogati 47 difetti, divisi in 12 categorie, di cui è stata predisposta una scheda di identificazione in cui sono riportate tutte le informazioni necessarie per svolgere al meglio la valutazione. Come supporto aggiuntivo sono presenti fotografie esplicative del difetto.

La scheda di identificazione, associata a ciascun difetto, contiene le seguenti informazioni:

Nome del difetto	foglio
Descrizione (evidenze della presenza del difetto)	
Come il deterioramento si manifesta all'osservatore	
Metodo d'ispezione	
Metodo per rilevare il deterioramento, specialmente se non è visibile.	
Parametri da caratterizzare	
Materiale o elementi misurabili ad esso collegati.	
Difetti associati di cui valutare la presenza	
Elementi utili per la diagnosi.	
Origini e possibili cause	
Interpretazioni fatte, basate sulla conoscenza della struttura.	
Fattori aggravanti	
Elementi in grado di aggravare o accelerare l'evoluzione del difetto.	
Conseguenze, possibile evoluzione	
Descrizione delle conseguenze in assenza di lavori di manutenzione o riparazione del difetto.	
Pericoli per gli utenti	
Immediata possibilità di pericolo per gli utenti (ove applicabile, il colore rosso della banda indica la possibile esistenza di un pericolo dovuto alla presenza del difetto).	
Pericoli per il tunnel e i suoi elementi strutturali	
Possibile variazione a breve o medio termine della stabilità della struttura o degli elementi strutturali (il colore delle bande corrisponde al voto massimo IQOA che può essere assegnato al difetto).	
Monitoraggio	
Misure da adottare e osservazioni a breve o medio termine.	
Misure correttive	
Considerazioni su possibili rimedi per prevenire, eliminare o rallentare l'evoluzione del difetto.	
Osservazioni	
Elementi legati ad altri difetti o che presentano alcuni dei punti precedenti.	
Informazioni aggiuntive	
Descrizioni, fotografie e diagrammi che spiegano e illustrano il difetto.	

2 ELENCO DIFETTI

Nel seguito vengono riportati tutti i difetti presenti nel manuale indicando il codice identificativo e il voto massimo associabile:

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

Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria

Fessure

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

Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria

Deformazioni

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

Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria

Difetti legati alla realizzazione dell'opera

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

Altri deterioramenti

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

Deterioramenti associati al fuoco

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

Deterioramenti causati da scarsa manutenzione

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

3 DIFETTI CAUSATI DALL'INTERAZIONE CON L'ACQUA

Elenco dei difetti	Codice
Difetti legati all'acqua	
Infiltrazioni d'acqua	HY-1
Concrezioni	HY-2
Effetti del gelo	HY-3
Efflorescenze su malta o calcestruzzo	HY-4

INFILTRAZIONI D'ACQUA

HY-1

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Infiltrazioni d'acqua provenienti dal terreno circostante (in particolare da faglie, fratture, pieghe, intere superfici). Nel caso di gallerie rivestite, si manifesta tramite un'evidenza nel rivestimento (fessura, foro) o in corrispondenza di un altro elemento (giunto, foro di drenaggio).

Metodo d'ispezione

Ispezione visuale

Parametri da caratterizzare

Posizione dell'infiltrazione (valutare se esista una correlazione con la geologia del terreno) – Ingresso d'acqua in pressione o a flusso libero – Portata – Temperatura e possibile conduttività – Analisi chimica (per determinare l'origine: falda freatica o altra origine).

Difetti associati di cui valutare la presenza

Gallerie non rivestite: presenza di discontinuità geologiche (faglie, pieghe, dislocazioni, scorrimenti)

Gallerie rivestite: ostruzione dei drenaggi – Perdite nel sistema di impermeabilizzazione – Deterioramento del rivestimento – Deterioramento dell'impermeabilizzazione.

Origini e possibili cause

Gallerie rivestite e non rivestite: fluttuazioni o variazioni della velocità del flusso della falda freatica circostante, perdite derivanti da altra rete.

Gallerie rivestite: perdita o assenza di impermeabilità del rivestimento – Deterioramento degli scarichi/drenaggi

Fattori aggravanti

Gallerie rivestite o non rivestite: aree soggette all'azione del gelo – Natura solubile o facilmente alterabile del terreno circostante – Valori significativi di pressione o portata

Gallerie rivestite: giunti permeabili, presenza di fessurazione.

Conseguenze, possibile evoluzione

Gallerie non rivestite: Dissoluzione, lisciviazione o erosione del terreno con possibili crolli

Gallerie rivestite: deterioramento del rivestimento (lisciviazione, erosione) e indebolimento delle strutture. Distacco e caduta di porzioni di rivestimento.

Pericoli per gli utenti

Caduta di stalattiti e materiali deteriorate – Disturbo e pericolo per il traffico in passaggio (allagamenti della carreggiata, formazione di ghiaccio, etc.)

Pericoli per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Indebolimenti localizzati di elementi strutturali o di porzioni di suolo. Possibili danni permanenti al tunnel.

Monitoraggio

Ispezione visuale

Misure correttive

Raccolta e canalizzazione degli afflussi d'acqua (nastri di tenuta, grondaie, drenaggio)

Impermeabilizzazione totale

Riparazione o miglioramento del sistema di impermeabilizzazione

Riparazione mediante trattamento del rivestimento o del terreno (iniziare)

Osservazioni

Vedere anche scheda HY-3 (deterioramenti associate all'azione del gelo)

Informazioni aggiuntive

Le infiltrazioni d'acqua hanno varie origini (dispersioni da falde, perdite di rete diffuse o localizzate, etc.).

Sono particolarmente dannose nelle aree soggette al gelo: richiede interventi rapidi e frequenti. Nelle gallerie stradali, l'infiltrazione di acqua ha un impatto notevole sugli impianti in funzione (carreggiata, illuminazione) e può provocare l'interruzione del traffico. L'introduzione di sistemi di raccolta e drenaggio per l'ingresso di acqua può essere considerata prima di qualsiasi intervento di riparazione. Un sistema "a ombrello" (canaline) può essere previsto per incanalare gli afflussi d'acqua verso la base delle pareti laterali. Nelle gallerie in muratura di pietra, questo effetto "a ombrello" può essere ottenuto coprendo la rete di drenaggio con un rivestimento di malta.

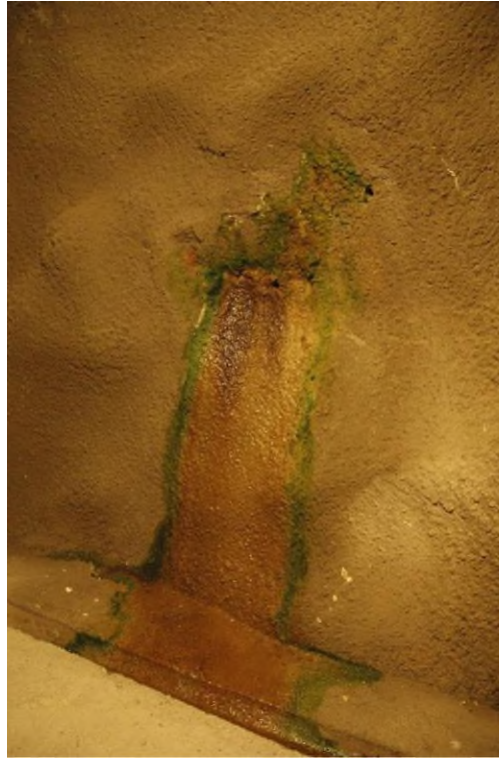


Figura 1: infiltrazione d'acqua su rivestimento in shotcrete



Figura 2: deterioramento di un rivestimento causato da ingresso d'acqua (a causa della scarsa manutenzione e degli effetti del gelo)

Concrezioni

HY-2

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Concrezione calcarea: cristallizzazioni solide, talvolta spesse di calcite, in colori diversi (impurità), che si attaccano al rivestimento e provengono da crepe, aree porose o articolazioni umide

Concrezione di solfato: cristallizzazioni di gesso su articolazioni o crepe. Appaiono come dure, fragili, spesso annerite (fuliggine) e talvolta lucide

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Parametri da caratterizzare

Posizione (dove cominciano a comparire le concrezioni) ed estensione (poche o diffuse concrezioni) – Superficie laterale – Spessore medio – Stabilità (per le concrezioni più spesse) - Campionamento per l'analisi in caso di dubbi sulla natura della composizione

Difetti associati di cui valutare la presenza

Ingresso acqua
Altri deterioramenti del sostegno
Ostruzione dei sistemi di drenaggio
Vuoti formatisi in seguito a dissoluzione
Indebolimento della struttura a causa della dissoluzione del legante

Origini e possibili cause

Concrezione calcarea: precipitazione di carbonato di calcio sciolto in acqua proveniente dal calcare nel terreno circostante o dalla dissoluzione del legante nel calcestruzzo o malta

Concrezione di solfati: solfati trasportati dall'acqua dal suolo o provenienti da gas di combustione (in particolare nelle vecchie gallerie ferroviarie)

Fattori aggravanti

Dissoluzione del legante

Conseguenze, possibile evoluzione

Concrezione calcarea: incremento della diffusione, aumento dello spessore dei depositi che possono portare alla caduta di frammenti

Concrezione di solfati: incremento aggressività dell'attacco chimico dei solfati

Pericoli per gli utenti

Caduta di pezzi di concrezioni (molto raro)

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Minimi se nessun attacco di solfato è dimostrato

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Rimozione preventiva se si verifica il distacco di frammenti di concrezione
Trattamento per risolvere l'ingresso dell'acqua

Osservazioni

Cfr. anche fogli HY-4 (efflorescenza su malta o calcestruzzo), RB-2 (rigonfiamenti del calcestruzzo), ED-1 (deterioramento del drenaggio d'intradosso), ED-2 (deterioramento delle canalette di raccolta in calotta) ed ED-3 (deterioramento delle canalette di raccolta in carreggiata)

Ulteriori informazioni

Concrezioni calcaree:
sono il risultato di precipitazioni di calcio carbonato (o calcite) sull'estradosso causate da acqua che passa attraverso il terreno (e attraverso un rivestimento), ad una pressione che si avvicina a quella atmosferica. Anche la carbonatazione superficiale del calcestruzzo favorisce un deposito di calcite, ma questo deriva dalla dissoluzione del legante (vedi foglio RB-2).

Lo spessore e l'estensione delle concrezioni saranno maggiori dove l'acqua ha già un alto contenuto naturale di bicarbonato (tunnel in zone calcaree). Un accumulo troppo localizzato (proveniente da un giunto o da una crepa) può causarne il distacco e la caduta. Termini tecnici di speleologia sono usati per descrivere le forme di queste concrezioni in modo più accurato:

1. stalattiti: su basi localizzate;
2. tende a goccia o tende: su prese lineari (crepe, giunti);
3. rivestimento o velo: l'intero rivestimento diventa invisibile sotto uno strato di concrezioni.

La concretizzazione causata dall'acqua che filtra dal terreno ha generalmente un colore da beige a giallastro che indica impurità fissate dalla calcite. Al contrario, la calcite proveniente direttamente dalla dissoluzione della calce nel calcestruzzo è molto bianca; evidenzia fessure fini o forma stalattiti o pietre livose sulla faccia. Questi due tipi di calcite si trovano anche nei sistemi di drenaggio.

Concrezioni di solfato:

Molto meno diffuse delle concrezioni calcaree, o addirittura assenti nelle gallerie stradali, queste cristallizzazioni dure, fragili, di dimensioni millimetriche costituite da gesso, indicano la presenza di solfati all'interno del rivestimento o provenienti dal terreno. Sono più comuni nelle vecchie gallerie ferroviarie dove le locomotive a carbone hanno generato uno stock di zolfo che ha impregnato la muratura. In caso di dubbi sulla natura della concrezione, si raccomanda l'analisi chimica di queste croste al fine di identificare eventuali attacchi chimici.



Figura 1: concrezioni calcaree che incrostano l'apertura di un carso attivo in un tunnel abbandonato

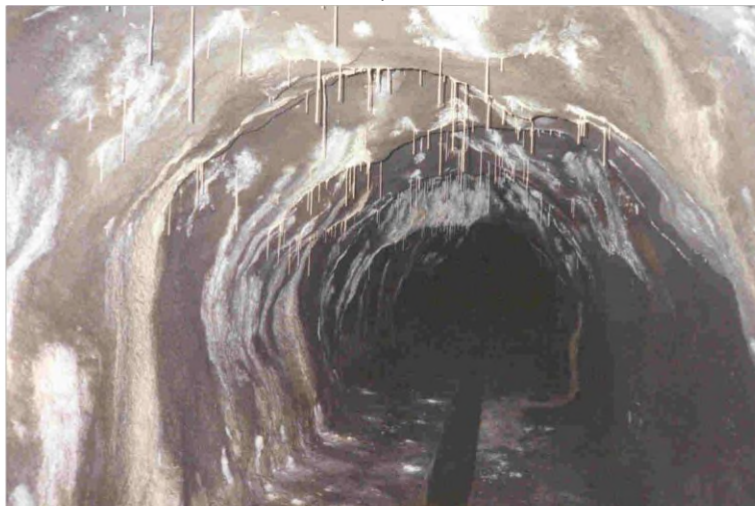


Figura 2: stalattiti di calcite bianca sul calcestruzzo spruzzato (dissoluzione della calce nel cemento a causa dell'acqua che percola dal suolo)



Figura 3: concrezioni di calcite leggera (a sinistra); deposito di gel rosso, ricco di ossido di ferro (a destra)



Figura 4: fessura con concrezioni di depositi bianchi di calcite e bruno-rossastri

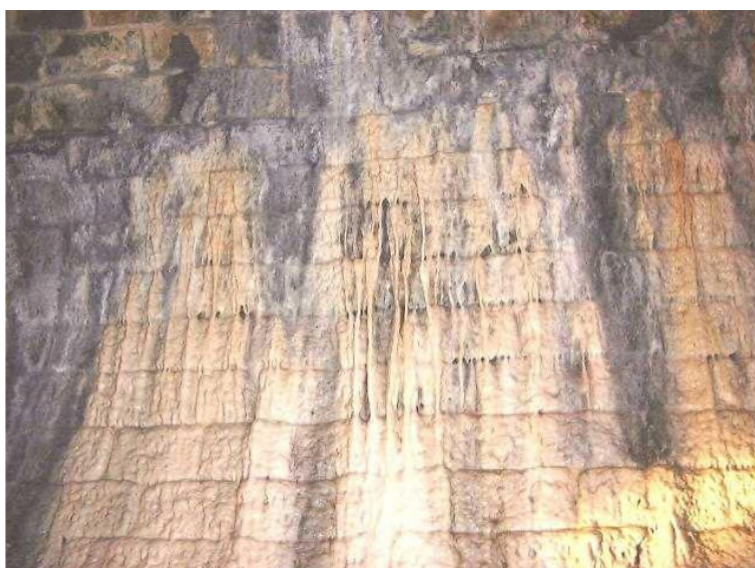


Figura 5: concrezioni di calcite su una muratura in pietra



Figura 6: muratura in pietra incrostata con concrezioni calcaree

EFFETTI DEL GELO

HY-3

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Gli effetti dell'azione del gelo si manifestano in varie forme:

1. formazione di stalattiti, blocchi o lastre di ghiaccio,
2. sgretolamento superficiale del materiale o formazione di cavità (calcestruzzo),
3. danneggiamento di canali di scolo non isolati,
4. espulsione di giunti rimovibili,
5. rigonfiamento della carreggiata.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Parametri da caratterizzare

Superficie in cui il materiale si sta distaccando – Profondità media – Coerenza del materiale interessato (calcestruzzo)

Rotture di scarichi

Difetti associati di cui valutare la presenza

Deterioramento della muratura legata alle caratteristiche del materiale (presenza di pietra sensibile al gelo) – Rischi di instabilità localizzata – Assottigliamento del rivestimento – Blocco dei sistemi di drenaggio – Perdite nel sistema di impermeabilizzazione

Origini e possibili cause

Acqua circolante in un materiale poroso – Congelamento prolungato – Numerosi cicli di gelo-disgelo

Uso di materiali inadatti (cemento, malta o pietra sensibili al gelo)

Fattori aggravanti

Orientamento e altitudine del tunnel – Giunti permeabili – Fessurazione

Conseguenze, possibile evoluzione

Indebolimento strutturale

Guasto dei drenaggi

Distacco di elementi di rivestimento

Pericoli per gli utenti

Caduta di stalattiti o materiali deteriorati e ghiaccio sulla carreggiata e sulle passerelle, ostacoli nella accessibilità alle strutture di sicurezza

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Indebolimento localizzato (deterioramento della muratura a causa di distacchi superficiali (spalling))

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Rimozione giornaliera delle formazioni di ghiaccio

Drenaggio con isolamento termico

Impermeabilizzazione

Riparazione dei sistemi di impermeabilizzazione

Ripristino dei giunti

Miglioramento del drenaggio nell'arco

Osservazioni

Ulteriori informazioni

Il congelamento è un processo fisico che indebolisce il materiale (pietra, cemento, mattoni, blocco). La sua dannosità è determinata dalla porosità e dal contenuto di acqua del materiale, dalla frequenza e dall'intensità dei cicli di gelo-disgelo. L'azione del gelo si manifesta spesso sulla superficie dell'elemento attraverso lo sgretolamento, lo sfaldamento o il distacco di piccole porzioni. Può raggiungere l'interno dell'elemento causando fessurazione significativa, delaminazione o disgregazione.

Questi effetti meccanici visibili sono legati alle pressioni idrauliche che si sviluppano nei pori più piccoli che non si sono ancora congelati e che supereranno la resistenza a trazione del materiale, causando fessure e distacchi.

Negli elementi in pietra, la porosità della roccia, che può essere naturale o causata da sollecitazioni termiche o strutturali, facilita la saturazione dell'acqua e rende il materiale più vulnerabile agli effetti del congelamento. Il calcare oolitico, la dolomite e l'arenaria sono tra le rocce più sensibili.



Figura 1: effetti dell'azione del gelo su grandi pietre calcaree oolitiche

Nel calcestruzzo, la presenza di bolle d'aria di piccolo diametro (da 50 a 200 μ m) dal 5 all'8% rappresenta una sorta di "serbatoio di espansione" e limita gli effetti distruttivi del congelamento. Nel calcestruzzo ormai datato, anche se il livello di porosità è più alto, la distribuzione dei vuoti non è sufficiente a compensare la debolezza meccanica. E' così possibile ottenere danni significativi nelle aree più esposte (portali), ma anche nelle zone interne (aree saturate da ingresso permanente dell'acqua e aree esposte al sale antighiaccio).

Nel calcestruzzo spruzzato a volte si osserva l'esfoliazione superficiale, in particolare nelle sezioni della calotta, dove l'acqua "ristagna" dietro il guscio di cemento, mantenendola continuamente bagnata. In condizioni molto severe, lo shotcrete può progressivamente staccarsi dalla superficie sottostante a causa della formazione di ghiaccio all'interfaccia. Grandi frammenti possono distaccarsi.

L'accumulo di ghiaccio all'interno di alcune gallerie crea limitazioni alla fruizione significative e può provocare il danneggiamento di elementi strutturali secondari (serbatoi impermeabili, dreni d'intradosso, rivestimenti).



Figura 2: blocchi e stalattiti di ghiaccio



Figura 3: rivestimento danneggiato dall'azione del gelo



Figura 4: muro laterale in c.a. congelato



Figura 5: danneggiamento del cls dovuto al gelo, alla base di un piedritto



Figura 6: blocco di ghiaccio in corrispondenza di un giunto che invade il marciapiede

Efflorescenza su malta o calcestruzzo

HY-4

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

L'efflorescenza si manifesta tramite filamenti bianchi i quali:

1. si formano per estrusione attraverso i pori del materiale e hanno l'aspetto di "baffi",
2. sono estremamente fragili e hanno una composizione salina,
3. coprono l'intero giunto o una superficie di dimensioni variabili di un rivestimento o di calcestruzzo,
4. appaiono o scompaiono molto rapidamente a seconda del livello di umidità del materiale o dell'igrometria ambientale.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (ad occhio nudo e con lenti di ingrandimento) e gusto (gusto salato)

Parametri da caratterizzare

Posizione (dove inizia a comparire l'efflorescenza), – Estensione (localizzata o diffusa) – Natura e portata del deterioramento del materiale

Difetti associati di cui valutare la presenza

Altri deterioramenti del materiale – Gonfiore (muratura o rivestimenti) – Distacco (rivestimenti) – Esfoliazione – Crepe – Concrezioni calcaree

Origini e possibili cause

Malta o calcestruzzo attaccato da afflussi di acqua contenente solfuri, con conseguente formazione di solfato di sodio. Presenza di ettringite secondaria interna (da cercare utilizzando un microscopio elettronico a scansione), con cristallizzazione diffusa e distruttiva.

Fattori aggravanti

Scarsa qualità del materiale utilizzato - Acqua nel terreno circostante con alto contenuto di solfati

Conseguenze, possibile evoluzione

Significativi rigonfiamenti interni che possono indebolire il rivestimento o allentare il pannello impermeabilizzante (la muratura è altamente sensibile a questa problematica)

Pericoli per gli utenti

Nessuno

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Nessuno se l'attacco è superficiale.

Se viene identificata la presenza di ettringite secondaria, il rapido deterioramento delle articolazioni in muratura, il rigonfiamento o la possibile fessurazione di calcestruzzo o rivestimenti.

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Prevenzione: principalmente in fase di scelta dei cementi

Correttivo: non necessario se è presente solo l'efflorescenza; se il rigonfiamento ha influenzato in modo significativo il rivestimento, potrebbe essere necessario sostituirlo.

Osservazioni

Qui, il termine "efflorescenza" ha un significato volutamente restrittivo, al fine di caratterizzare con precisione questo particolare tipo di deposito superficiale comune perlopiù in vecchie murature. Per altre strutture, il termine ha un significato più generale, comprendendo anche le varie concrezioni che appaiono sull'elemento.

Cfr. anche fogli RM-5 (deterioramento dei letti di malta) e RB-2 (rigonfiamento del rivestimento in cls)

Ulteriori informazioni

Pur appartenendo all'ampia categoria dei depositi superficiali, l'efflorescenza qui descritta è una manifestazione del deterioramento specifico del materiale causato dai solfati.

Muratura:

L'efflorescenza è limitata alla superficie dei letti di malta. Ha l'aspetto di baffi bianchi, a volte molto densi, e indica un attacco di solfato alla malta. Studi passati li hanno identificati come solfato di sodio, idratato in misura variabile (da non confondere con il salnitro, che è un nitrato). Questo sale viene rilasciato dalla malta per estrusione superficiale. È l'indicatore visibile di una possibile formazione interna (e microscopica) di ettringite secondaria o thaumasite, sali patogeni ed espansivi.

L'efflorescenza appare non appena il livello di umidità del materiale varia e scompare quando si inumidisce.

In caso di dubbio, i campioni devono essere prelevati per l'analisi chimica ed esaminati con un microscopio elettronico.

Calcestruzzo:

Molto meno evidente che in muratura, l'efflorescenza è comune sulla superficie di alcuni getti datati calcestruzzo (con aggregati in gneiss), su rivestimenti di malta e calcestruzzo spruzzato.

Può anche formarsi sulla superficie del calcestruzzo situato in spazi scarsamente ventilati in gallerie soggette a traffico pesante (rientranze, spazi anulari tra lamiere e superfici scavate, corridoi di servizio, ecc.). In questi casi ha origine dall'ossidazione del biossido di zolfo (SO_2) emesso dai veicoli che entra a contatto con una superficie umida (attacco acido).



Figura 1: efflorescenza su malta vecchia a base di calce



Figura 2: efflorescenza su malta vecchia a base di calce



Figura 3: efflorescenza a livello del suolo sul calcestruzzo

4 DETERIORAMENTI DOVUTI AL TERRENO CIRCOSTANTE

Elenco dei difetti	Codice
Deterioramenti dovuti al terreno circostante	
Carsi e cavità	Zl-1
Deterioramento dei portali	Zl-2
Instabilità dei pendii	Zl-3

Carsi e cavità

ZI-1

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Carso: cavità naturale, condotto formato dalla dissoluzione del calcare o del gesso. Le sue dimensioni possono variare da pochi decimetri a diverse decine di metri

Cavità: si tratta di uno scavo non rivestito di origine antropica (cava sotterranea, struttura militare, galleria) o ampio vuoto naturale che si forma in un terreno poco coesivo, oppure in seguito a una frana o a trasporto di materiale alluvionale da parte di acqua (continua o meno). Facile da identificare quando il tunnel li attraversa, questi carsi o cavità possono essere presenti anche nell'area circostante alla galleria e influenzare la struttura pur senza essere rilevati.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva se il carso o la cavità si aprono nel tunnel (ma la sua esplorazione non rientra nell'ambito di un'ispezione)

Indagini georadar, suono meccanico, rilevamento topografico (livellamento, convergenza)

Parametri da caratterizzare

Forma ed estensione dello scavo – Natura e stabilità di qualsiasi materiale di riempimento – Dimensioni (quando è accessibile in modo sicuro e senza attrezzature specifiche) – Stabilità – Misurazione della portata in caso di circolazione di acqua

Difetti associati di cui valutare la presenza

Indagini su eventuali colate di detriti osservate in passato – Dolines (conca chiusa circolari formatasi per dissoluzione di carbonato di calcio) o lapies (microformazioni create da deflusso d'acqua piovana o da cicli di gelo-disgelo) in superficie – Cedimento della carreggiata

Origini e possibili cause

Dissoluzione del materiale (calcare, gesso) a causa della circolazione dell'acqua all'interno della massa rocciosa

Fattori aggravanti

Roccia circostante fratturata – Carsismo attivo (circolazione dell'acqua) – Condotti carsici tangente all'intradosso.

Conseguenze, possibile evoluzione

Colate di detriti di materiali di riempimento esistenti o materiali trasportati dall'acqua. Questi fenomeni a volte possono essere improvvisi e significativi – crollo localizzato della carreggiata

Pericoli per gli utenti

Caduta di materiale e/o improvvise e violente venute d'acqua (se la cavità si trova nella galleria)

Aumento del pericolo se il carso si trova in una sezione della calotta o se una dolina raggiunge la carreggiata

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Se un rivestimento copre un vuoto, può essere soggetto a sovraccarico, indebolimento o addirittura rottura se il flusso di terreno è massiccio (carsismo) o se la cavità vicina si espande verso il tunnel (frane estese)

Monitoraggio

Ispezione visiva:

– monitorare la frequenza e la quantità di materiali in caduta (carsi o cavità che si aprono nel tunnel) e le variazioni nella quantità d'acqua in ingresso e nel il materiale solido che trasporta, – ispezione delle reti.

Endoscopia nei fori di trivellazione (carsi o cavità nascosti da un rivestimento)

Misure correttive

Applicazione di griglia protettiva o rete metallica (protezione da blocchi che cadono dall'interno del carso / cavità)

Drenaggio con capacità sufficiente per le portate di possibili inondazioni, resistente all'ostruzione ma comunque ispezionabile

Osservazioni**Informazioni aggiuntive**

I carsi sono il risultato di fenomeni di dissoluzione e di intrappolamento osservati nei massicci rocciosi calcarei: espansione di diaclasi e fratture, creazione di cavità che possono espandersi e arrivare a dimensioni significative. La loro distribuzione spaziale non è mai completamente conosciuta. La qualità del terreno che circonda il carso non viene modificata dal processo.

Alcune altre rocce, come il gesso, possono contenere cavità carsiche. In contrasto con i massicci rocciosi calcarei, la dissoluzione qui è molto più veloce e può quindi provocare doline sopra il tunnel ma anche sotto l'arco rovescio.

I condotti carsici non sempre hanno protezione o drenaggio. La loro posizione in relazione all'arco può portare ad un indebolimento locale dello scavo (formazione di ponti rocciosi fragili nei casi in cui un condotto corra tangente all'intradosso). Oltre alle cavità carsiche naturali, alcuni tunnel attraversano o sono tangenti a vecchie cavità realizzate dall'uomo come cave, cave di ardesia, canali, gallerie di esplorazione, ecc.

Poiché non sono sempre rinforzati o riempiti, e c'è generalmente poca conoscenza della loro evoluzione, possono influenzare la stabilità del tunnel adiacente. Inoltre, alcuni carsi o cavità potrebbero essere nascosti dal rivestimento. Essi devono essere localizzati, ispezionati quando possibile, ed esplorati tramite perforazione e video-endoscopia.



Figura 1: Griglia metallica utilizzata come protezione contro caduta di materiali poco consolidati dal carso



Figura 2: condotto che conduce alla sezione di chiave di una galleria non rivestita (sono visibili tracce di venute temporanee di terreno contenente argilla rossa)

Deterioramento dei portali

ZI-2

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

I deterioramenti possono avere varie origini:

1. portali naturali:
 - roccia instabile sopra il piano viario.
2. portali artificiali:
 - meccanismi comuni di deterioramento di cls e muratura,
 - ostruzione e sovraccarico delle tettoie paramassi,
 - difetti dell'impermeabilizzazione,
 - azione degli agenti atmosferici,
 - cedimento, eccessiva inclinazione o assestamento del baldacchino dell'arco (spandrel),
 - slittamento di pietre causato da radici,
 - instabilità di pannelli / rivestimenti.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (spesso tramite tocco)

Parametri da caratterizzare

Area della superficie interessata dal deterioramento – Riempimento del baldacchino (se presente) – Ampiezza delle fessure – Stato della rete di drenaggio – Qualità del rivestimento o dei materiali di rivestimento – Indice di instabilità (in particolare sugli elementi di rivestimento in pietra)

Difetti associati di cui valutare la presenza

Stabilità delle aree immediatamente circostanti – Ingresso dell'acqua

Origini e possibili cause

Invecchiamento dei materiali – Cedimento delle fondazioni – Movimenti dei pendii (blocchi in caduta) – Impatti da veicoli pesanti di grandi dimensioni – Cicli di gelo-disgelo – Sviluppo della vegetazione arbustiva – Cattiva lavorazione durante l'installazione dell'impermeabilizzante o assenza della stessa – Mancanza di manutenzione regolare

Fattori aggravanti

Area soggetta a gelo – Scarso drenaggio dell'acqua

Conseguenze, possibile evoluzione

Deterioramento della membrana impermeabile

Rottura localizzata o totale

Danni permanenti

Pericoli per gli utenti

Caduta di rocce o di elementi di muratura

Formazione di stalattiti di ghiaccio

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Da inesistente ad alto a seconda dell'entità del degrado del tunnel e della gravità delle cause

Monitoraggio

Ispezione visiva

Installazione di sensori e fessurimetri (a seconda della situazione)

Attento monitoraggio o stretta osservazione (a seconda dei risultati delle misurazioni)

Misure correttive

Manutenzione regolare delle reti paramassi e dei sistemi per drenare le acque superficiali, manutenzione della vegetazione

Protezione del portale e delle corsie mediante reti

Riparazioni su misura per la natura e la portata dei deterioramenti (ristrutturazione, ricostruzione)

Osservazioni

Ulteriori informazioni

I portali fatti artificiali presentano meccanismi di degrado caratteristici:

1. assestamenti, fessure
2. rotazione (separazione dal corpo dell'arco), particolarmente visibile sui vecchi baldacchini in muratura,
3. frequente presenza di fessure oblique all'intradosso (torsione della struttura a causa della rotazione),
4. scheggiatura causata dalla caduta di pietre, imbozzamenti locali della muratura causati dalla vegetazione,
5. ammaccature su rivestimenti prefabbricati, fissati da bulloni o fissati su una struttura metallica (deve essere monitorata la corrosione degli apparecchi metallici).



Figura 1: fessurazione e rotazione laterale di un baldacchino

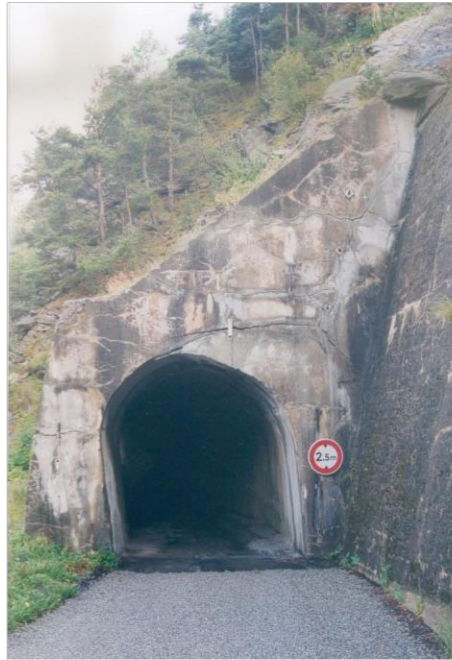


Figura 2: portale deformato dall'instabilità del pendio



Figura 3: rivestimento distaccato e caduto a causa dell'impatto con un veicolo pesante



Figura 4: pannelli allentati

INSTABILITA' DEI PENDII

ZI-3

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Si tratta generalmente di un movimento di discesa di una massa di materiale lungo una superficie di rottura tra due strati in un'area di terreno particolarmente debole

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva del terreno naturale e ricerca di segni visibili ("cicatrici della frana", superficie di rottura, increspature del suolo ai piedi del pendio, vegetazione rovesciata, ecc.)

Parametri da caratterizzare

Stima del volume complessivo in questione
Stima della velocità (installazione di inclinometri)
Caratteristiche idrauliche della massa rocciosa (piezometri, sensori di pressione dei pori, ecc.)

Difetti associati di cui valutare la presenza

Fessurazione della struttura del tunnel – deformazione della struttura del tunnel – fratturazione della struttura del tunnel

Origini e possibili cause

Natura del terreno – geomorfologia del sito – vegetazione – regime idraulico della massa rocciosa

Fattori aggravanti

Creep(scorrimento) – cambiamenti del regime idraulico (saturazione dei materiali, aumento delle pressioni dei pori) – lavorazioni di terra – erosione naturale – accelerazioni prodotte dai terremoti

Conseguenze, possibile evoluzione

Rottura localizzata o totale
Danni permanenti

Pericoli per gli utenti

Caduta di elementi di rivestimento
Crollo della struttura del tunnel

Rischi per il tunnel e il suo elemento strutturale

Monitoraggio

Ispezione visiva
Installazione di strumenti di monitoraggio e fessurimetri sulla struttura del tunnel
Aumento del monitoraggio o stretta osservazione
Installazione di inclinometri, piezometri, cellule di pressione dei pori e piezoconi nella massa rocciosa in movimento

Misure correttive

Sistemazioni del terreno
Sistemi di drenaggio
Strutture di supporto
Piantumazione di nuova vegetazione

Osservazioni

Ulteriori informazioni

Una frana è un movimento generalmente lento verso il basso di una massa di terreno coeso con volume e spessore variabili. Si verifica lungo una superficie di rottura, che può essere curva (frana rotazionale) o lungo una discontinuità preesistente (frana traslazionale). La profondità di queste superfici di rottura può variare da circa un metro a diverse decine o addirittura centinaia di metri in casi eccezionali.

Le velocità delle frane rimangono variabili. Quando c'è una rottura, il terreno può scivolare rapidamente, in particolare quando è saturo di acqua.

Le frane di dimensioni controllabili possono essere associate a:

1. movimenti e lavorazioni del terreno (costruzione di muri di sostegno ai piedi del pendio, rimpiazzo di materiali franati ecc.);
2. installazione di sistemi di drenaggio (raccolta di acque superficiali, costruzione di trincee di drenaggio, drenaggi suborizzontali o verticali);
3. costruzione di strutture di supporto: queste strutture possono essere flessibili (gabbioni, terreno rinforzato) o rigide (pareti);
4. piantumazione di arbusti.



Figura 1: portale deformato dall'instabilità del pendio

5 DETERIORAMENTI NELLE SEZIONI NON RIVESTITE

Elenco dei difetti	Codice
Deterioramenti nelle sezioni non rivestite	
Distacco di blocchi da roccia alterata	NR-1
Distacco di porzioni da roccia stratificata	NR-2

Vedere anche le schede relative a:

1. deterioramenti dovuti al terreno circostante: ZI-1, ZI-2, ZI-3
2. screpolature intorno fori di esplosione: MO-1.

Distacco di blocchi da roccia alterata NR-1

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Blocchi staccati dalla massa rocciosa a causa di discontinuità (che possono o non possono essere aperte e riempite con materiali)
I luoghi da cui i blocchi sono già caduti sono identificati da una roccia di colore diverso

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva dalla carreggiata, utilizzando una potente illuminazione (metodo spesso insufficiente) e ispezione ravvicinata (tramite tocco)
Ispezione uditiva mediante attenta battitura del martello (risposta sonora dall'oggetto, conferma dell'instabilità reale o apparente)

Parametri da caratterizzare

Misurazione della larghezza delle principali discontinuità o crepe e del loro percorso (direzione, pendenza) – Stima della spaziatura media della fratturazione – Stima dei volumi unitari e dei volumi complessivi – Stima della superficie interessata

Difetti associati di cui valutare la presenza

Presenza di materiali all'interno delle discontinuità (sabbia, argilla, ecc.) – Presenza di umidità nelle discontinuità – Presenza di difetti

Origini e possibili cause

Struttura e fratturazione originale della massa rocciosa – Decompressione naturale della superficie libera – Fratturazione prodotta da vecchie esplosioni – Spurgo incompleto dopo scavo iniziale o ripresa successiva

Fattori aggravanti

Discontinuità la cui pendenza verso l'interno della galleria può facilitare uno scorrimento di masse (sezione trasversale sfavorevole allo sviluppo dell'effetto arco) – Bassa resistenza a taglio sugli ammassi rocciosi – Importante frattura della massa rocciosa

Conseguenze, possibile evoluzione

Caduta di blocchi adiacenti destabilizzati – Creazione graduale di profili esterni Danni alle installazioni

Pericoli per gli utenti

Caduta di blocchi

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Indebolimento graduale di alcune parti della volta (perdita di pressione passiva del blocco) Espansione naturale della sezione trasversale

Monitoraggio

Ispezione visiva
Sorveglianza con maggiore frequenza (rilevare la posizione metrica, il volume e la frequenza di caduta dei blocchi)

Misure correttive

Azioni da adattare per ogni galleria:

1. pulizia periodica e preventiva,
2. protezione immediata mediante rete (per piccoli blocchi),
3. bullonatura (per blocchi di grandi dimensioni),
4. realizzazione di un rivestimento (calcestruzzo spruzzato)

Osservazioni

Vedi anche foglio NR-2

Ulteriori informazioni

Gli scavi non rivestiti si modificano a causa dell'indebolimento del terreno, che è più rapido se la roccia è fratturata o soggetta a agenti atmosferici.

La valutazione si basa su una stretta osservazione visiva, da diverse angolazioni, e sulla risposta sonora con battitura. Questa azione spesso elimina involontariamente il deterioramento, se è piccolo in volume, e di conseguenza si dovrebbe fare molta attenzione. La battitura con martello consente anche una valutazione qualitativa del grado di instabilità della superficie di uno scavo, in quanto il suo aspetto può essere molto ingannevole.

Lo scenario più pericoloso è quello di terreno indebolito, dove però i "blocchi" non sono visibili. Questo è il caso, ad esempio, di alcune rocce calcaree delle dolomiti, con discontinuità appena visibili, in cui l'instabilità può essere rilevata solo battendo con il martello. La risposta sonora dalla roccia è l'unica indicazione di indebolimento della superficie, con la battitura si può quindi tentare di definirne l'estensione e il rischio di instabilità.

In una massa rocciosa altamente fratturata, si deve tentare di identificare le caratteristiche principali delle aree instabili (volumi, spessore, instabilità localizzata o generale), in vista della pulizia o del rinforzo.



Figura 1: massa fratturata separata dalla roccia circostante da uno strato argilloso o da un "ponte di roccia instabile" (la pulizia è possibile come misura iniziale)

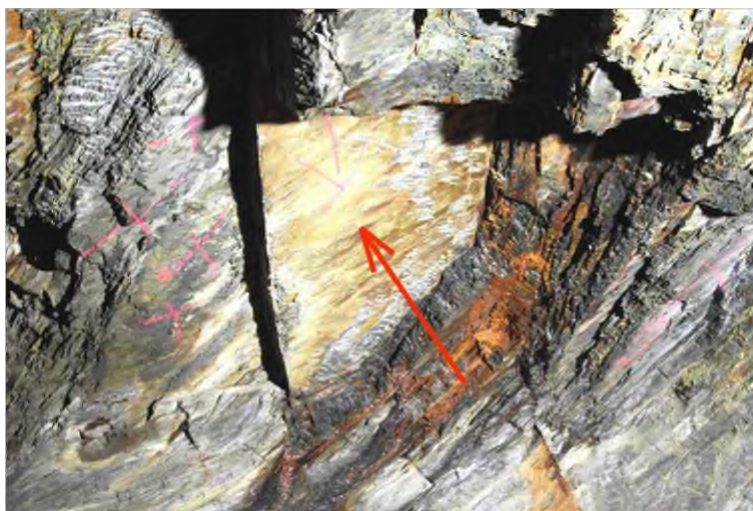


Figura 2: lastra solida dal suono cavo alla fine di letti duri instabili con piastre di scisto friabile



Figura 3: instabilità residua rinforzata con calcestruzzo spruzzato nell'area laterale

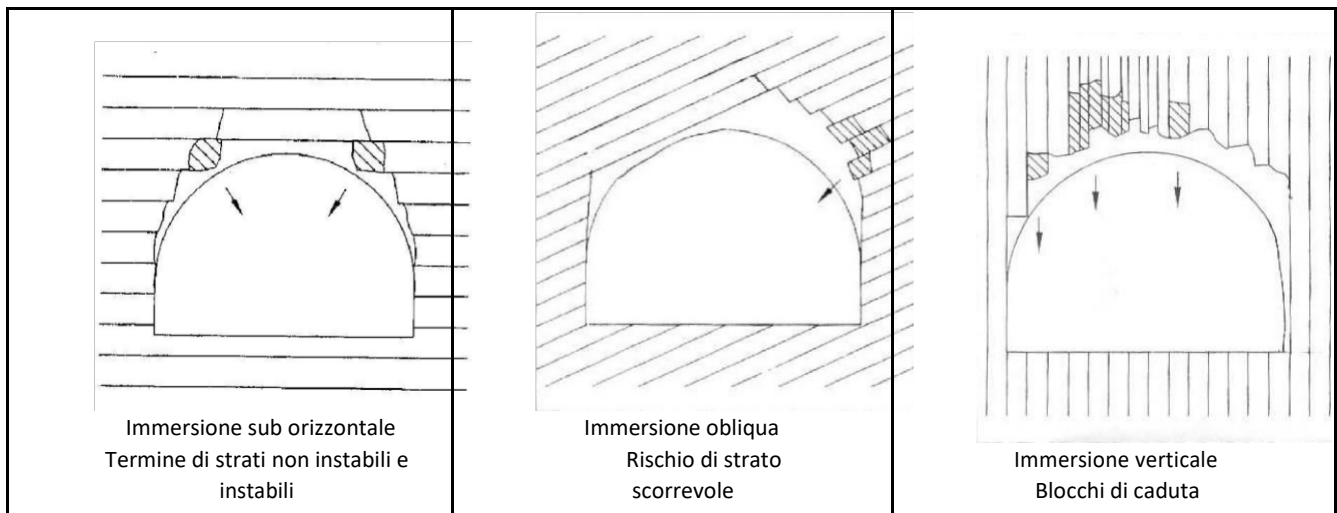


Figura 4: massi o blocchi caduti (da piccoli a medi volumi, solitamente distacchi unitari ma è possibile il distacco di più blocchi contemporaneamente)

Distacco di porzioni da roccia stratificata

NR-2

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Strati o lastre, con immersione nulla o molto lieve, si staccano dalla massa rocciosa, si flettono e presentano giunti aperti.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva, dalla carreggiata con illuminazione potente (metodo spesso insufficiente) e ispezione ravvicinata (al tatto)
Ispezione uditiva mediante battitura del martello (risposta sonora dall'oggetto, instabilità reale o apparente)

Parametri da caratterizzare

Spessore medio delle lastre – Larghezza di giunti o crepe – Movimenti relativi degli elementi – Stima dei volumi unitari e del volume complessivo – Stima della superficie

Difetti associati di cui valutare la presenza

Screpolatura della lastra (indebolimento)

Origini e possibili cause

Origine strutturale, probabilmente aggravata dal movimento delle rocce o dalla forma dello scavo

Fattori aggravanti

Alterazione della roccia – Presenza di argilla e umidità nelle discontinuità

Conseguenze, possibile evoluzione

Rottura della lastra visibile, a volte con significative cadute di roccia
Creazione progressiva di profili esterni
Danni alle installazioni

Pericoli per gli utenti

Caduta di lastre

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Espansione naturale della sezione
Indebolimento graduale di alcune parti dell'arco (assenza di pressione passiva tra i blocchi)

Monitoraggio

Ispezione visiva
Monitoraggio più frequente (rilevare la posizione metrica di caduta di piccoli blocchi che annunciano una possibile evoluzione, rilevare la presenza di fessure)

Misure correttive

Azioni da adattare per ogni galleria:

1. pulizia periodica e preventiva,
2. protezione immediata mediante rete (per piccoli blocchi),
3. bullonatura (per blocchi di grandi dimensioni),
4. realizzazione di un rivestimento (calcestruzzo spruzzato)

Osservazioni

Vedi anche scheda NR-1 (distacco di blocchi da roccia alterata)

Informazioni aggiuntive

Questo è un deterioramento comune che si trova principalmente nelle masse rocciose stratificate, nelle aree in cui la stratificazione corre tangente all'intradosso. Questa situazione può verificarsi anche in rocce metamorfiche con un alto livello di schistosità, in cui la divisione in piastre appare chiaramente all'intradosso. Un letto roccioso orizzontale in una sezione della calotta si comporta come una trave semplicemente appoggiata. Nonostante la sua apparente rigidità, si riduce con il tempo e può rompersi presso micro-discontinuità preesistenti. Dopo che il blocco è rotto e distaccato, la base è indebolita su entrambi i lati e diventa potenzialmente instabile.

Il livello di rischio dipende ovviamente dallo spessore degli strati in relazione alla direzione del tunnel, ma anche dalla superficie della lastra visibile, dal suo grado di fratturazione e dalla presenza di strati di argilla o marna. Se è molto omogeneo (questo è spesso il caso di rocce calcaree) e spesso (maggiore di un metro), questo tipo di problema non è probabile che si verifichi.



Figure 1: blocco caduto su lamiere di metallo, indicante l'indebolimento della fine di uno strato di roccia calcarea (la presenza di due discontinuità verticali umide ai lati identifica una situazione potenzialmente pericolosa a lungo termine per l'intera parte rocciosa centrale)



Figure 2: lastre allentate secondo un angolo di 45 gradi

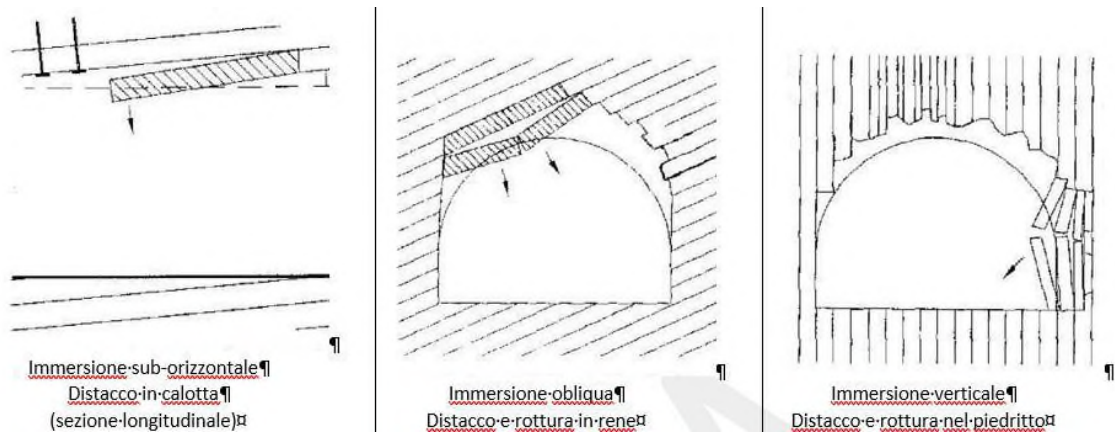


Figura 3: placche o lastre cadenti (i volumi possono essere elevati in roccia dura, ma con un basso grado di fratturazione)

6 DETERIORAMENTO DEI MATERIALI DI RIVESTIMENTO – RIVESTIMENTI IN MURATURA O PIETRA

Elenco dei difetti	Codice
Deterioramento dei materiali di rivestimento per rivestimenti in muratura o pietra	
Deterioramento superficiale a nido d'ape	RM-1
Desquamazione	RM-2
Esfoliazione	RM-3
Distaccamenti dovuti a carichi di compressione	RM-4
Deterioramento dei letti di malta	RM-5

Deterioramento superficiale a nido d'ape

RM-1

Descrizione (aspetto visivo del problema)

La pietra (o mattone) appare vuoto tra giunti di malta. Il fondo delle cavità è sempre pulito e sano.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Ispezione manuale (battuta con il martello)

Parametri da misurare

Profondità media del nido d'ape – Superficie dell'intradosso interessata – compattezza del rivestimento (risposta alla battitura delle pietre)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Scarsa qualità generale del rivestimento

Origini e possibili cause

Deterioramento superficiale di arenaria o dolomia: variazioni nell'igrometria, deboli azioni chimiche a scapito dello strato roccioso naturale.

Fattori aggravanti

Scarsa qualità della muratura – Pietre porose o sensibili al gelo

Conseguenze, possibile evoluzione

Diffusione, larghezza o profondità

Pericoli per gli utenti

Nessuno

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Nessuno se il problema rimane superficiale e in una piccola area

Monitoraggio

Ispezione visiva
Misurazioni della profondità

Misure correttive

Le riparazioni devono essere prese in considerazione solo se il problema ha un effetto localizzato sulla resistenza del rivestimento, il quale è raro.

Osservazioni

Da non confondere con " Esfoliazione " (foglio RM-2)

Informazioni aggiuntive

Il nido si verifica principalmente sulla superficie dei blocchi di arenaria, (la cui resistenza al deterioramento dipende da quella del legante originale), o blocchi di dolomia. La microporosità a volte elevata, dell'arenaria, li rende ancora più sensibili alle variazioni di umidità e temperatura. Vi è quindi una perdita di materiale (sabbia) dalle zone più morbide a causa dell'azione erosiva generata da un flusso d'acqua o aria sulla superficie.

Il termine "erosione del vento", a volte usato, non è corretto, anche se può avere un aspetto simile. Questo tipo di erosione è causata da particelle di sabbia abrasive trasportate dal vento non sono condizioni che esistono tipicamente nelle gallerie. Tuttavia, i movimenti dell'aria (causati dal traffico) svolgono un ruolo chiave nelle variazioni di temperatura e umidità dell'intradosso.

Questo deterioramento della pietra è raramente diffuso o profondo e di solito non ha conseguenze per la struttura.

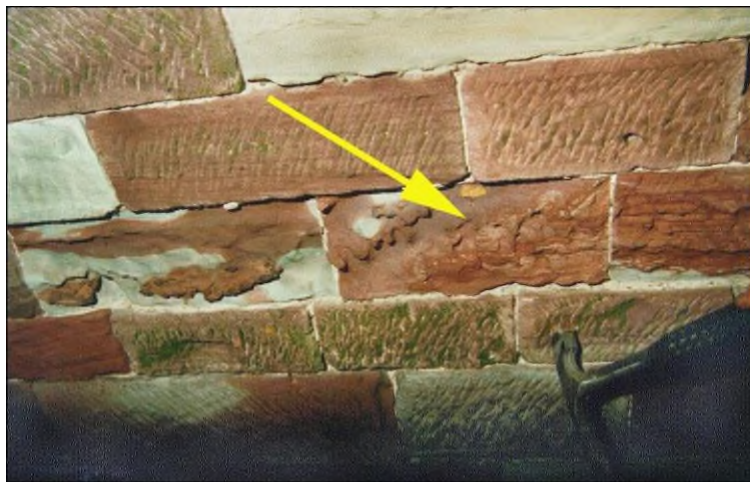


Figura 1: nido d'ape in blocchi di arenaria

Desquamazione

RM-2

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

La desquamazione è una forma di deterioramento limitata alla pietra, che appare squamoso sulla superficie. I singoli strati sono fragili e sempre più sottili di un centimetro (formando una pellicola sottile).

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Parametri da misurare

Natura della pietra – Estensione del fenomeno (molto localizzata, dispersa o diffusa) – Posizione in relazione ai portali della galleria

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Esfoliazione – Distacco sotto carico di compressione

Origini e possibili cause

Deterioramento della pietra a causa della migrazione dei sali sulla superficie

Fattori aggravanti

Ingresso periodico di acqua – Cicli di gelo / disgelo – Correnti d'aria forti

Conseguenze, possibile evoluzione

Il processo di sfaldamento cresce lentamente

Pericoli per gli utenti

Nessuno

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Nessuno

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

“puizia” periodica

Osservazioni

Da non confondere con “deterioramento superficiale a nido d’ape” (foglio RM-1)

Informazioni aggiuntive

La desquamazione è il deterioramento della pietra in strati uniformi sottili. In generale, colpisce le aree con pietra di natura simile (spesso arenaria). A seconda del loro spessore, gli strati sono descritti come pellicole (1 mm), croste (diversi mm) o lastre (1 cm). D'altro canto, strati più di 1 cm di spessore cadono all'interno del campo di esfoliazione.

La desquamazione è caratterizzata da un cambiamento nella natura chimica dello strato superficiale. È legato all'azione di composti di zolfo (fumi di scarico) che formano soluzioni acide quando mescolate con acqua. I cambiamenti chimici nello strato superficiale sono causati dalla migrazione di queste soluzioni, che penetrano nella pietra dove evaporano e depositano sali (in particolare il solfato di calcio).

Il processo di sfaldamento può essere accelerato dalle riparazioni dei letti di malta che sono meno permeabili rispetto alle pietre o alla malta originale; vapore acqueo viene quindi trasferito alla pietra, mentre la malta originale più permeabile tendeva a proteggerla.

Il difetto è generalmente discreto e non ha gravi conseguenze nelle gallerie stradali. È aggravato in presenza di acqua fortemente inquinata dai fumi di scarico. Questo tipo di manifestazione è tipica dei vecchi tunnel ferroviari.



Figura 1: desquamazione superficiale di una porzione di muratura del rivestimento

Esfoliazione

RM-3

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

L'esfoliazione è una forma di deterioramento limitata alla pietra. Sotto un aspetto a volte intatto, si creano strati di spessore centimetrico, paralleli all'intradosso. La caduta naturale di alcuni strati crea delle cavità sulla superficie del rivestimento.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (se i frammenti sono già caduti)
Ispezione manuale (strati che possono essere facilmente rimossi e a volte sono naturalmente instabili)
Ispezione uditiva (solo il martellamento rileva il problema se la pietra appare intatta)

Parametri da caratterizzare

Natura della pietra – Estensione del fenomeno (molto localizzata, dispersa, diffusa) – Superficie
– Spessore medio degli strati – Profondità delle cavità formate da elementi che cadono

Difetti associati di cui valutare la presenza

Efflorescenza sui mortai – Distacco a causa del carico di compressione

Origini e possibili cause

Scarsa qualità meccanica della pietra – Congelazione – Variazioni di temperatura e umidità –
Esistenza di sollecitazioni all'interno del rivestimento

Fattori aggravanti

Congelamento – Muratura sovraccarica – Pietra porosa e/o sensibile al gelo – Scarsa qualità dei mattoni –
Giunti di spessore irregolare

Conseguenze, possibile evoluzione

Diffusione per quanto riguarda la larghezza e/o la profondità a causa dell'unione di aree inizialmente isolate
(aree esfoliate che si uniscono)

Pericoli per gli utenti

Frammenti cadenti

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Assottigliamento del rivestimento su un'area significativa

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Pulizia periodica
Rivestimento in calcestruzzo se la riduzione dello spessore della muratura diventa significativa

Osservazioni

Da non confondere con "distaccamenti dovuti a carichi di compressione" (foglio RM-4)

Informazioni aggiuntive

La superficie della pietra a volte è intatta. All'interno, è divisa da strati lesionati paralleli alla superficie, che si traduce in un suono cavo alla battitura del martello. Lo spessore di ogni strato è maggiore di un centimetro. A volte, gli strati cadono e l'intradosso è punteggiato da cavità di diverse profondità e dimensioni. La causa dell'esfoliazione sembra essere legata a un deterioramento fisico-chimico e all'effetto di sollecitazioni meccaniche, che si verificano in successione o in concomitanza.

La differenza principale con la desquamazione sta nel fatto che questi strati sono molto facili da disgiungere, anche a mano.

La valutazione complessiva del tunnel nel suo complesso può essere difficile. Ad esempio, l'esfoliazione nell'intradosso può benissimo essere causata da una scarsa qualità della pietra e accentuata dall'esistenza di sollecitazioni anche moderate agenti sull'arco, questi valori di sollecitazione non avrebbero alcun effetto sulla muratura costruita con pietre aventi maggiore resistenza a compressione.

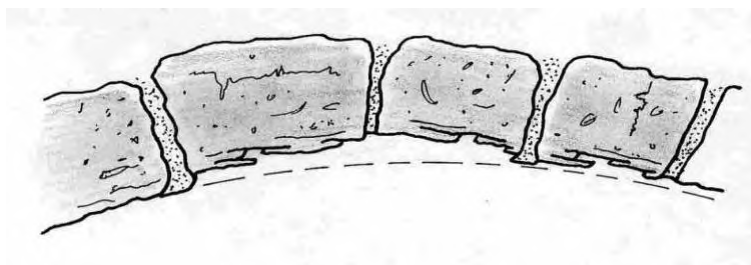


Figura 1: diagramma dell'esfoliazione



Figura 2: esfoliazione di muratura calcarea oolitica fragile e sensibile al gelo



Figura 3: esfoliazione e delaminazione della muratura calcarea

Distaccamenti dovuti a carichi di compressione

RM-4

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Questa è la rottura della pietra (o mattone), tale da formare una lastra spessa almeno un centimetro, che viene allentata e intrappolata tra pietre adiacenti (o mattoni). La lastra raramente può essere rimossa a mano. La superficie di frattura è pulita e concoidale (non piatta ma liscia). Il fenomeno può coinvolgere diverse pietre adiacenti e i letti di malta. Si tratta di un deterioramento strutturale che è solo in parte correlato alla qualità delle pietre (o mattoni).

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (con fonte di luce angolata)
Ispezione uditiva (con martellamento)

Parametri da caratterizzare

Estensione del fenomeno: posizione (indicazione della progressiva metrica iniziale e finale)
Posizione nel profilo (piedritto o calotta) – Spessore medio delle lastre – Spessore medio dei letti di malta (le pietre sono spesso in contatto diretto tra loro con assenza di malta)

Difetti associati di cui valutare la presenza

Deformazione della sezione trasversale – fessure – Separazione dei letti di malta

Origini e possibili cause

Sollecitazioni locali in eccesso nel rivestimento tali da superare la resistenza meccanica delle pietre o dei mattoni

Nota: Il termine "distaccamenti dovuti a carichi di compressione" dovrebbe essere riservato esclusivamente per i deterioramenti in cui è chiaro che l'origine è prevalentemente meccanica.

Fattori aggravanti

Pietre posizionate malamente – letto di malta insufficiente al momento della posa (pietre in contatto diretto)

Conseguenze, possibile evoluzione

Diffusione sia in larghezza o profondità
Anche se non c'è deformazione apparente del rivestimento (condizione comune), questo fenomeno è critico

Pericoli per gli utenti

Rischio di caduta di distaccamenti, che vengono "spinti fuori" nel tempo

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Indebolimento locale del rivestimento
Inizio di un meccanismo di rottura del rivestimento (ipotesi da considerare in tutti i casi)

Monitoraggio

Ispezione visiva (distaccamenti già avvenuti)
Ispezione uditiva (per verificare l'estensione del problema)
Misurazioni della deformazione nella sezione trasversale
Misurazioni delle sollecitazioni agenti sul rivestimento
Maggiore monitoraggio o stretta osservazione a seconda dei risultati delle misurazioni

Misure correttive

Pulizia frequente
Installazione di reti (sicurezza degli utenti)
Riparazioni che comportano rinforzo o addirittura ricostruzione della struttura, a seconda dei risultati del monitoraggio e delle misurazioni

Osservazioni

Da non confondere con "esfoliazione" (foglio RM-3)

Informazioni aggiuntive

Distaccamenti a causa di carico compressivo sono causati dallo stress esercitato sulla pietra tra i punti di pressione che supera le sue resistenze meccaniche. La rottura avviene con le stesse modalità di un test a compressione. La sua presenza all'interno di un rivestimento indica che il rivestimento è soggetto a forte compressione.

La parte superficiale della pietra è allentata e si stacca in lastre di diversi centimetri di spessore su tutta la larghezza della pietra, ma rimane in posizione. La differenza con l'esfoliazione è la forma della superficie di frattura e l'impossibilità di riposizionare con precisione la lastra quando è stata rimossa. L'inizio della frattura, che è invisibile, viene rilevato con un martello dal suo suono cavo o vuoto. Con martellamento persistente, la lastra può essere staccata, a volte improvvisamente.

Alcune pietre non presentano questa forma di distacco, ma crepe che sono caratteristiche della frantumazione, generando detriti instabili.

Il distacco è di solito allineato su una o più file di pietre consecutive.

Nota: Distacco sotto carico compressivo potrebbe anche essere descritto come rottura della pietra.

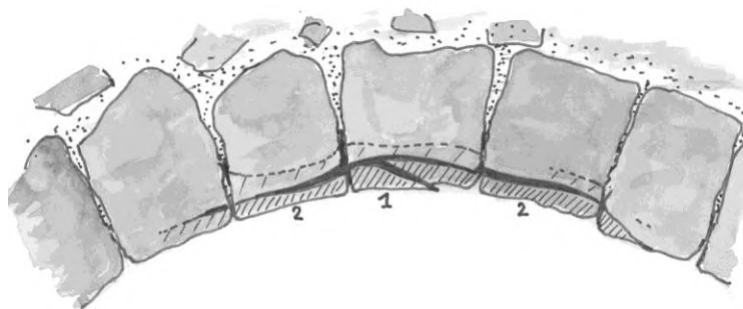


Figura 1: diagramma di distacco di pietra sulla calotta (notare l'assenza di malta tra le pietre che quindi si toccano; la caduta di una lastra dalla pietra 1 destabilizza le lastre delle pietre 2 che erano precedentemente tenute in posizione (la pietra 1 svolgeva il ruolo di chiave); se la pietra dopo il distacco suona ancora cava, questo significa che si stanno formando nuove superfici di distacco, mostrate dalle linee tratteggiate).



Figura 2: pietra distaccata sulla calotta (le parti che appaiono lisce sono le cicatrici lasciate da distacchi fino a 10 cm di spessore; notare l'assenza quasi totale di malta nella direzione longitudinale, così come una lastra allentata ancora in posizione, tenuta in posizione dalle pietre ai lati)



Figura 3: distacco di pietra sulla parete laterale (la lastra in distacco dista 15 mm dalla parete e non può essere staccata a mano; le pietre superiore e inferiore sono a contatto diretto, in quanto non vi è malta)

Deterioramento dei letti di malta

RM-5

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

La malta è allentata e umida, e talvolta ridotta a sabbia. I letti diventano vuoti a causa della progressiva perdita di malta.

Quando la muratura è rivestita, questo deterioramento può essere individuato da una maggiore umidità e fessurazione presente sul rivestimento.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Ispezione manuale (rimozione della malta superficiale e indagine con un martello o qualsiasi altro strumento fine per determinare la durezza di quella rimanente)

Parametri da misurare

Consistenza – Colore – Profondità dei vuoti – Superficie interessata del rivestimento – Posizione (progressiva metrica di inizio e fine) – Posizione nella sezione trasversale – Natura dei materiali usati (pietra o mattoni, legante)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Efflorescenza sulla malta – Infiltrazione d'acqua – Scarsa qualità delle pietre – Deformazioni del profilo - Pietre sciolte – Aree dal suono cavo

Origini e possibili cause

Disintegrazione superficiale del legante – perdita di coesione dovuta all'attacco da acqua aggressiva - Invecchiamento

Fattori aggravanti

Ingresso d'acqua significativo altamente mineralizzata (in particolare i solfati) – Deformazioni del rivestimento - errato posizionamento dei blocchi – letti di malta irregolari o troppo spessi

Conseguenze, possibile evoluzione

Diffusione per quanto riguarda la larghezza e la profondità in presenza di umidità significativa
Deformazione
Caduta di pietre o mattoni
Danni permanenti alla struttura in caso di mancata manutenzione

Pericoli per gli utenti

Elementi in caduta

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Progressivo indebolimento

Monitoraggio

Ispezione visiva (estensione) e manuale (profondità)
Analisi dell'acqua e della malta

Misure correttive

Drenaggio
Riposizionamento
Iniezioni se la malta in profondità all'interno della muratura è scomparsa
Rinforzo o ricostruzione

Osservazioni

Vedi anche fogli HY-4 (efflorescenza) e RB-2 (Rigonfiamenti)

Informazioni aggiuntive I

mortai più vecchi che sono ancora visibili nei tunnel sono generalmente di colore chiaro, il che significa che sono stati prodotti con calce idraulica. Questi sono stati utilizzati quasi esclusivamente nella costruzione di rivestimenti durante la seconda metà del XIX secolo. Le malte a base di cemento, utilizzati più di recente, sono generalmente più scure.

La quantità di malta, a parità di volume di muratura, varia tra l'8 e il 30%, a seconda della qualità del posizionamento delle pietre; in muratura con mattoni è più o meno il 30%.

Le malte più vecchie sono altamente sensibili agli attacchi chimici e costituiscono il punto debole della muratura. Agiscono come una "spugna" protettiva per le pietre, ma poiché la loro carbonatazione è vecchia e profonda, sono altamente sensibili a qualsiasi attacco acido. A differenza del calcestruzzo, non hanno più riserve alcaline in grado di proteggerle, il che spiega la loro disintegrazione a volte completa.

La graduale perdita di malta dei letti è un fenomeno comune nella muratura, dimostrato dalle numerose operazioni di riposizionamento successivo visibile in alcune gallerie. I vuoti dei letti comporteranno danni permanenti degli elementi strutturali se non trattati in tempo.

Il deterioramento della malta di solito colpisce l'intero spessore della muratura ed è causato dalla lisciviazione, a causa della presenza di acqua ricca di CO₂ o solfati. Lo stadio finale è sabbia secca e polverosa per cui l'adesione può portare a danno permanente.

Questo deterioramento può svilupparsi sull'intradosso dalla progressiva disintegrazione del legante, causando la perdita della malta dal letto. La lenta perdita di malta è simile al nido d'ape menzionato per l'arenaria. La malta visibile rimane compatta e dura. Occorre monitorare il modo in cui questo deterioramento si evolve.

La perdita di malta può anche riguardare l'estradosso o l'interno della muratura senza rivelare deterioramenti molto visibili all'intradosso. In questo caso, solo l'indagine meccanica tramite foro può evidenziarne la perdita nell'estradosso. L'infiltrazione passante attraverso la muratura è l'unico indizio visibile di questo difetto. Questo può essere facilmente individuato nel caso di muratura non rivestita. Tuttavia, nel caso di rivestimenti, l'infiltrazione è diffusa e difficile da individuare. In questo caso, le misure correttive consistono nell'iniezione per rigenerare la struttura e in particolare per fissarla al suolo.

Inoltre, il riposizionamento a volte può nascondere malta completamente deteriorata o addirittura assente. Questi punti dovrebbero essere controllati da alcune battiture con il martello.

Questo deterioramento è molto più veloce se la pietra è mal allineata e i letti di malta sono irregolari o troppo spessi. Tuttavia, il processo di deterioramento è piuttosto lento e consente di effettuare indagini, quindi riparazioni, purché venga mantenuto un monitoraggio regolare.



Figure 1: Perdita completa della malta, la quale porta ad un danno permanente sul piedritto



Figure 2: disintegrazione dei letti, pietre in contatto solo tramite porzioni localizzate

7 DETERIORAMENTO DEI MATERIALI DI RIVESTIMENTO – RIVESTIMENTI IN CALCESTRUZZO (GETTATO IN OPERA O PREFABBRICATO)

Elenco dei problemi	Numero foglio
Deterioramento dei materiali di rivestimento	
Rivestimenti in calcestruzzo (gettato in opera o prefabbricato)	
Scheggiatura	RB-1
Rigonfiamenti	RB-2
Lesioni e distacchi dovuti a carichi di compressione	RB-3
Lesioni e distacchi dovuti a corrosione delle armature	RB-4
Deterioramento dello spritzbeton	RB-5

Scheggiatura

RB-1

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

La cicatrice lasciata dal distacco di un frammento del rivestimento dallo spigolo (in particolare durante il getto dei giunti) è chiamata scheggiatura.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Ispezione manuale

Parametri da misurare

Posizione – Estensione della scheggiatura in relazione alla struttura interessata

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Fessure – Segni di deterioramento – Elementi instabili ancora presenti intorno alla parte che è stata persa (distacco) – Tracce di impatto

Origini e possibili cause

Impatto accidentale durante la vita dell'opera o danno durante la costruzione (durante la rimozione della cassaforma o il posizionamento nel caso di elementi prefabbricati)

Fattori aggravanti

Deterioramento dei materiali (congelamento) – Infiltrazione d'acqua – Armatura esposta

Conseguenze, possibile evoluzione

Diffusione del deterioramento e indebolimento della struttura (se la causa è il deterioramento dei materiali)
Instabilità della struttura interessata (se la causa è accidentale)
Corrosione dell'armatura (nel caso di cemento armato)

Pericoli per gli utenti

Inesistente, a meno che la struttura non sia stata indebolita

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Nessuna conseguenza

Monitoraggio

Ispezione visiva
Monitoraggio più frequente (notare se sono presenti segni di più impatti nella stessa posizione)

Misure correttive

Nessuna azione specifica se la struttura non è pericolosamente interessata. Le parti del rivestimento pericolanti devono essere rimosse.

Osservazioni

Da non confondere con "lesioni e distacchi dovuti a corrosione delle armature" (foglio RB-4), anche se l'aspetto potrebbe essere simile. La causa e l'evoluzione sono diverse.

Informazioni aggiuntive

La scheggiatura influisce sulla continuità del materiale da cui è stato perso un frammento. Pertanto, qui il termine scheggiatura sarà riservato per i difetti che interessano i bordi laterali di elementi strutturali (pietre, calcestruzzo gettato) e causati da:

1. impatti accidentali,
2. un problema durante la rimozione della cassaforma,
3. deterioramento del materiale (dovuti a congelamento oppure quando bordi laterali di pietra o cemento assumeranno un aspetto arrotondato che può essere considerato come una

scheggiatura).

Il trattamento deve essere intrapreso solo se il grado di deterioramento compromette la stabilità della struttura o se sono state esposte le armature (Applicare passivante e ricostruire il copriferro).



Figura 1: elemento prefabbricato sottile scheggiato a seguito di un impatto



Figura 2: scheggiatura nella parte inferiore di un supporto che probabilmente si è verificato durante la rimozione della cassaforma

Rigonfiamento

RB-2

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

La fase iniziale è costituita da depositi superficiali di calce derivanti dalla dissoluzione interna. Nella fase finale, si creano aperture che possono essere posizionate in corrispondenza dei giunti di costruzione o in posizioni casuali all'interno del segmento. A volte sono presenti sotto uno strato apparentemente ancora intatto.

Il gonfiore si traduce in macro-fessure.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Battitura con il martello (per comprendere lo stato di coesione dei materiali)

Parametri da misurare

Posizione nel profilo della galleria (sistematico nella stessa zona o casuale) – Superficie e profondità delle aperture – consistenza e colore – Stabilità

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Ingresso continuo d'acqua – Quadro fessurativo significativo – Segni di attacco di solfato (efflorescenza)

Origini e possibili cause

Dissoluzione del legante (azione di CO₂, solfati, cloruri) poi lisciviazione – Formazione di composti espansivi – reazione alcalina – Congelamento

Fattori aggravanti

Calcestruzzo gettato con temperature basse suscettibile a congelamento – sotto-dosaggio di cemento – Congelamento – Dilavamento – Eccessiva compressione agente sul rivestimento

Conseguenze, possibile evoluzione

Aumento graduale della porosità – Aumento della penetrazione di agenti aggressivi – Perdita di coesione – Riduzione del rivestimento a causa della graduale erosione

Pericoli per gli utenti

Caduta di elementi (aggregati, frammenti)

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Indebolimento della struttura
Danni permanenti (locali o globali)

Monitoraggio

Ispezione visiva
Battitura con il martello (consistenza, profondità)
Analisi dell'acqua e del calcestruzzo

Misure correttive

Drenaggio
Iniezione
Pulizia e ricostruzione della parte colpita dal difetto
Ricostruzione (cemento spruzzato e rete saldata)

Osservazioni

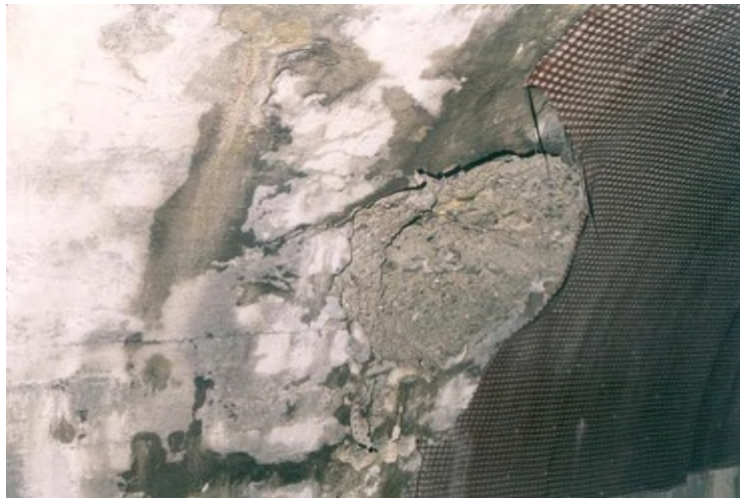
Vedi anche fogli HY-4 (efflorescenza) e RM-5 (deterioramento dei letti di malta)

Ulteriori informazioni

Deterioramento del calcestruzzo

Gli agenti aggressivi si diffondono meglio all'interno di materiale poroso (e permeabile) con un livello di umidità variante ma sempre intorno al 60% (né asciutto né saturo). Il loro effetto dannoso dipende dalla presenza di umidità e altri fattori che sono inesauribili, l'evoluzione del materiale è perciò governata dal tempo. La stabilizzazione temporanea può verificarsi, ma molto spesso, in calcestruzzo di scarsa qualità, ci può essere un completo deterioramento.

Si dice che il calcestruzzo si deteriora quando gli aggregati si separano gradualmente dal legante, che appare sciolto, sabbioso o quasi assente



Crack 1: calcestruzzo deteriorato dalla dissoluzione e dalla lisciviazione, in seguito congelamento

Lesioni e distacchi dovuti a carichi di compressione

RB-3

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Presenza di un quadro fessurativo che evidenzia distacchi di tutte le dimensioni. È un deterioramento strutturale

Metodo di ispezione

Ispezione visiva in luce bassa
Ispezione uditiva (battitura con il martello)

Parametri da misurare

Dimensioni dei distacchi (superficie e spessore presunto) – Posizione nella sezione trasversale (piedritto, rene, calotta) – Larghezza e direzione delle fessure

Deterioramenti o difetti associati da guardare

Quadro fessurativo anormale (fessure tutte nella stessa direzione, disallineamento dei piedritti, etc) – Profilo Trasversale deformato – Aree nelle vicinanze delle fessure in apparente buone condizioni ma che suonano vuote alla battitura.

Origini e possibili cause

Eccessiva compressione nel rivestimento, tale da superare la resistenza meccanica del calcestruzzo (sollecitazioni di tensione perpendicolari al rivestimento creano e ingrandiscono zone prossime al distacco)

Fattori aggravanti

Basso rapporto altezza/larghezza dell'arco – calcestruzzo eterogeneo o di scarsa qualità – Errore di progettazione

Conseguenze, possibile evoluzione

Future conseguenze sono un aumento dell'area interessata dal difetto o l'aumento della gravità della zona colpita – Fenomeno critico (anche se non c'è una deformazione dell'arco nella maggior parte dei casi)

Pericoli per gli utenti

Caduta di frammenti di cemento

I rischi per il tunnel e la sua Elementi

Rottura più o meno completa del rivestimento

Monitoraggio

Ispezione visiva (distacchi già caduti, estensione del deterioramento, larghezza delle fessure)
Ispezione uditiva (estensione del deterioramento)
Misurazione della deformazione del profilo
Misurazione delle sollecitazioni nel rivestimento
Maggiore monitoraggio o stretta osservazione (a seconda dei risultati delle misurazioni)

Misure correttive

Per la sicurezza degli utenti: pulizia frequente – installazione di reti per contenere i distacchi
Riparazione, rinforzo strutturale, o anche la ricostruzione (a seconda dei risultati del monitoraggio e delle misurazioni)

Osservazioni

Da non confondere con "lesione e distacchi dovuti a corrosione delle armature" (foglio RB-4)

Informazioni aggiuntive

Nei rivestimenti (gettati in sito o spruzzati), il distacco a causa di eccessivo carico a compressione può

verificarsi in qualsiasi punto del profilo e assumere la forma di fessure. Il rivestimento si fessura rapidamente sotto l'effetto di sollecitazioni eccessive all'intradosso. Questi deterioramenti si trovano lungo uno o più sezioni di galleria e spesso in calotta.

Quando si verificano fessure sull'intradosso il fenomeno è chiaramente visibile tramite illuminazione a bassa angolazione sufficientemente vicina alla superficie.

Se il distacco non è ancora visibile, una battitura con il martello può far riconoscere la zona affetta dal difetto. Perciò, una superficie che mostra solo fessurazioni discrete, ma che suona vuoto può indicare la presenza di zone sulla sezione trasversale in cui agiscono risultanti di trazione. Martellare in aree specifiche con il martello a volte evidenzia la presenza di fessure.

Nota: una compressione eccessiva all'interno di un rivestimento può anche generare crepe orizzontali parallele all' intradosso che sono più difficili da rilevare e possono essere identificate solo martellando.

Il rilevamento di lesioni e distacco dovrebbe anche includere misurazioni al fine di determinare come può evolvere la deformazione.

Le misurazioni tramite martinetto piatto in diversi punti della sezione trasversale vengono utilizzate per scoprire i valori di sollecitazione a compressione nel rivestimento.

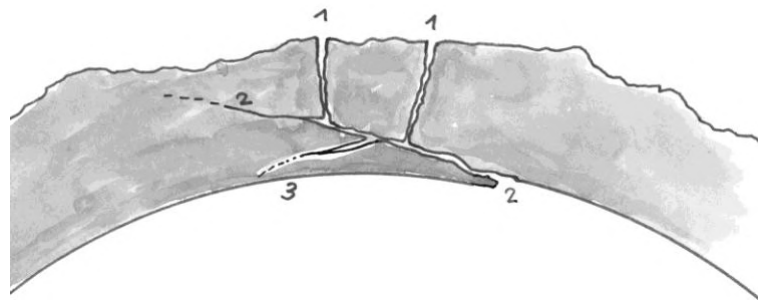


Figura 1: diagramma del meccanismo di distacco di calcestruzzo in calotta; l'intradosso è fortemente compresso e si verifica la seguente situazione: fessure dovute alla tensione sull'estradosso (1), fessure nell'intradosso (2), la fessura tende ad allargarsi perché il terreno circostante espandendosi tende a spingere verso l'esterno la zona pronta al distacco (3) la rottura avviene rapidamente diventando instabile, l'intero intradosso suona vuoto alla martellatura.



Figura 2: Inizio di rottura a taglio in calotta (si vede bene la fessura il cui bordo è fragile e vicino al distacco)

Lesioni e distacchi dovuti a corrosione delle armature

RB-4

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Si tratta di porzioni di calcestruzzo distaccato che può anche essersi distaccato, lasciando esposte le armature ossidate/corrose

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Ispezione uditiva (battitura con il martello, in particolare se il contorno delle armature è ben visibile sul calcestruzzo)

Parametri da misurare

Dimensioni e spessore dei distacchi – Estensione delle aree in cui è visibile l'armatura – Grado di corrosione delle armature

Deterioramenti o difetti associati da guardare

Umidità – Alterazione delle proprietà del calcestruzzo – Presenza di molte fessure sottili parallele – Presenza di aree che suonano vuote

Origini e possibili cause

Rivestimento troppo debole (posizionamento errato delle armature o movimenti durante il getto, copriferro troppo sottile) – Presenza di acqua – Nessuna impermeabilizzazione dell'estradosso – carbonatazione del calcestruzzo con riduzione del PH

Fattori aggravanti

Presenza di acqua – Nessuna impermeabilizzazione dell'estradosso – Sali di disgelo (in particolare in corrispondenza dei portali) – Presenza di forte concentrazione di gas di scarico nell'aria

Conseguenze, possibile evoluzione

Estensione della zona distaccata (ossidazione che progredisce lungo l'armatura porta al distacco di nuove porzioni di calcestruzzo)

Pericoli per gli utenti

Frammenti pericolanti pronti al distacco e la caduta (se il difetto si trova sopra le corsie del traffico)

I rischi per il tunnel e la sua Elementi

Ridotta resistenza della sezione

Monitoraggio

Ispezione visiva
Ispezione uditiva

Misure correttive

pulizia, rimozione del copriferro danneggiato e con applicazione passivante sulle armature e quindi ricostruzione del copriferro

Osservazioni

Informazioni aggiuntive

Questo deterioramento si riscontra raramente nelle gallerie recenti perché spesso rivestite con cemento armato solo vicino ai portali o nelle aree in cui il profilo è rinforzato. Di solito si verifica su armature che sono troppo vicine all'intradosso (copriferro minore di 1 cm). È innescato dal processo di carbonatazione del calcestruzzo, che si diffonde partendo dall'intradosso. La passività delle armature vicine all'intradosso viene persa; l'acciaio corrode e aumenta di volume innescando il distacco del calcestruzzo.

Alcune gallerie (costruite tra gli anni '50 e '70) sono state rivestite interamente in cemento armato. Senza l'impermeabilizzazione totale dell'estradosso, il problema appare principalmente nelle zone umide e porose dove la carbonatazione è penetrata profondamente. La percolazione dell'acqua proveniente dal terreno circostante accelera la corrosione. L'espansione del metallo può quindi generare distaccamenti di cemento da 1 a 3 cm di spessore, creando un rischio per gli utenti piuttosto che per la struttura (questo deterioramento raramente colpisce l'intera galleria). La fessurazione preesistente non sembra mai essere la causa del deterioramento.

La perdita del copriferro in calcestruzzo espone le armature, che appaiono arrugginite. Il martellamento individua il problema prima che sia visibile (la risposta sonora sarà infatti vuota nella zona di calcestruzzo lungo la barra di armatura). Con l'evolversi del fenomeno è necessario prendere accorgimenti prima che si abbia il distacco di porzioni di calcestruzzo.

Questo deterioramento colpisce anche sottili elementi prefabbricati, dove il difetto può essere più rapido ed esteso rispetto al calcestruzzo spesso. La combinazione di copriferro insufficiente unita alla formazione di fessure da ritiro può rapidamente portare alla creazione del difetto in questione.

La figura 3 mostra il contorno dei rinforzi sull'intradosso di una porzione di parete. Fori per l'ispezione hanno confermato che il contorno è più marcato quando le armature sono superficiali (scarso copriferro) e che è assente quando le armature sono profonde più di 5 cm. Lungo il contorno si possono formare delle sottili aperture dovute al ritiro del calcestruzzo

Ci sono molte ragioni per cui il copriferro potrebbe essere insufficiente: installazione delle barre di armatura non corretta durante la costruzione, assenza di distanziatore tra le armature e la cassaforma durante il getto ecc



Figura 1: 2 a 3 cm di spessore di distacco a seguito della corrosione di un rinforzo (calcestruzzo dal 1963)



Figure 2: distacco in calcestruzzo più recente



Figure 3: contorno delle barre di armature visibile sul piedritto



Figure 4: distacco dovuto alla corrosione e al copriferro sottile

Deterioramento dello spritzbeton

RB-5

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Il calcestruzzo spruzzato può deteriorarsi in diversi modi:

- presenza di fessure da ritiro in tutte le direzioni,
- difetti nella copertura della rete saldata, che può essere visibile in alcune aree,
- spessore insufficiente, in particolare sulle rocce (presenza di "bordi" sporgenti),
- distacco superficiale del calcestruzzo su rete saldata, o altri elementi, ossidati e corrosi,
- l'adesione difettosa alla superficie o alla superficie rocciosa (aree che suonano vuote), porzioni di calcestruzzo possono staccarsi e cadere.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Ispezione uditiva (battitura con il martello) e Martellatura (per verificare l'adesione)

Parametri da misurare

Aree che suonano vuote (estensione e posizione) – L'adesione del calcestruzzo alla superficie

In particolare, sui bordi delle aree ricoperte dal calcestruzzo spruzzato) – Presenza di instabilità localizzate –

Spessore del calcestruzzo spruzzato (misurazione o stima) – Copriferro (misurazione o stima)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Infiltrazione d'acqua – Lunghezza fessure – Ampiezza fessure

Origini e possibili cause

Erronea pulizia della superficie prima dell'applicazione del calcestruzzo spruzzato (spruzzatura su superfici scarsamente pulite, dosaggio errato dei costituenti del calcestruzzo, variazioni significative di spessore)

– Scarsa qualità della superficie sottostante – Infiltrazione d'acqua – Drenaggio

difettoso Gonfiore del terreno (in particolare per calcestruzzo spruzzato non rinforzato)

Fattori aggravanti

Gonfiore del terreno dovuto all'infiltrazione d'acqua – cemento spruzzato in assenza di reti saldate o fibre (vecchie riparazioni)

Conseguenze, possibile evoluzione

Instabilità localizzata (porzioni di calcestruzzo spruzzato) – Deterioramento – Disintegrazione del calcestruzzo

Pericoli per gli utenti

Caduta di elementi

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Da minore a maggiore a seconda dell'intensità dei problemi e delle dimensioni delle aree interessate

Monitoraggio

Ispezione visiva (qualsiasi nuova fessura)

Ispezione uditiva

Martellamento (adesione)

Misure correttive

Pulizia delle parti instabili per garantire la sicurezza

Riparazione del rivestimento

Osservazioni

Vedi anche foglio ED-8 (deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili)

Il calcestruzzo spruzzato viene spesso utilizzato come supporto negli scavi, prima dell'installazione della membrana impermeabile e del rivestimento. Questo foglio riguarda solo il calcestruzzo spruzzato visibile che costituisce il rivestimento finale della galleria (nuova o riparata) e si applica a tutte le malte e calcestruzzi applicati mediante spruzzo.

In ordine cronologico, questi includono guniti, calcestruzzo spruzzato (non rinforzato o rinforzato con rete saldata), calcestruzzo spruzzato in fibra.

Guniti

Queste malte, che sono raramente rinforzate, vengono spruzzate in strati sottili (da 1 a 3 cm in media), con l'obiettivo di stabilizzare la superficie di uno scavo. Molto rapidamente si deteriorano, perciò le guniti non forniscono una protezione contro il distacco e la caduta di masse rocciose.

Calcestruzzo spruzzato

Utilizzati in vecchi tunnel come rinforzi, questi sono più spessi (da 5 a 15 cm) e di solito sono rinforzati con rete saldata attaccata alla roccia. La loro resistenza nel tempo è generalmente molto buona.

Il martello che batte il calcestruzzo spruzzato direttamente sulla roccia rivela sempre molte aree dal suono cavo. Non è sempre solo il calcestruzzo che suona vuoto, ma a volte è il calcestruzzo insieme alla roccia localmente distaccata. Poiché questo tipo di rivestimento sottile è spesso installato sulla superficie del terreno con coesione variabile, i difetti in termini di compattezza complessiva sono inevitabili, anche se l'adesione alla roccia è buona.

Si consiglia pertanto di verificare la presenza di quadri fessurativi che possano identificare la presenza di aree potenzialmente instabili. La situazione più critica è il gonfiore del terreno che il rivestimento non sarà più in grado di contenere causando il crollo del rivestimento.

Calcestruzzo fibrorinforzato spruzzato

Questi calcestruzzi contengono fibre metalliche o sintetiche. A volte vengono utilizzati in combinazione con la rete saldate. In generale la fessurazione è minore e più graduale.



Figura 1: copertura insufficiente della rete saldata (errore di costruzione)



Figura 2: cemento spruzzato su superficie umida (ritiro del calcestruzzo non armato)

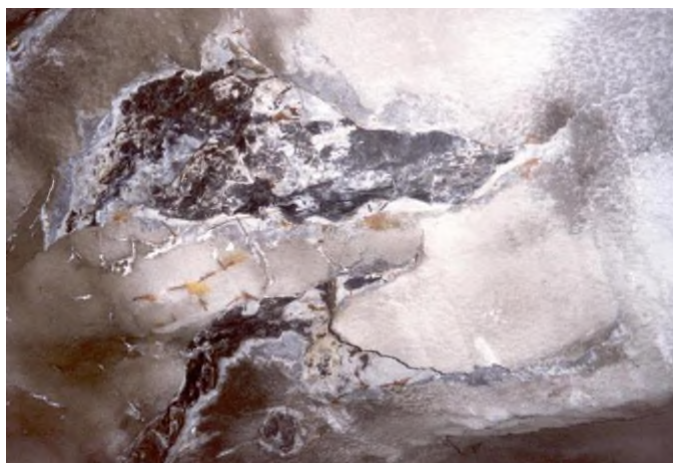


Figura 3: calcestruzzo spruzzato caduto da una sezione della calotta (combinazione di applicazione errata su un terreno umido e instabile di scisto sottoposto a congelamento prolungato)

8 DETERIORAMENTO DEI SISTEMI DI IMPERMEABILIZZAZIONE, DRENAGGIO E RACCOLTA ACQUE SUPERFICIALI

Elenco dei deterioramenti	Codice
Deterioramento dei sistemi di impermeabilizzazione, drenaggio e raccolta acque superficiali	
Deterioramento del drenaggio d'intradosso	ED-1
Deterioramento delle canalette di raccolta in calotta	ED-2
Deterioramento delle canalette di raccolta in carreggiata	ED-3
Deterioramento delle membrane impermeabilizzanti	ED-4
Deterioramento delle onduline	ED-5
Rigonfiamento delle membrane impermeabilizzanti	ED-6
Deterioramento dei rivestimenti in malta	ED-7
Deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili	ED-8
Deterioramento dei cordoli idroespandibili	ED-9

Deterioramento del drenaggio d'intradosso

ED-1

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Vari tipi di deterioramento possono influire sui sistemi di drenaggio installati sui rivestimenti delle gallerie originariamente progettate senza impermeabilizzazione all'estradosso o dove la membrana impermeabile esterna è difettosa. Potrebbero esserci danni, allentamenti, strappi, intasamenti o perdite.

Metodo di ispezione

Ispezione visiva
Video-endoscopia

Parametri da misurare

Ubicazione dei punti di perdita – Lunghezza delle linee umide – Possibile blocco mediante calcite o elementi fini– Altezza alla quale gli scarichi sono stati danneggiati o distrutti (spesso a seguito dell'impatto di un veicolo pesante) – Flusso d'acqua se è previsto un progetto di riparazione

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Deterioramento del rivestimento – umidità anomala

Origini e possibili cause

Costruzione scadente – Penetrazione di elementi fini a causa del deterioramento del rivestimento o dell'alterazione del terreno – Infiltrazioni d'acqua
Impatto da parte di un veicolo
Cause accidentali

Fattori aggravanti

Incidenti – Scarico sottodimensionato – Lunghi periodi di congelamento

Conseguenze, possibile evoluzione

Perdita di efficienza del drenaggio – Aumento della spinta idraulica sulla struttura – Cambiamenti nella posizione dell'infiltrazione dell'acqua o nuovo punto di infiltrazione.

Pericoli per gli utenti

Acqua o ghiaccio sulla carreggiata – Stalattiti di ghiaccio sopra le corsie del traffico

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Deterioramento dei materiali a causa della presenza di acqua (distacco di materiali sotto gli effetti di gelo/sgelo, corrosione di elementi metallici e impianti)

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Riparazione completa degli scarichi

Osservazioni

Analisi dell'acqua se è pianificato un progetto di riparazione

Ulteriori informazioni

Questi sistemi, installati all'intradosso, riguardano solo gallerie progettate senza impermeabilizzazione completa all'estradosso al fine di mitigare i problemi legati all'infiltrazione dell'acqua. Essi sono generalmente installati dopo la costruzione, sui giunti tra conci o su alcune fessure.
L'acqua incanalata da questi dispositivi deve essere raccolta.

Gli scarichi si deteriorano rapidamente in condizioni difficili, in particolare a causa dei distaccamenti causati dal congelamento o da un rapido intasamento con elementi fini trasportati dall'acqua.

Anche se raccolgono la maggior parte dell'acqua essi non costituiscono un sistema di impermeabilizzazione, ma semplicemente un sistema di raccolta che è ancora suscettibile a possibili perdite.

I sistemi removibili installati nelle gallerie stradali vengono raramente rimossi per la pulizia, perché molti di loro sono fissati al calcestruzzo del rivestimento. Inoltre, reinstallare un tubo di drenaggio all'interno del suo canale può essere difficile e causare nuove perdite, anche più gravi di quelle precedenti.

Nei climi rigidi, le perdite d'acqua da questi sistemi causano la formazione di ghiaccioli che devono essere rimossi quotidianamente. Durante questa operazione, il sistema potrebbe essere danneggiato o allentato.

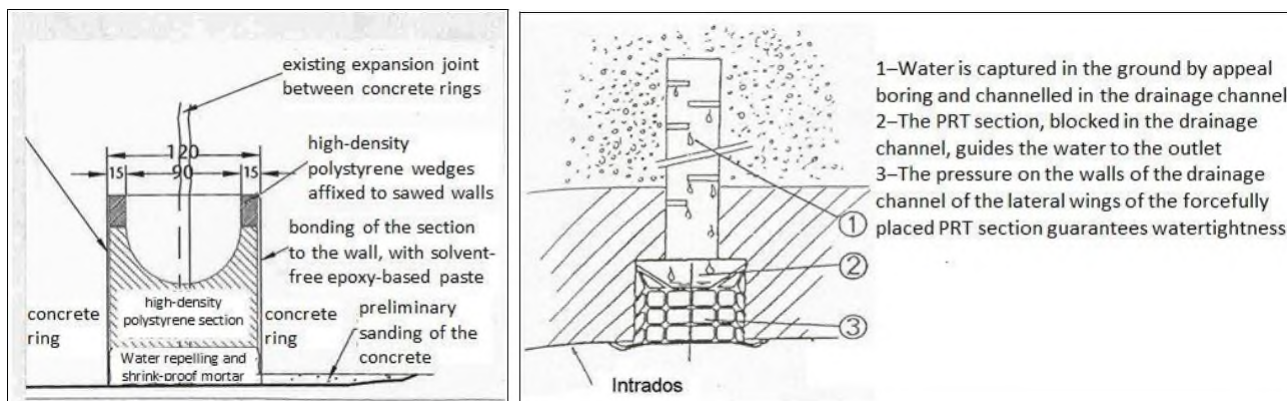


Figura 1: due tipi di sistemi di raccolta dell'acqua all'intradosso



Figura 2 : pannello di sigillatura allentato (il fondo del sistema di raccolta è stato distrutto dal congelamento ed è intasato)



Figura 3: striscia di sigillatura e giunzione rimovibile (qui giunto PRT e striscia di Hypalon) distrutti dallo sfregamento di veicoli pesanti



Figura 4: scarico inferiore in ancoraggio zincato, corrosivo e che perde

Deterioramento delle canalette di raccolta in calotta

ED-2

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Questi deterioramenti possono essere di diversi tipi:

1. blocco del sistema di drenaggio dovuto alla formazione di calcite o l'accumulo di materiale fine (visibile tramite video-endoscopia),
2. blocco delle tubazioni a causa di corpi estranei,
3. rottura degli scarichi (visibile solo tramite video-endoscopia).

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (osservazione degli sbocchi e del loro stato di congestione, condizione delle camere di ispezione).

Video-endoscopia

Parametri da misurare

Natura dei materiali visibili che causano il blocco (concrezioni di calci, depositi, detriti vari) – Quantità - Riduzione della larghezza dello scarico – Posizione delle ostruzioni nel sistema di drenaggio

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Umidità locale anormale – Infiltrazione d'acqua

Origini e possibili cause

Acqua con un contenuto di calcare elevato (roccia calcarea) – L'acqua è stata arricchita di carbonati mediante lisciviazione di calcestruzzo di supporto (gallerie recenti) – Difetti di costruzione

Fattori aggravanti

Congelamento – Mancanza di manutenzione

Conseguenze, possibile evoluzione

Perdita dell'efficienza di drenaggio – Carico idraulico locale – Pozzanghere visibili sulla carreggiata

Pericoli per gli utenti

Carreggiata umida/bagnata – Presenza di ghiaccio sulla carreggiata

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Nessuno

Monitoraggio

Ispezione visiva periodica (presso gli sbocchi)

Misure correttive

Pulizia con acqua pressurizzata

Pulizia più intensiva con fresa

Uso di compresse "anti-calcite" per sciogliere la calcite (da collocare nelle camere di ispezione)

Costruzione di un nuovo drenaggio che bypassa l'area bloccata

Osservazioni

Vedi anche foglio HY-2 (concrezioni)

Informazioni aggiuntive

Questo tipo di scarico si trova in gallerie dotate di una membrana impermeabile all'estradosso. È progettato per catturare l'acqua deviata dalla membrana impermeabile e indirizzarla in un tubo di raccolta. È incorporato nelle banchine, sotto la carreggiata (circa 1 m). È accessibile solo per la pulizia tramite le camere di ispezione che si trovano spesso in incavi appositamente costruiti nei piedritti.

A seconda dell'età del tunnel, può essere costituito da PVC rinforzato o elementi in polietilene. Il suo esame è al di fuori dell'ambito del classico controllo dettagliato perché può essere effettuato solo mediante video endoscopia.

Complessivamente, gli errori di costruzione rappresentano il 50% dei difetti.

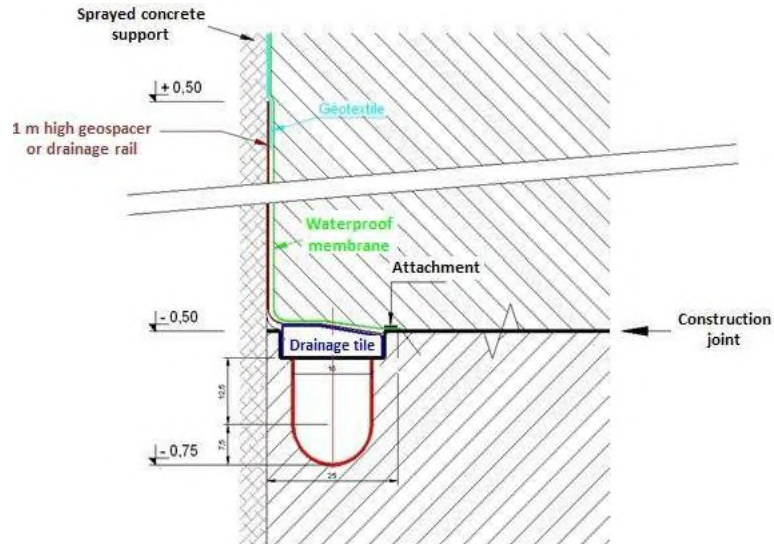


Figura 1: sezione di un canale di drenaggio alla base di una membrana impermeabilizzante

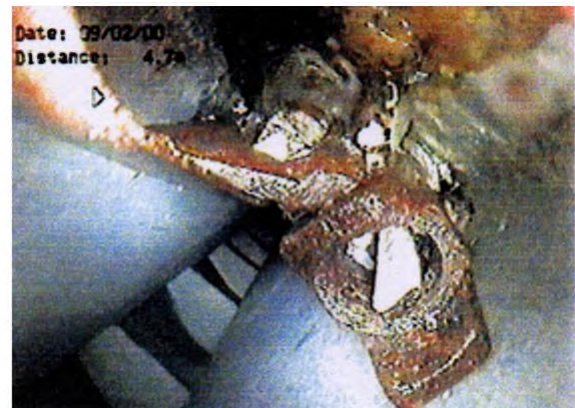


Figura 2: esempi di canali di drenaggio bloccati con detriti del sito (video-endoscopia)

Deterioramento delle canalette di raccolta in carreggiata

ED-3

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Gli scarichi della pavimentazione possono essere intasati, schiacciati o rotti; questi difetti sono visibili solo mediante endoscopia (quando possibile) e provocano umidità nella carreggiata, non legata all'acqua proveniente dal rivestimento, e dall'infiltrazione o dal ristagno di acqua in altre opere (pozzetti, collettori, ecc). Gli scarichi della pavimentazione non sono progettati per essere accessibili e curabili.

Metodo d'ispezione

Esame visivo (dagli sbocchi, se sono accessibili e tombini)
Video-endoscopia

Parametri da misurare

Tipo di riempimento (concrezioni di calcite dura, vari depositi) - Quantità (riduzione della sezione di drenaggio) - Incrinatura del pavimento (marciapiedi rigidi) - Posizione e superficie del pavimento colpite dall'umidità - Posizione e natura degli sbocchi (occasionale o diffuso, flusso sotto pressione)

Deterioramenti o difetti associati da guardare

Disturbi che interessano la carreggiata (crepe, rigonfiamenti...)

Origini e possibili cause

Contenuto di minerali nell'acqua, naturale o acquisita attraverso il calcestruzzo poroso che ricopre gli scarichi - Esecuzione - Errori di progettazione - Deformazione della struttura o del terreno circostante

Fattori aggravanti

Alterazioni nel terreno circostante - Mancanza di manutenzione

Conseguenze, possibile evoluzione

Perdita di efficienza di drenaggio - Carico idraulico locale - umidità visibile - Deterioramento della carreggiata dovuta alla risalita capillare dell'acqua.

Pericoli per gli utenti

Carreggiata locale umida o bagnata (con rischio di ghiaccio)

I rischi per il tunnel e la sua Elementi

Nessuno

Monitoraggio

Ispezione visiva periodica (presso gli sbocchi)
Monitoraggio e mappatura degli scarichi d'acqua e qualsiasi cambiamento di posizione

Misure correttive

Pulizia con acqua ad alta pressione (quando gli scarichi sono accessibili)
Uso di compresse per sciogliere la calcite (da collocare nelle camere di ispezione, se presenti) Costruzione di un nuovo scarico bypassando l'area bloccata

Osservazioni

Vedi anche foglio HY-2 (concrezioni)

Additional information

Gli scarichi sono installati nella fondazione della carreggiata (tra 0,5 e 1 m sotto la carreggiata finita) e coperti da calcestruzzo poroso. Sono progettati per raccogliere l'acqua nella carreggiata e inviarla a un tubo di raccolta.

Sono visibili solo presso gli sbocchi o nelle camere di ispezione. La loro progettazione non sempre consente la pulizia regolare.

Questo tipo di scarico raccoglie parte dell'acqua che percola attraverso gli aggregati del calcestruzzo (porosi o meno) presenti alle fondamenta della carreggiata. Viene arricchito con bicarbonato disciolto (dalla calce nel calcestruzzo), che viene immediatamente depositata in forma di carbonato (calcite) quando raggiunge lo scarico. Il deposito sarà maggiore se l'acqua proviene anche dalla roccia in cui predomina una componente calcarea. Dato di diametro ridotto (100 a 150 mm), questi scarichi si possono ostruire molto rapidamente.

Prima di ogni ispezione, i vari scarichi e tubi di raccolta devono essere individuati con precisione.

Quando si ispeziona la struttura, con l'aiuto di un operatore, è necessario cercare di rimuovere tutte le coperture delle camere di ispezione al fine di osservare gli sbocchi e il loro stato di congestione. Questo può rivelare i deterioramenti e la loro posizione nel tunnel. Qualsiasi umidità sulla carreggiata (non proveniente dal rivestimento) suggerisce un blocco in dello scarico.

Le concrezioni di calcare negli scarichi delle strade rappresentano il 75% dei blocchi; gli altri sono dovuti a depositi di materiali vari.

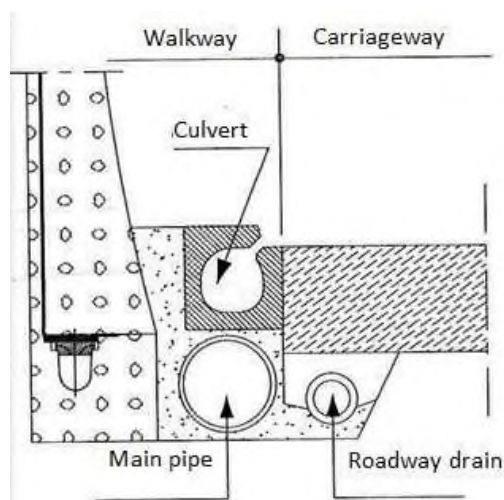


Figura 1: canale di drenaggio e suoi componenti



Figura 2: video-endoscopia di uno scarico in PVC bloccato da accumuli calcarei

Deterioramento delle membrane impermeabilizzanti

ED-4

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Danni (movimenti, strappi o pieghe) nella membrana impermeabile, che portano ad una discontinuità all'interno del calcestruzzo del concio. Quando il deterioramento è visibile, la membrana può essere vista su una superficie variabile durante la rimozione della casseforme all'intradosso; in caso contrario, un'area di calcestruzzo dal suono cavo può indicare un movimento o una piega nella membrana.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Ispezione uditiva (martellamento sistematico di tutto l'intradosso, anche se non sono visibili difetti)

Parametri da misurare

Posizione - superficie interessata

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Infiltrazione d'acqua – fessure umide – fessure larghe con schemi anomali – Crepe molto pronunciate e locali

Origini e possibili cause

Errori di esecuzione (membrana troppo tesa o non sufficientemente sovrapposta, ecc)

Fattori aggravanti

Infiltrazione d'acqua – Alterazione del terreno circostante

Conseguenze, possibile evoluzione

Comportamento anomalo del rivestimento a lungo termine (presenza di una discontinuità)

Pericoli per gli utenti

Nessuno

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Invecchiamento accelerato – Ulteriori deterioramenti se l'acqua è presente molto vicino all'intradosso (prolungato congelamento)

Monitoraggio

Ispezione visiva (comparsa di infiltrazione d'acqua all'intradosso)
Ispezione uditiva

Misure correttive

Riparazione eseguita in cantiere (cuciture, ripristino dell'impermeabilizzazione) se la membrana è visibile quando viene rimossa la cassaforma
Nessuna riparazione se il deterioramento non è visibile e se la struttura non presenta difetti correlati

Osservazioni

Vedere anche foglio MO-2 (vuoti superficiali nel rivestimento)

Additional information

Nei tunnel più recenti, le membrane impermeabili in PVC sono termo-sigillate e fissate nella roccia per evitare che l'acqua proveniente dalla massa rocciosa entri in contatto con il rivestimento principale. Tuttavia, l'infiltrazione d'acqua, e zone risonanti vuote, possono generarsi all'interno dei conci di calcestruzzo impermeabilizzati. Le cause principali sono:

1. Errori di esecuzione (numero insufficiente di punti di fissaggio): durante il getto di calcestruzzo si possono generare pieghe vicino alla cassaforma e generare un'area risonante vuota;
2. una membrana installata troppo "tesa": durante il getto di calcestruzzo si possono generare degli strappi nella membrana; il calcestruzzo passa poi dietro la membrana strappata, a volte ripiegandola

contro la cassaforma o nelle sue immediate vicinanze; in questo caso ci sarà una o più ampie aree risonanti vuote;

3. un elemento di supporto metallico, che inizia a strappare la membrana.

A seconda del metodo di fissaggio e del modo in cui vengono costruite le opere, la membrana danneggiata o spostata creerà discontinuità all'interno del calcestruzzo, o addirittura indebolirà localmente un concio. A medio o lungo termine, questi deterioramenti locali possono accelerare l'invecchiamento della struttura, indipendentemente dal fatto che la membrana sia forata o meno.

Una volta eseguito il getto, la membrana non potrà essere ispezionata, a meno che non venga riportato sulla superficie inferiore e visibile quando viene rimossa la cassaforma o se lo spessore del calcestruzzo davanti alla membrana è inferiore a dieci centimetri (suono vuoto al martellamento)



Figura 1: membrana ripiegata (area di suono vuoto localizzata)

Deterioramento delle onduline

ED-5

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Ci possono essere:

1. deformazioni dovute a Impatti
2. perforazioni dovute all'ossidazione,
3. la rottura degli ancoraggi a causa della corrosione.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (osservazione dello spazio tra la lastra e il rivestimento o la roccia)
Monitoraggio (verifica manuale se gli elementi del foglio sono allentati)

Parametri da misurare

Ubicazione – Superficie – Grado di ossidazione degli ancoraggi – Grado di ossidazione delle lamiere (perdita della galvanizzazione) o deterioramento (altri materiali) – Allineamento o sovrapposizione non corretta di onduline

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Presenza di materiali caduti all'estradosso delle onduline (stima del volume del distacco se possibile)
– Deterioramento del rivestimento del tunnel – Infiltrazione d'acqua

Origini e possibili cause

Degrado e corrosione varie – Impatti – Rocce o elementi di rivestimento che si distaccano e cadono sulle onduline –
Infiltrazione d'acqua

Fattori aggravanti

Sezione trasversale ridotta della galleria (favorendo gli impatti dei veicoli pesanti)
– ancoraggi datati e ossidati/corrosi

Conseguenze, possibile evoluzione

Rottura degli ancoraggi che porta ad elementi allentati o distacco Ingresso d'acqua sulla carreggiata

Pericoli per gli utenti

Danni ai veicoli di grandi dimensioni
Rischio di caduta di elementi

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Continua evoluzione di difetti sia per l'ondulina che per il rivestimento

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Sostituzione di elementi e/o ancoraggi

Osservazioni

Additional information

Il termine generico "onduline" comprende onduline di rivestimento in metallo zincato, fibrocemento o plastica. Essi comprendono elementi sottili, spesso ondulati e piegati all'intradosso del rivestimento. Le onduline sono

raramente direttamente collegate alla superficie. Lo spaziatura tra rivestimento e ondulina può essere anche di 5 cm.

Questo processo, è ancora utilizzato in molte gallerie nelle zone più umide, o in presenza di infiltrazioni d'acqua, per evitare che l'acqua cada sulla carreggiata.

Oltre alla loro vulnerabilità, le onduline hanno lo svantaggio di nascondere alcuni deterioramenti correlati all'umidità. In caso di dubbi sulla stabilità del rivestimento (o scavo), uno o più fogli devono essere rimossi durante l'ispezione.



Figura 1: distacco di un'ondulina metallica e rottura dell'ancoraggio



Figura 2: pannelli in fibra di cemento (ossidazione significativa degli ancoraggi con un elemento in parte distaccato)

Rigonfiamento delle membrane impermeabilizzanti

ED-6

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Sotto la pressione dell'acqua sulla membrana impermeabile possono apparire delle "bolle"; queste possono scoppiare sotto l'effetto di pressione o congelamento. Inoltre, dopo alcuni anni, i prodotti utilizzati per costruire le membrane perdono la loro elasticità e diventano fragili.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Parametri da misurare

Posizione – Superficie – Presenza di acqua pressurizzata nelle bolle – Adesione della membrana alla superficie sottostante

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Deterioramento del substrato dove la membrana è danneggiata (calcestruzzo ammalorato, armature ossidate, crepe) – Infiltrazione d'acqua

Origini e possibili cause

Invecchiamento dei materiali componenti la membrana – Allentamento, pressurizzazione, scoppio sotto l'effetto di notevoli volumi d'acqua - congelamento

Fattori aggravanti

Substrato umido quando la membrana è stata installata – lunghe fessure – larghe fessure – Scarsa qualità del materiale utilizzato per le membrane

Conseguenze, possibile evoluzione

Infiltrazioni d'acqua e concrezioni

Pericoli per gli utenti

Ingresso di acqua sulle corsie riservate al traffico – Carreggiate bagnate

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Deterioramento più rapido del rivestimento a causa della saturazione permanente con acqua dietro la membrana

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Pulizia a pressione
Rimozione di aree di membrana molto danneggiata
Trovare un'altra soluzione di impermeabilizzazione locale o globale a seconda dell'entità del deterioramento e delle portate di infiltrazione d'acqua

Osservazioni

Ulteriori informazioni

L'elevata umidità di alcuni vecchi tunnel, pericolosa per la salute della galleria e per gli utenti, ha portato all'implementazione di membrane impermeabilizzanti sotto forma di sottili pellicole di resina poliuretanic (da 1 a 2 mm al massimo), poste all'intradosso del rivestimento. I difetti appaiono rapidamente a causa della pressione dell'acqua che agisce tra il rivestimento e la membrana. A seconda della qualità della sua adesione ed elasticità, che si deteriorano inevitabilmente nel tempo, la membrana si separa dal rivestimento (previa formazione di bolle sotto pressione), quindi si strappa.

Il risultato è un intradosso che è nuovamente bagnato, ma più difficile da pulire. Gli afflussi di acqua riprendono. Dove queste membrane non si distaccano continuano a mantenere il substrato permanentemente saturo, ciò è altamente dannoso in caso di congelamento. Anche se questa tecnica è adatta per i serbatoi, non è adatta per le gallerie e non è più utilizzata.

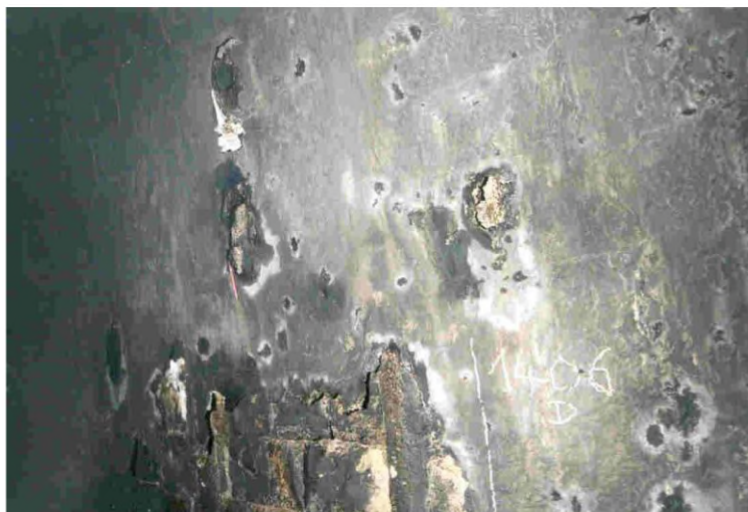


Figura 1: deterioramento di una membrana di resina installata su rivestimento in muratura

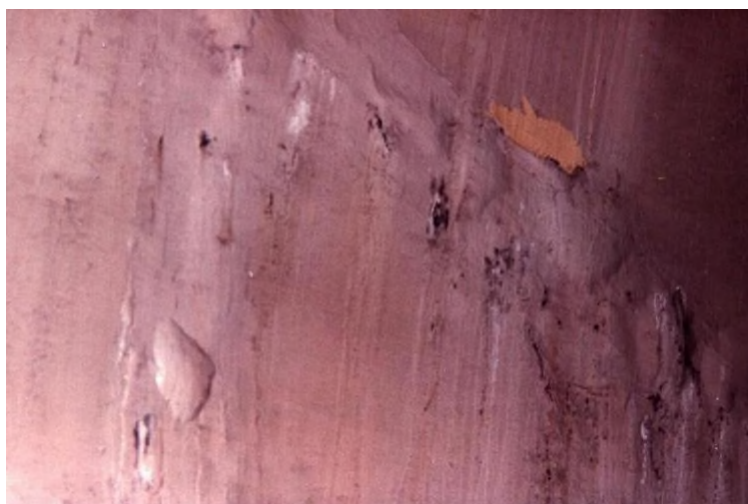


Figura 2: bolle nella membrana riempite con acqua in pressione



Figura 3: rottura della membrana sotto gli effetti del congelamento

Deterioramento dei rivestimenti in malta

ED-7

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

I deterioramenti nei rivestimenti di malta sottile sono indicati da:

1. aderenza difettosa al substrato (suono vuoto alla battitura),
2. Ampio quadro fessurativo,
3. distacco di frammenti di rivestimento in malta.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Ispezione uditiva mediante colpi leggeri di martello

Parametri da misurare

Posizione e superfici (aree suonanti vuote alla martellatura, aree con "bolle", aree con malta già distaccata) - Spessore medio della malta - Presenza di reti saldate di rinforzo - Adesione della malta - Presenza di fessure

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Infiltrazioni d'acqua localizzate – quadri fessurativi importanti – Efflorescenze

Origini e possibili cause

L'invecchiamento della malta – Differenza nell'inerzia termica tra la malta e il materiale utilizzato per il rivestimento della galleria

Fattori aggravanti

Presenza di acqua – Congelamento – Scarsa qualità del substrato e/o della malta

Conseguenze, possibile evoluzione

Diffusione di aree distaccate – fessurazione della malta sotto il proprio peso – Caduta di frammenti

Pericoli per gli utenti

Caduta di parti di malta anche di grandi dimensioni che, a causa dell'adesione, possono portare con sé parte del substrato (rivestimento della galleria)

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Rischio minimo per il rivestimento della galleria

Monitoraggio

Ispezione visiva
Ispezione uditiva

Misure correttive

Rimozione preventiva di elementi pronti al distacco (in caso di pericolo)
Riparazione dell'area danneggiata

Osservazioni

Informazioni aggiuntive

I rivestimenti sottili in malta (da 1 a 3 cm) vengono talvolta installati dopo la costruzione del rivestimento per fornire un certo livello di tenuta all'acqua o, molto più tardi come misura correttiva, applicata su un rivestimento troppo umido o deteriorato a una velocità anormalmente rapida. La loro formulazione ad alto contenuto cementizio dà loro compattezza e un certo livello di impermeabilità.

Essi possono deteriorarsi in diversi modi:

1. graduale perdita di adesione al substrato a causa della sua scarsa qualità, l'azione dell'acqua intrappolata dal rivestimento o l'azione del congelamento
2. fessurazione dovuta ad una rigidità o comportamento termico rispetto al substrato
3. attacco chimico interno dal substrato, generando gonfiore che allenta il rivestimento;
4. caduta di grandi pezzi di malta che spesso sono applicati in assenza di reti saldate a rinforzo (se lo sono, è spesso con reti a maglia fine che si ossidano completamente).

Quando si allenta, il rivestimento può portare con esso parte del substrato deteriorato. L'ispezione richiede quindi alcune precauzioni.



Figura 1: rivestimento allentato su calcestruzzo vecchio



Figura 2: malta distaccata e caduta (rivestimento della galleria in mattoni)

Deterioramento dei pannelli isolanti impermeabili

ED-8

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

I pannelli isolanti impermeabili sono protetti dal rivestimento per cui non sono visibili. Il deterioramento principale è dovuto all'umidità che in seguito danneggia il rivestimento sul bordo della zona impermeabilizzata (spesso nella parte inferiore del pannello).

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva

Parametri da misurare

Posizione – Area interessata dal problema – Velocità dell'infiltrazione dell'acqua

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Fessurazione

Origini e possibili cause

Errori di esecuzione durante il montaggio – perforazione accidentale durante l'installazione – distacco durante l'applicazione del calcestruzzo spruzzato.

Fattori aggravanti

Ingresso di acqua pressurizzata – Impatti dei veicoli sul rivestimento protettivo del pannello applicato all'intradosso.

Conseguenze, possibile evoluzione

Perdita della capacità di impermeabilizzazione – Perdita dell'effetto isolante (tipico in gallerie esposte a congelamento significativo e prolungato)

Pericoli per gli utenti

In caso di congelamento, la formazione di ghiaccio e stalattiti lungo le infiltrazioni d'acqua

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Nessuno (se nessun altro deterioramento)

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Impermeabilizzazione localizzata tramite iniezione, se possibile o l'implementazione di un'altra tecnica per limitare le infiltrazioni d'acqua.

Osservazioni

Proteggersi dai rischi di intasamento dei sistemi di drenaggio in atto

Informazioni aggiuntive

Pannelli isolanti impermeabili sono stati utilizzati per riparare gallerie situate in siti particolarmente freddi. Costituiti da fogli di schiuma o pannelli (3 a 5 cm di spessore), incollati e fissati alla massa rocciosa tramite bullonature, questi sistemi a tenuta d'acqua sono progettati per proteggere contro l'ingresso dell'acqua e fornire isolamento termico per prevenire la formazione di ghiaccio. Sono protetti all'intradosso mediante lamiera (protezione contro atti vandalici e veicoli) o da un rivestimento in calcestruzzo spruzzato e maglia saldata. In quest'ultimo caso, l'umidità può ripresentarsi, a causa di errori in fase di montaggio, di difetti di incollaggio localizzati o di allentature durante l'applicazione del calcestruzzo spruzzato.

Le ispezioni dimostrano che la tenuta dell'acqua non è mai completamente garantita, il che significa che nel tempo è necessario un lavoro di impermeabilizzazione occasionale (e difficile).

Questa tecnica di riparazione è stata sostituita da gusci autostabilizzanti o altre tecniche che garantiscono una completa tenuta d'acqua.

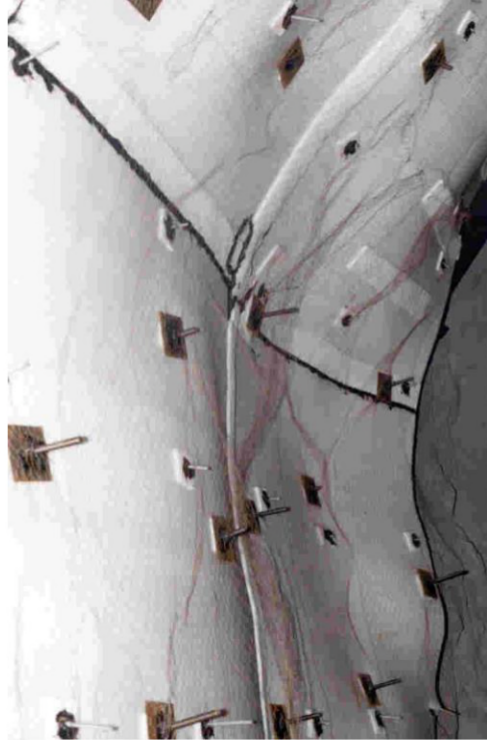


Figura 1: impermeabilizzazione (Ethafoam) installata prima della rete saldata e applicazione del calcestruzzo spruzzato



Figura 2: stesso tunnel dopo alcuni anni di esercizio

Deterioramento dei cordoli idroespandibili

ED-9

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Questi cordoli sono incorporati nel calcestruzzo durante le riprese di getto al fine di evitare la circolazione di acqua o la presenza di umidità.

Si gonfiano a contatto con l'acqua, assicurando così che la ripresa di getto applicata in situ sia a tenuta stagna. I difetti che compaiono sono dovuti ad errori in fase di esecuzione. Le sollecitazioni generate nel calcestruzzo dal rigonfiamento dei cordoli possono provocare il distacco del calcestruzzo su uno spessore superiore a 10 cm.

Metodo di ispezione

Ispezione visiva
Ispezione uditiva tramite martellamento

Parametri da misurare

Posizione – Dimensioni e profondità dei distacchi – Ingresso acqua – Estensione delle aree in cui sono visibili le armature – Grado di corrosione delle armature – dimensione aree dal suono vuoto

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Fessurazioni – Deviazione dell'allineamento del giunto

Origini e possibili cause

Errori in fase di esecuzione

Fattori aggravanti

Scarsa qualità del calcestruzzo – Mancanza di armatura

Conseguenze, possibile evoluzione

Esposizione e corrosione delle armature – distacchi del calcestruzzo – Infiltrazioni d'acqua

Pericoli per gli utenti

Detriti che possono cadere sulla carreggiata

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Indebolimento locale della struttura (perdita di spessore, corrosione delle armature, ecc.)

Monitoraggio

Ispezione visiva
Ispezione uditiva tramite martellamento

Misure correttive

Reinstallazione del cordolo o installazione di un nuovo cordolo, a seconda delle condizioni di installazione possibile applicazione di passivante sulle armature e ricostruzione del copriferro

Osservazioni

Cordoli idroespandibili devono essere utilizzati con molta cura, rispettando scrupolosamente condizioni di installazione.

Ulteriori informazioni

I cordoli idroespandibili sono progettati per limitare l'infiltrazione d'acqua attraverso giunti in calcestruzzo gettati in situ. Il loro utilizzo è generalmente limitato al lavoro di riparazione o quando si collega una nuova galleria ad una esistente.

Le pareti in cui possono essere applicati devono essere non meno di 20 cm di spessore. I cordoli idroespandibili devono sempre essere posati nell'asse del giunto di costruzione. Essi non devono essere a contatto con il tubo di calcestruzzo o con il vibratore, e il calcestruzzo non deve essere versato direttamente sui cordoli.

I deterioramenti che si sono verificati sono dovuti ad errori in fase di costruzione.

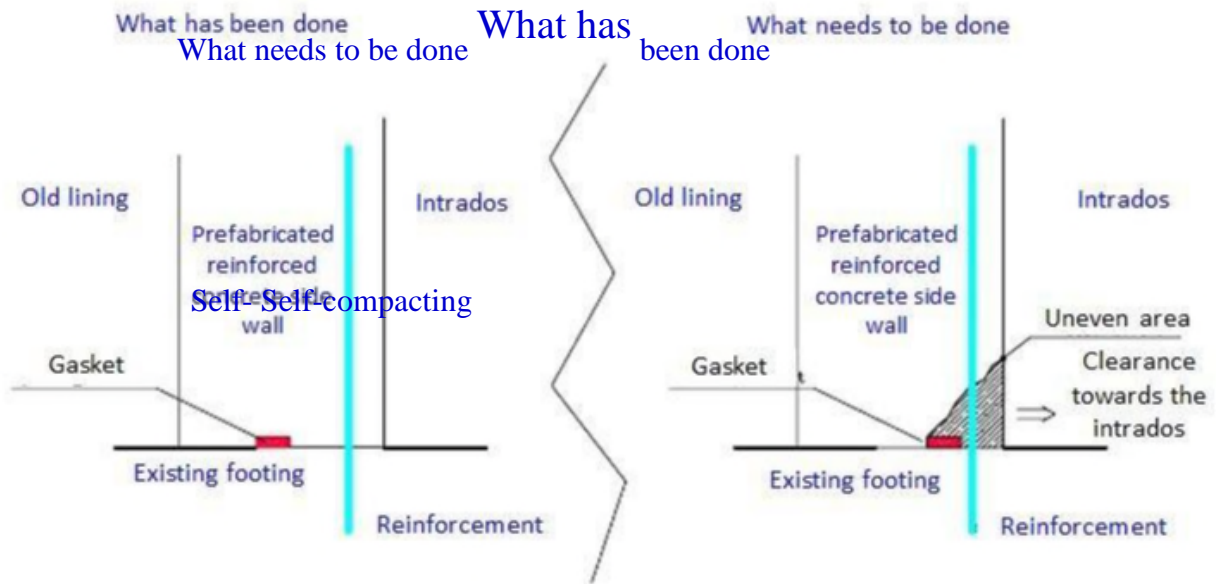


Figure 1: diagramma esplicativo dei deterioramenti



Figure 2: distacco di calcestruzzo lung oil giunto tr ail marciapiede e il piedritto

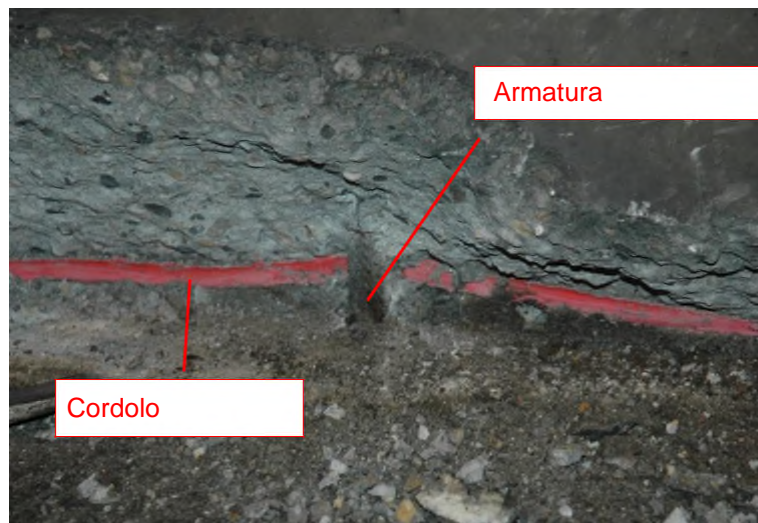


Figure 3: esposizione di armature di fronte al giunto

9 DIFETTI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E DELLA GEOMETRIA DELLA GALLERIA - FESSURE

Elenco dei difetti	Codice
Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria - Fessure	
Fessure orizzontali	FI-1
Fessure diagonali	FI-2
Fessure verticali	FI-3
Fessure da ritiro	FI-4
Fessure curvilinee (mezzaluna)	FI-5

Fessure orizzontali

FI-1

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Queste fessure hanno direzione parallela all'asse longitudinale della galleria.

Muratura: tendenzialmente si generano lungo i letti di malta

Calcestruzzo gettato: la larghezza è generalmente maggiore rispetto alle fessure da ritiro.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva e manuale

Parametri da caratterizzare

Numero di fessure – Estensione (indicare la progressiva metrica di inizio e di fine) – Larghezza
- Deterioramenti ai bordi delle fessure – Determinare se le fessure passano lungo i letti di malta o attraverso i blocchi di muratura (o pietra) – Determinare se le fessure interessano un singolo concio o più consecutivi

Difetti associati di cui valutare la presenza

Deformazione del rivestimento – aree risuonanti vuote – distacchi di calcestruzzo o mattoni (o pietre)

– fessure anomale o deformazioni del fondo stradale

Origini e possibili cause

fessure legate ad un'evoluzione dei materiali del rivestimento, con o senza influenza della terreno circostante

Fattori aggravanti

Rivestimento deteriorato (qualità delle pietre e malta o calcestruzzo) – Vuoti all'estradosso

Conseguenze, possibile evoluzione

Indebolimento dell'area circostante la fessura, quindi della calotta

Aumento della larghezza della fessura

Comparsa di nuove fessure

Distacco di blocchi

Pericoli per gli utenti

Basso (inesistente in caso di fessure di piccole dimensioni e isolate)

I rischi per il tunnel e la sua Elementi

Indebolimento

Monitoraggio

Ispezione visiva (la cui frequenza è da adattare alla dimensione del fenomeno)

Misurazioni regolari della larghezza della fessura (con fessurimetro, calibro)

Monitoraggio della deformata del profilo (se presente è sintomo di grave difettosità)

Misure correttive

Nessuna azione da intraprendere finché l'intera struttura non mostra alcun segno di rapida deformazione o instabilità

Osservazioni

Vedere anche fogli FI-4 (fessure da ritiro) e DF-1 (Abbassamento in chiave – innalzamento in chiave – deformazione asimmetrica)

Informazioni aggiuntive

Le fessure longitudinali si possono sviluppare lungo la galleria in qualsiasi punto della sezione trasversale. Le zone in cui è presente il difetto possono indicare i punti intorno a cui sta avvenendo una deformazione del rivestimento.

Fessure su rivestimenti in muratura:

Questo tipo di fessura si verifica quasi esclusivamente sui letti di malta, che si aprono sotto l'effetto della deformazione. La malta spesso è presente. La fessura in calotta indica l'appiattimento del profilo, mentre la compressione laterale le farà apparire in corrispondenza del rene.

Fessure sui rivestimenti in calcestruzzo:

Possono formarsi su fessure già presenti dovute al ritiro (generalmente quelle da ritiro sono più sottili) che si riattivano, allargandosi, a causa di deformazioni avvenute durante l'esercizio dell'opera o in corrispondenza di giunti costruttivi.



Figura 1: fessura orizzontale a seguito della deformazione della muratura



Figura 2: crepa orizzontale in calcestruzzo gettato correlata alla deformazione del rivestimento sotto la spinta del terreno circostante

Fessure diagonali	FI-2
Descrizione (evidenze della presenza del difetto)	
<p>Chiamate anche fessure oblique, la loro direzione è diagonale rispetto all'asse longitudinale della galleria. Raramente è presente una singola fessura, ma spesso diverse in successione. <u>Muratura</u>: le fessure spesso seguono i letti di malta e alla vista appaiono a "scaletta" <u>Calcestruzzo gettato</u> : La larghezza delle fessure è generalmente maggiore rispetto a quelle da ritiro.</p>	
Metodo d'ispezione	
Ispezione visiva e manuale	
Parametri da misurare	
<p>Estensione (indicate la progressiva metrica di inizio e di fine) – Larghezza - Deterioramenti ai bordi delle fessure – Determinare se le fessure passano lungo i letti di malta o attraverso i blocchi di muratura (o pietra) – Determinare se le fessure seguono o meno le riprese di getto o interventi di ripristino.</p>	
Deterioramenti o difetti associati da guardare	
<p><u>Muratura</u>: Deformazione del rivestimento – zone risonanti vuote – deterioramento di mattoni o pietre <u>Muratura e calcestruzzo</u>: Formazione di porzione di rivestimento instabile (se le fessure si intersecano) – rottura di spigoli – fessure o deformazioni sulle carreggiate</p>	
Origini e possibili cause	
<p>Fessure di origine patologica spesso legata ad un'azione del terreno circostante – cedimenti differenziali - Deformazione della calotta per torsione o taglio obliquo rispetto all'asse longitudinale</p>	
Fattori aggravanti	
Rivestimento deteriorato – Vuoti all'estradosso	
Conseguenze, possibile evoluzione	
<p>Indebolimento dell'area circostante la fessura Formazione di porzioni di rivestimento instabile situato tra diverse fessure successive Rottura del rivestimento</p>	
Pericoli per gli utenti	
Basso (inesistente in caso di fessure di piccole dimensioni e contenute)	
I rischi per il tunnel e la sua Elementi	
Indebolimento o rottura localizzata	
Monitoraggio	
<p>Ispezione visiva (la cui frequenza è da adattare alla dimensione del fenomeno) Misurazioni regolari della larghezza della fessura (con fessurimetro, calibro) Monitoraggio della deformata del profilo (se presente è sintomo di grave difettosità)</p>	
Misure correttive	
<p>Nessuna azione da intraprendere finché l'intera struttura non mostra alcun segno di rapida deformazione o instabilità</p>	
Osservazioni	

Informazioni aggiuntive

Le fessure diagonali, chiamate anche oblique, sotto forma di una singola fessura o diverse fessure in successione, spesso deriva da una deformazione torsionale della galleria. Le crepe diagonali hanno una direzione lineare o possono essere la combinazione di fessure verticali e orizzontali (come ad esempio nei rivestimenti in muratura dove le fessure seguono la posizione dei letti di malta).

Questo deterioramento deve essere tenuto sotto osservazione perché può indicare la presenza di gravi problematiche per la galleria (inclinazione di un portale, cedimenti delle fondazioni, instabilità dei pendii ecc).

Nel calcestruzzo non armato, la fessurazione può verificarsi su una fessura da ritiro preesistente, riattivata da una deformazione della struttura avvenuta durante la vita dell'opera. Le fessure si allargheranno (diventando più ampie delle tipiche fessure da ritiro).



Figura 1: presenza di fessure diagonali, su rivestimento in calcestruzzo, dovute alla spinta del terreno sovrastante (una porzione di rivestimento si è distaccata cadendo sulla carreggiata – la galleria è stata chiusa pochi anno dopo)

Fessure verticali

FI-3

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Le fessure verticali possono apparire in qualsiasi sezione della galleria. La loro direzione è perpendicolare all'asse longitudinale della galleria

Muratura : le fessure generalmente seguono i letti di malta o giunti costruttivi

Calcestruzzo gettato: La larghezza delle fessure è generalmente maggiore rispetto a quelle da ritiro.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva e manuale

Parametri da misurare

Numero di fessure - Lunghezza – Larghezza – Posizione rispetto alla progressiva metrica - Deterioramenti ai bordi delle fessure – Determinare se le fessure passano lungo i letti di malta o attraverso i blocchi di muratura (o pietra)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Deformazione del rivestimento – zone risonanti vuote – Pietre deteriorate - Fessure o deformazioni sulle carreggiate

Origini e possibili cause

Difetto abbastanza comune delle arpe di collegamento (muratura) – Deformazione o variazione dello spessore del rivestimento –errori in fase di esecuzione (rimozione casseforme) – cedimenti differenziali

Fattori aggravanti

Rivestimento deteriorato – Evoluzioni e deformazioni del terreno circostante

Conseguenze, possibile evoluzione

Indebolimento dell'area circostante la fessura
Ampliamento delle fessure
Aumento delle irregolarità / disallineamento

Pericoli per gli utenti

Basso (inesistente in caso di fessure di piccole dimensioni e contenute)

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Indebolimento

Monitoraggio

Ispezione visiva (la cui frequenza è da adattare alla dimensione del fenomeno)
Misurazioni regolari della larghezza della fessura (con fessurimetro, calibro)
Monitoraggio della deformata del profilo (se presente è sintomo di grave difettosità)

Misure correttive

Nessuna azione da intraprendere finché l'intera struttura non mostra alcun segno di rapida deformazione o instabilità

Osservazioni

Vedere anche foglio FI-4 (fessure da ritiro)

Informazioni aggiuntive

Apparendo per lo più in un piano perpendicolare all'asse longitudinale della galleria, le fessure verticali possono essere isolate e continue, o apparire come una serie di fessure successive. Questo tipo di fessura può verificarsi nelle immediate vicinanze di un portale (a causa della variazione dello spessore del

rivestimento, o cedimenti), ma anche nelle zone interne (a causa dell'influenza del terreno circostante).

Occorre determinare se appaiono su una discontinuità sottostante (per esempio lungo i letti di malta delle murature) o se sono causati da qualcos'altro.

Nel calcestruzzo non armato, la fessurazione può verificarsi su una fessura da ritiro preesistente, riattivata da una deformazione della struttura avvenuta durante la vita dell'opera. Le fessure si allargheranno (diventando più ampie delle tipiche fessure da ritiro).



Figura 1: crepa verticale combinata con una crepa diagonale

Fessure da ritiro

FI-4

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Si trattano di sottili fessure la cui lunghezza aumenta nel tempo (visibile da 0,1 mm).
Su rinforzi in calcestruzzo non armato la larghezza difficilmente supera i 3 mm.

In caso di deformazione del profilo del tunnel, alcune fessure possono aprirsi per motivi strutturali. In questo caso sono da considerarsi fessure orizzontali, diagonali o verticali (come definite nelle schede precedenti) e non fessure da ritiro.

Metodo d'ispezione

Ispezione ravvicinata con l'ausilio di una potente fonte di illuminazione

Parametri da misurare

Posizione – Quantità – distanza fra le fessure e ampiezza delle stesse – Larghezza

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Infiltrazioni d'acqua attraverso le fessure (tunnel senza membrana impermeabile all'estradosso) – suono vuoto alla battitura – Umidità

Origini e possibili cause

Il ritiro si verifica con il normale invecchiamento del calcestruzzo. fessure causate da ritiro nel calcestruzzo non costituiscono un deterioramento o un difetto.
Il livello di ritiro è legato ai materiali utilizzati per il mix design e all'esecuzione

Fattori aggravanti

Scarsa qualità del calcestruzzo o, al contrario, alto dosaggio di cemento – Infiltrazioni d'acqua – Cicli di gelo-disgelo – Sollecitazioni sul rivestimento

Conseguenze, possibile evoluzione

Deterioramento del calcestruzzo causato dall'infiltrazione dell'acqua (tunnel senza membrana impermeabile All'estradosso) – Corrosione delle armature – Restringimento o allargamento delle crepe in caso di deformazione del profilo

Pericoli per gli utenti

Nessun pericolo

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Nessun rischio

Monitoraggio

Ispezione visiva
Mappatura delle fessure
Misurazione delle lunghezze delle fessure
Monitoraggio se una crepa inizialmente attribuita al ritiro si allarga in modo anomalo

Misure correttive

Nessuna riparazione (ad eccezione dell'iniezione di resina per scopi impermeabilizzanti)

Osservazioni

Vedi anche fogli FI-1 (fessure orizzontali) e FI-3 (fessure verticali)

Informazioni aggiuntive

La fessura da ritiro non è in realtà un deterioramento in quanto tale. Indica la riduzione del volume che accompagna l'essiccazione del calcestruzzo e la presenza di un vincolo che ne ostacola il ritiro.
Tuttavia, questa fessurazione si presenta in modo diverso a seconda dell'età o del tipo di calcestruzzo, e le ispezioni del rivestimento evidenziano la presenza di deterioramenti dovuti alla presenza di queste fessure.

La loro descrizione, anche se di base, deve permettere di distinguere le fessure da ritiro con le fessure orizzontali, verticali o diagonali.

Calcestruzzo gettato "moderno" non armato

La sua composizione è spesso ben controllata; la vibrazione consente una buona omogeneizzazione del contenuto del getto all'interno del cassero. Ha una buona compattezza e un aspetto uniforme sulla superficie. Le crepe da ritiro sono quindi facilmente identificabili, nonostante la loro dimensione fine (da 0,1 a 0,3 mm inizialmente, quindi da 1 a 3 mm dopo diversi anni).

Figura 1 illustra alcune delle forme tipiche che prende:

1. fessure verticali (1) si sviluppano dal fondo del piedritto; dopo alcuni anni, possono unirsi con crepe orizzontali;
2. le fessure orizzontali (2) indicano il restringimento della massa di calcestruzzo nel piano perpendicolare all'asse longitudinale della galleria.

In tutte le gallerie ispezionati fino ad oggi, le fessure da ritiro più ampie (generalmente grandi fessure orizzontali) si stabilizzano ad una larghezza di circa 2-3 mm, a seconda delle dimensioni della superficie dell'intradosso. Qualsiasi maggiore larghezza è sospetta e richiede eventualmente l'uso di strumentazione di monitoraggio.

Si nota che nei rivestimenti recenti protetti da una membrana impermeabile all'estradosso ci sono meno fessure rispetto al passato. Ciò può essere spiegato da rotture del fondo di scavo attenuate dal calcestruzzo spruzzato utilizzato come supporto, la presenza di materiali impermeabilizzanti che limitano il restringimento, la migliore attenzione durante il getto e l'utilizzo di materiali migliori.

La fessurazione da ritiro non si sviluppa sotto forma di crepe continue, ma può apparire come una fessura ampiamente distanziata e discontinua.

Calcestruzzo gettato "vecchio" non armato

La composizione (alto contenuto di acqua) e la scarsa attenzione durante il getto, ma anche spessori irregolari e l'assenza di membrane impermeabili, sono i principalmente responsabili della comparsa di queste fessure. In assenza di impermeabilizzazione l'infiltrazione d'acqua attraverso le fessure può portare ad altri deterioramenti.

La porosità e l'eterogeneità significative del calcestruzzo più vecchio fanno sì che le fessure da ritiro si diffondano lungo tutta la superficie le fessure stesse siano meno visibili.

Calcestruzzo armato

La presenza di armature limita la formazione di fessure da ritiro. Spesso però si notano fessure fini in corrispondenza delle armature stesse.

Calcestruzzo spruzzato

Il fenomeno del ritiro agisce anche su questo calcestruzzo spesso sottile, ma varia in modo significativo. La presenza di una rete saldata non elimina completamente la fessurazione dovuta a ritiro. Il calcestruzzo spruzzato fibrorinforzato ha poche o nessuna fessura.

Quando il calcestruzzo viene spruzzato su una membrana completamente impermeabile, con una superficie più uniforme, la fessurazione da ritiro non scompare. Lo sviluppo delle fessure dipende dalla composizione del calcestruzzo e dalle sue condizioni al momento dell'applicazione.

Quando il calcestruzzo spruzzato a secco viene applicato correttamente, il restringimento è limitato a causa di un contenuto d'acqua molto basso.

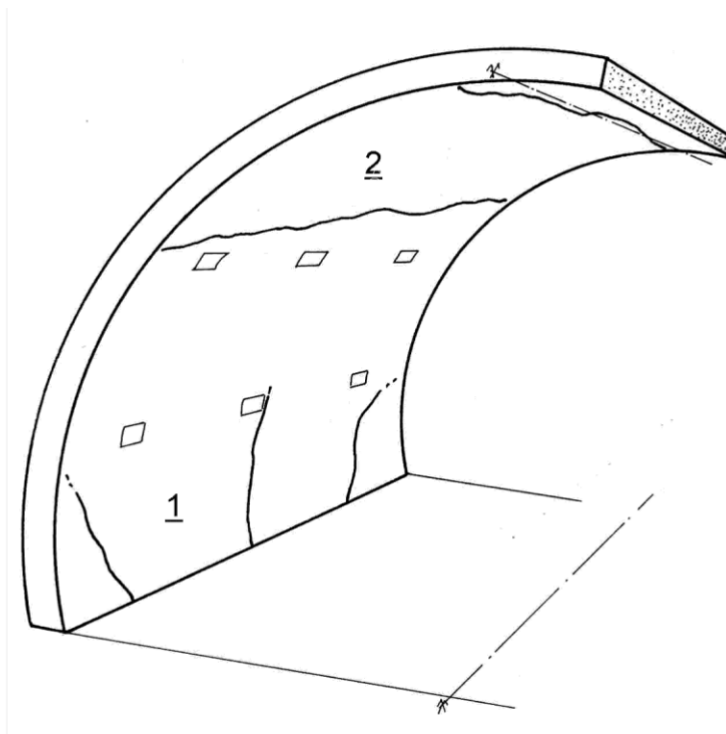


Figura 1: sviluppo tipico di fessure da ritiro all'interno di una porzione di rivestimento ("calcestruzzo moderno" con una membrana impermeabile applicata all'estradosso)



Figura 2: sviluppo della fessurazione in calcestruzzo realizzato nel 1970 senza una membrana impermeabile applicata all'estradosso

Fessure curvilinee (mezzaluna)

FI-5

Descrizione (aspetto visivo del deterioramento)

Una fessura curva uniforme, generalmente situata nella sezione trasversale alla fine di un concio, che inizia e termina sullo stesso giunto di costruzione.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Ispezione uditiva (martellamento)

Parametri da misurare

Larghezza – Bordi irregolari – Dimensioni dell'area inscritta dalla mezzaluna

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Area di suono vuoto (pannello relativamente sottile che è staccato dal resto del rivestimento)

Origini e possibili cause

Rottura generata dalla presenza della cassaforma del concio successivo che esercita una pressione su quello precedente il cui getto non è completamente asciugato.

Fattori aggravanti

vuoto tra il calcestruzzo il terreno

Conseguenze, possibile evoluzione

Destabilizzazione del pannello nel caso di un rivestimento sottile

Pericoli per gli utenti

Nessuno (per i casi noti fino ad oggi), ma devono essere effettuati controlli accurati per le strutture sottili

Rischi per il tunnel e i suoi elementi strutturali

Nessuno (per i casi noti fino ad oggi).

Monitoraggio

Ispezione visiva.

Misure correttive

Iniezione nelle fessure.

Osservazioni

Questo tipo di deterioramento è generalmente riparato direttamente sul posto da iniezioni di resina epossidica.

Poiché è dovuto ad errori in fase di costruzione, è preferibile richiedere riparazioni per evitare la necessità di un monitoraggio continuo.

Informazioni aggiuntive

Questo deterioramento è abbastanza comune nelle gallerie moderne, dove i getti calcestruzzo si verificano in rapida successione. Questo tipo di fessura di solito appare sul rene, e più raramente in calotta. Appare sul bordo del concio precedentemente gettato.

A volte sono state osservate diverse fessure curve nidificate, senza instabilità associata.

Queste aree, di solito riparate mediante iniezione di resina, dovrebbero tuttavia essere accuratamente ispezionate tramite martellatura ad ogni ispezione approfondita con particolare attenzione per le strutture più sottili.



Figura 1: crepe curve concentrate al piedritto (il processo di costruzione è avvenuto da destra verso sinistra)

10 DIFETTI DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E DELLA GEOMETRIA DELLA GALLERIA - DEFORMAZIONI

Elenco dei difetti	Codice
Difetti degli elementi strutturali e della geometria della galleria - Deformazioni	
Abbassamento in chiave – Innalzamento in chiave – Deformazione asimmetrica	DF-1
Imbozzamento localizzato	DF-2
Disassamento dei conci murari	DF-3
Deterioramento dell'arco rovescio	DF-4
Rottura dell'arco	DF-5

Abbassamento in chiave – Innalzamento in chiave - Deformazione

DF-1

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Abbassamento in chiave: si tratta di un aumento del raggio di curvatura della parte superiore della calotta.
Innalzamento in chiave: la parte superiore della calotta si deforma con un avvicinamento dei reni e il sollevamento in chiave.
Deformazione asimmetrica: questa deformazione interessa solo un lato dell'arco, tra la base e il rene, con un aumento del raggio di curvatura.

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva (da un angolo basso per la compressione asimmetrica)

Parametri da misurare

Posizione (indicatore di posizione della metrica iniziale, indicatore di posizione della metrica finale) – Superficie – Grado di deformazione (difficile da misurare senza profilometria) – Determinare se il deterioramento deriva dalla costruzione o è sorto in seguito (forte probabilità di deterioramento associato in quest'ultimo caso)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Abbassamento in chiave: ampia fessurazione in chiave di volta
Innalzamento in chiave: spalling nella corona – Giunti aperti – Pietre allentate
Deformazione asimmetrica: ampie crepe orizzontali sul lato in spinta – Fessure di taglio – Scheggiatura in chiave di volta – Area dal suono vuoto – Ingresso dell'acqua

Origini e possibili cause

Abbassamento in chiave: Deformazioni risalenti alla costruzione (abbastanza frequente in muratura vecchia) – Rigonfiamento del terreno – Perdita di coesione del suolo e pressione del terreno sulla chiave di volta
Innalzamento in chiave: Deformazioni derivanti dalla costruzione (abbastanza frequente nella vecchia muratura) – Significativa sollecitazione orizzontale – Cattivo blocco in chiave – Rigonfiamento del terreno
Deformazione asimmetrica: Deformazioni derivanti dalla costruzione (in particolare in sezioni snelle) – Notevole sollecitazione orizzontale – Pressione asimmetrica del suolo sul rivestimento – Rigonfiamento del terreno

Fattori aggravanti

Drenaggio difettoso – Mancanza di manutenzione dei giunti – Terreno eterogeneo (per la deformazione asimmetrica)

Conseguenze, possibile evoluzione

Accentuazione delle deformazioni
Caduta o sfaldamento di pietre
Rottura del rivestimento

Pericoli per gli utenti

Nessuno in caso di deformazione verificatasi in fase di costruzione
Rischio medio-alto (rapida evoluzione) se il deterioramento non è un difetto di costruzione (restringimento della sezione trasversale, impatti o sfregamenti ripetuti di veicoli pesanti, rischio di caduta di detriti o pietre)

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Indebolimento

Monitoraggio

Ispezione visiva più frequente
Misurazioni della deformazione (convergenza relativa, profilometria)
Misurazioni delle tensioni

Misure correttive

Rinforzo (installazione di costole ed iniezione d'estradosso, chiodature, rivestimento con calcestruzzo spruzzato, ecc.)
Ricostruzione

Osservazioni

Da distinguere da " Imbozzamento " (foglio DF-2)

Informazioni aggiuntive

Abbassamento in chiave

Questo termine è riservato a un deterioramento che colpisce la calotta in modo simmetrico. Può essere visto chiaramente solo attraverso l'ispezione visiva del fronte con una visuale bassa (da una piattaforma posta appena sotto la chiave di volta, per esempio).

Si dovrebbe sempre effettuare un'ispezione approfondita per cercare la presenza di deterioramenti associati, al fine di confermare se la deformazione sia legata alla fase realizzativa o a un deterioramento patologico.

Innalzamento in chiave

Il termine "innalzamento in chiave" si riferisce a una situazione in cui le pareti laterali si muovono verso l'interno in modo simmetrico. Più comune nelle sezioni molto snelle, può essere facilmente visto ad occhio nudo da terra. Tracce di sfregamento di veicoli pesanti aiutano a identificarlo rapidamente.

La presenza di giunti aperti in corrispondenza dei reni e di scheggiature nella chiave di volta, deve quindi essere indagata.

Deformazione asimmetrica

Anche se questo problema può essere paragonato a "un innalzamento in chiave" dell'arco, il termine deformazione asimmetrica è stato introdotto per caratterizzare una deformazione che colpisce solo un lato della sezione e su un'altezza significativa. Questo deterioramento si osserva nelle gallerie con profili ogivali molto snelli.

Può essere il risultato dell'evoluzione di un terreno eterogeneo che preme sull'arco su un solo lato. La deformazione della forma originale è un'altra possibile causa, se l'ispezione e il monitoraggio non rivelano alcun altro deterioramento in via di sviluppo.

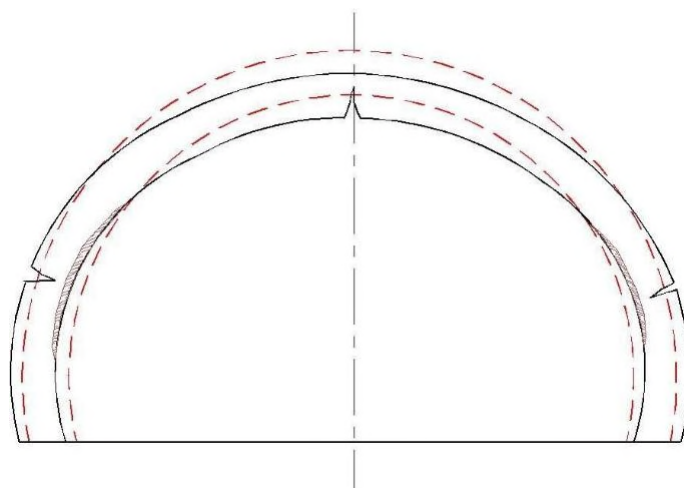


Figura 1: diagramma semplificato di deformazione in un rivestimento (le aree ombreggiate indicano aree in compressione, mentre le fessure mostrano aree in trazione) [linee tratteggiate: profilo teorico, linea continua: profilo deformato]

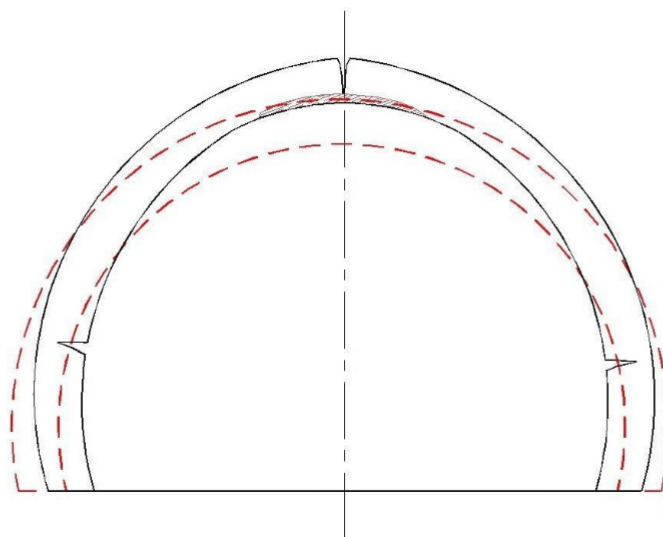


Figura 2: diagramma semplificato di deformazione nel rivestimento, risultante da innalzamento in chiave (le aree ombreggiate indicano aree in compressione, mentre le fessure mostrano aree in trazione) [linee tratteggiate: profilo teorico, linea continua: profilo deformato]



Figura 3: innalzamento in chiave (già parzialmente riparata con calcestruzzo gettato non armato, la deformazione continua schiacciando le restanti pietre della corona e il calcestruzzo)

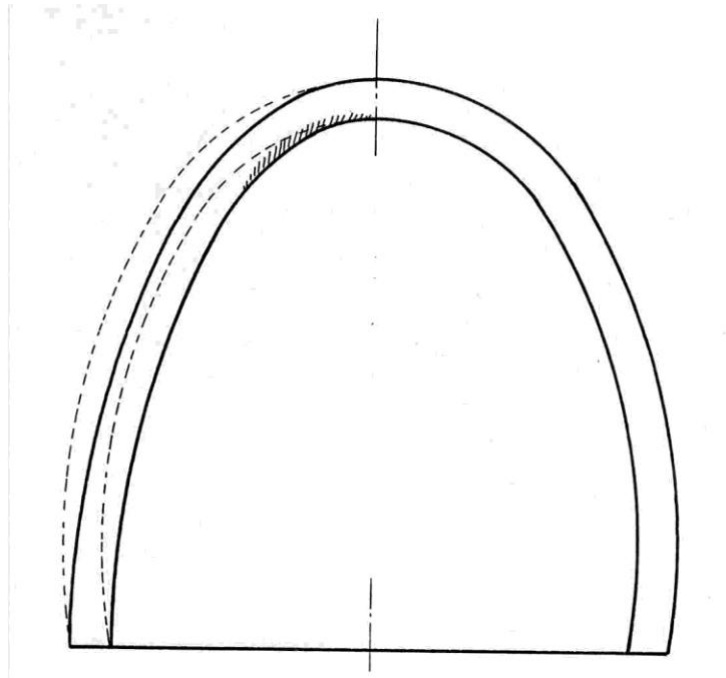


Figura 4 diagramma semplificato di deformazione nel rivestimento, risultante dalla deformazione asimmetrica (le aree ombreggiate indicano aree sotto compressione) [linee tratteggiate: profilo teorico, linea continua: profilo deformato]



Figura 5: Deformazione asimmetrica (la parte leggera ha perso la curvatura originale)

Imbozzamento localizzato

DF-2

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Un imbozzamento localizzato è un rigonfiamento localizzato del rivestimento. Sebbene sia caratteristico dei piedritti, può tuttavia comparire più in alto nel profilo trasversale.

Inspection methods

Esame visivo da angolazione bassa
Ispezione uditiva (con martello)

Parametri da misurare

Posizione (indicatore di posizione della metrica iniziale, indicatore di posizione della metrica finale) –
Posizione nel profilo – Area superficie – Distorsione massima verso l'esterno – Risposta sonora al martello

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Deterioramento della malta e delle pietre – Pietre cadute o allentate – Umidità – Fessurazione

Origini e possibili cause

Rigonfiamento che si verifica durante la costruzione: Deformazione della costola – Giunto di costruzione
Aspetto successivo: Cedimento della muratura a causa del deterioramento della malta – Pressione del terreno o riempimento

Fattori aggravanti

Fessure longitudinali – Scorrimento dei corsi in muratura – Drenaggio difettoso – Mancanza di manutenzione dei giunti

Conseguenze, possibile evoluzione

Crollo localizzato o caduta di pietre progressivamente allentate

Pericoli per gli utenti

Oltre al restringimento localizzato, il pericolo per gli utenti dipende dalla resistenza della struttura stessa.

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Indebolimento seguito quindi da rapido crollo localizzato

Monitoraggio

Ispezione visiva
Ispezione uditiva
Misurazioni dell'evoluzione (semplice nel caso di imbozzamento della parete laterale, attraverso l'uso di una linea a piombo o di un righello)

Misure correttive

Riposizionamento
Ancoraggi e nervature
Ricostruzione se la causa è legata al terreno

Osservazioni

Da distinguere da "Deformazione asimmetrica" (scheda DF-1)

Informazioni aggiuntive

Il termine "imbozzamento" è spesso usato per descrivere le deformazioni delle pareti laterali in muratura verso l'interno. Il rigonfiamento è molto localizzato, a differenza delle altre deformazioni menzionate (innalzamento in chiave, corona appiattita, deformazione asimmetrica) che interessano gran parte del profilo trasversale del tunnel. Spesso suona vuoto durante l'ascolto al martello.

Alcuni archi in muratura si gonfiano sistematicamente lungo le pareti laterali. È importante distinguere tra un problema di costruzione (giunto di costruzione nella parte superiore della parete laterale), che è abbastanza comune, e un difetto che è apparso successivamente. Se non ci sono altri deterioramenti associati al rigonfiamento, è probabilmente un problema di costruzione.

Alcuni rigonfiamenti non sono collegati ad un'azione del terreno, ma sono semplicemente causati dal cedimento di un rivestimento di scarsa qualità sotto il proprio peso. Questo deterioramento è sempre accompagnato dal deterioramento della malta, il punto debole della muratura.

È importante controllare la natura del terreno circostante perché il suo grado di alterazione o il suo comportamento possono essere la causa principale di questo tipo di deformazione. La consultazione degli archivi contenenti gli elaborati as-built è essenziale, se non sono disponibili record di indagini recenti.

Se il deterioramento della muratura non è avanzato e se il grado di deformazione rimane accettabile per il funzionamento del tunnel, un semplice riposizionamento può essere sufficiente per rallentare il suo sviluppo e stabilizzare le pietre allentate. La riparazione finale spesso comporta la demolizione e la ricostruzione secondo il profilo iniziale.



Figura 1: una parete laterale sporgente, rinforzata da ancoraggi e piastre di legatura



Figura 2: rigonfiamento prossimo alla fase di crollo (muratura significativamente deteriorata)

Disassamento dei conci murari

DF-3

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Uno o più strati consecutivi di blocchi sono sfalsati rispetto al normale profilo di intradosso, arretrati o sporgenti.

Inspection methods

Ispezione visiva

Parametri da misurare

Posizione nel profilo – Estensione longitudinale e trasversale della superficie interessata - Valore di scostamento - Ispezione uditiva (tocco martello)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Apertura di giunti longitudinali - Fessurazioni, vuoti nelle articolazioni, deformazione generale del profilo - Sporgenza locale

Origini e possibili cause

Nelle pareti, difetto di lavorazione è la causa più frequente
In calotta, errore di posizionamento dei blocchi in fase di costruzione o disallineamenti localizzati a causa di esplosioni.

Fattori aggravanti

Vuoti nelle giunzioni – Ingresso dell'acqua – Qualità delle pietre

Conseguenze, possibile evoluzione

Disallineamento in fase di costruzione: nessuna conseguenza
Disallineamento accidentale: indebolimento, o addirittura allentamento locale delle pietre, e rischio di rapido deterioramento

Pericoli per gli utenti

Non significativo
Rischio di caduta di elementi dalla sezione del tetto se la causa è accidentale (successiva alla costruzione)

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Inesistente se il disallineamento è presente dalla costruzione.
Indebolimento del rivestimento se la causa è accidentale (successiva alla costruzione)

Monitoraggio

Ispezione visiva

Misure correttive

Rinforzo mediante chiodature o con calcestruzzo spruzzato (rinforzato o non rinforzato)

Osservazioni

Informazioni aggiuntive

Le pietre non sono allineate e possono essere in arretrate o sporgenti rispetto alla superficie media dell'intradosso.

Le pietre possono essere arretrate a causa della scarsa posa in opera. Tuttavia, quando più file di pietre nella sezione del tetto sono arretrate su una vasta superficie, questo indica una "sollevamento" all'arco a causa di un'esplosione (incidente in tempo di guerra, colpi troppo violenti in zattera). La conseguenza è un indebolimento dell'intero rivestimento, che si deteriora molto più rapidamente. Questo deterioramento è raro.

Le pietre sporgenti, senza alcun altro deterioramento associato, possono essere attribuite alla cattiva posa in

opera. Questa situazione è comune a livello di volta. Se non si tratta di un difetto di costruzione, l'area del disassamento può indicare un danno permanente o un deterioramento significativo della struttura.

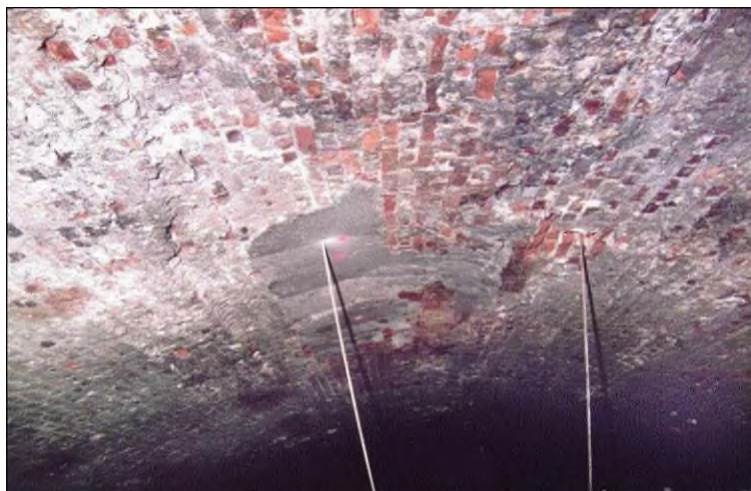


Figura 1: danni da esplosione (la parte centrale della calotta è stata sollevata dall'esplosione, poi è tornata in posizione con scostamenti nei corsi di mattoni; le aste segnano la posizione delle perforazioni investigative)

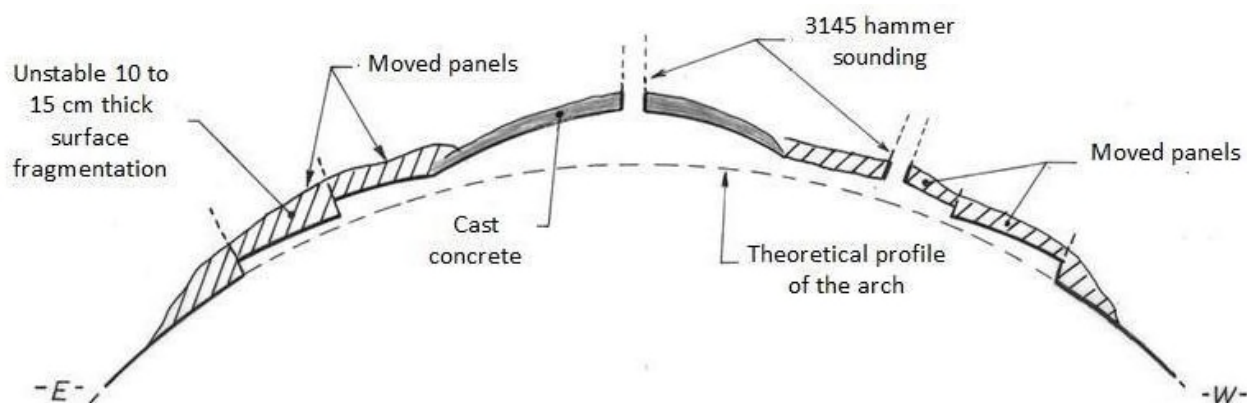


Figura 2: rappresentazione di presunti deterioramenti nell'area danneggiata dall'esplosione

Deterioramento dell'arco rovescio

DF-4

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

Il deterioramento si verifica spesso sotto forma di un sollevamento localizzato o cedimento della zattera, con conseguente presenza di fessure orizzontali e talvolta trasversali, con bordi irregolari. Quando l'arco rovescio non è visibile, vengono rilevati solo i deterioramenti che sono evidenti sulla carreggiata o sulle pareti laterali. In alcuni casi, la mancanza di arco rovescio o il suo sottodimensionamento non permette di contrastare il gonfiore/spinta del terreno (argilla o marne rigonfianti).

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva
Indagini topografiche
Ispezione sonora

Parametri da misurare

Posizione – Estensione – Altezza del sollevamento – Natura del terreno e dell'arco rovescio (consultare i documenti di costruzione)

Deterioramenti o difetti associati da cercare

Ingresso d'acqua – Deterioramenti anomali della calotta (distacchi in chiave di volta, diverse estensioni e forme di screpolature) e nelle pareti laterali

Origini e possibili cause

Sollevamento : Gonfiore del terreno circostante – Alta pressione laterale – Fluage – Presenza significativa di acqua

Cedimento: Insufficiente portanza del terreno a causa della sua natura e della presenza di acqua – Creazione di vuoti

Fattori aggravanti

Sollevamento : Ingresso di acqua in pressione – Resistenza insufficiente dell'arco rovescio (spessore o caratteristiche meccaniche) – Scarsa connessione tra l'inversione e le pareti laterali

Cedimento: Perdite dai sistemi di drenaggio (o di risanamento) – Cambiamento della natura del terreno sottostante (gessi o argille) – Fluttuazione del livello dell'acqua

Conseguenze, possibile evoluzione

Deformazione degli anelli – Dislocazione dell'arco rovescio – Crollo della struttura a causa della perdita di contrasto tra pareti laterali

Pericoli per gli utenti

Rischio di crollo o carreggiata deformata

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Indebolimento della struttura – Crollo localizzato

Monitoraggio

Ispezione visiva
Indagini topografiche
Esame congiunturale
Misurazioni regolari dell'apertura della fessura e della irregolarità (fessurimetri tridimensionali)
Misurazioni di deformazione del profilo (convergenza relativa)
Maggiore monitoraggio o stretta osservazione (a seconda dei risultati delle misurazioni)

Misure correttive

A seconda di studi specifici (ricostruzione dell'arco rovescio e o rinforzo dell'anello, drenaggio del terreno)

Osservazioni

Informazioni aggiuntive

Le zattere di fondazione in alcuni vecchi tunnel sono o ad arco rovescio o piani, e il loro utilizzo è previsto in corrispondenza di aree geologiche difficili che richiedono archi rinforzati.

Se la deformazione della struttura a causa di cambiamenti nel terreno circostante (deformazione delle pareti laterali a causa di rigonfiamento del terreno, tunnel che interseca un piano di scivolamento del versante) provoca la loro rottura, questa si manifesta sotto forma di sollevamento o cedimento, così come una fessurazione e una dislocazione della zattera.

Il cedimento può verificarsi anche (in misura minore) in seguito al guasto dei sistemi di drenaggio: l'acqua che circola intorno alla periferia dei tubi può alterare negativamente gli strati di fondazione della zattera. Le caratteristiche meccaniche di questi terreni vengono modificate (minore capacità portante) e i deterioramenti compaiono sotto l'influenza dei carichi legati al traffico.

I fattori aggravanti sono l'acqua che circola nel terreno, una zattera di fondazione che non è abbastanza spessa o forte, così come una curvatura insufficiente o uno scarso collegamento tra la zattera e le pareti laterali.

Le riparazioni richiedono una demolizione preventiva, che deve essere eseguita con attenzione in piccole aree, per evitare la convergenza delle pareti laterali durante il periodo in cui non sono rinforzate.

Se la zattera non è visibile, i deterioramenti assumono principalmente la forma di fessurazione e sollevamento della carreggiata.

Rottura dell'arco

DF-5

Descrizione (evidenze della presenza del difetto)

La rottura dell'arco (calotte) è preceduta da segnali premonitori.

Muratura: Fessure/crepe molto aperte, sfaldamento pronunciato, caduta di blocchi, deformazioni del profilo

Calcestruzzo: Fessure/crepe molto larghe, bordi sfalsati, sfaldamento significativo del calcestruzzo, pannelli inclinati

Metodo d'ispezione

Ispezione visiva e sonoro (ascolto al martello)

Parametri da caratterizzare

Caratteristiche delle fessure (posizione, larghezza, lunghezza, irregolarità)

Difetti associati di cui valutare la presenza

Presenza di pannelli instabili – Deterioramento dei materiali – Ingresso dell'acqua – Natura del terreno circostante

o dell'eventuale riempimento (portali) – Rigonfiamento - Deformazione asimmetrica – Innalzamento in chiave

Origini e possibili cause

Azione del terreno circostante – Sovraccarico dell'arco/calotta – Deterioramento completo del rivestimento

Fattori aggravanti

Evoluzione e gonfiore del terreno circostante – Qualità del calcestruzzo o della malta dei giunti

Conseguenze, possibile evoluzione

Accelerazione ed diffusione del fenomeno

Danni permanenti alla struttura

Pericoli per gli utenti

Rischio di caduta di grandi volumi di materiale sulla carreggiata

Rischi per il tunnel e i suoi elementi

Crollo

Monitoraggio

Ispezione visiva e uditiva

Messa in atto di alta sorveglianza

Misure correttive

Rinforzi o ricostruzione

Osservazioni

Informazioni aggiuntive

La rottura di un rivestimento (o l'inizio della rottura) è un grave avvertimento. Il crollo è la conseguenza ultima di una convergenza di deterioramenti che non sono stati visti e affrontati in tempo.

Muratura

Il crollo è spesso preceduto dall'apparizione di un rigonfiamento con fessure che si intensifica nel corso del tempo. La muratura crolla sotto il proprio peso (nelle pareti laterali) o sotto il peso dell'arco, indipendentemente da qualsiasi azione del terreno. La causa più comune di questo tipo di evento è il completo deterioramento della malta. Quando la sfaldamento è associata alla comparsa di rigonfiamenti (o deformazione asimmetrica), anche se la malta è ancora solida, il problema è più grave perché è causato dal terreno. Le aree sfaldate dalla deformazione assumono un aspetto sbriciolato prima del crollo.

Calcestruzzo gettato non armato

Il crollo improvviso è molto più raro. Compaiono fratture chiare, sotto forma di crepe con bordi irregolari che delimitano pannelli rigidi che rimangono in posizione a causa dell'attrito reciproco, lasciando il tempo di effettuare degli interventi. La causa è sempre esterna alla struttura.

Calcestruzzo spruzzato non armato o non fibrorinforzato

Una frattura può verificarsi a causa della pressione locale (rigonfiamento) del terreno, a partire da una o più fessure. La velocità di sviluppo è molto maggiore che nel calcestruzzo gettato con casseri e possono verificarsi improvvise cadute di frammenti.



Figura 1: metà dell'arco è caduto a causa della frantumazione della parete laterale, costituita da pietre molto sfogliate e poco resistenti (questo danno permanente è stato preceduto da rigonfiamento della parete laterale, che non è stata rafforzata nel tempo; il terreno non era la causa del deterioramento)

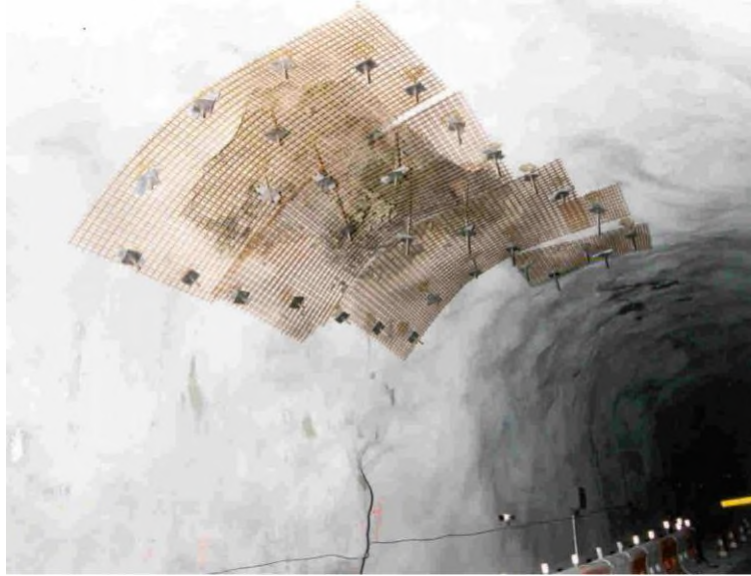


Figura 2: rigonfiamento di marne che hanno rotto un rivestimento in calcestruzzo spruzzato senza rete saldate (riparazione in corso)