

Tunnel esistenti: vulnerabilità sismica, monitoraggio delle strutture, piano sul ciclo di vita degli interventi conservativi

MASSIMO CHIARELLI, ingegnere progettista esperto in tecniche avanzate di scavo in sottterraneo.

Premessa

La nostra rete urbana, extraurbana, autostradale e ferroviaria proprio per l'orografia del territorio, ha un importante sviluppo, in termini di lunghezza, di tratti in galleria. Le gallerie sono parte integrante del sistema infrastrutturale di trasporto, essenziale per l'economia e fondamentale per migliorare la mobilità.

Avere una dotazione infrastrutturale carente, significa rallentare lo sviluppo economico. L'attuale sistema infrastrutturale italiano costituisce uno dei principali vincoli alla competitività del nostro tessuto produttivo ed è alla base del deterioramento dei livelli di qualità della vita di ampie fasce di territorio. Si spende sempre meno per costruire nuove infrastrutture e si investe poco per migliorare quelle già esistenti e/o solamente

manutenzionarle al fine di garantire i requisiti minimi di sicurezza.

Un'efficace ed organica gestione di una infrastruttura ed in particolare un tunnel, non può prescindere dalla messa in opera di un piano di controllo e monitoraggio dell'evoluzione dell'opera gestita. Nello specifico, oltre alla verifica della Sicurezza offerta agli utenti, il piano di monitoraggio dell'opera garantisce al Gestore gli strumenti per pianificare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria allo scopo di mantenere adeguate performances funzionali dell'opera stessa. Di fondamentale importanza, quindi, riveste la creazione di una struttura di controlli atta a rilevare l'innescò di meccanismi o fenomeni di degrado e che fornisca gli strumenti per la valutazione e la proiezione dell'evoluzione dei fenomeni stessi.



Figura 1 - Galleria di Forca Canapine S.S. 685 delle "Tre Valli Umbre" danneggiata dal sisma del 30 Ottobre 2016.

Vulnerabilità sismica

Le opere in sottterraneo in generale ed i tunnel in particolare, rientrano tra le infrastrutture di trasporto meno vulnerabili ai sismi. Ciò è dovuto in parte all'elevato grado di confinamento dei tunnel, in parte all'elevata capacità statica di accettare cerniere plastiche nei rivestimenti. Nonostante ciò, abbiamo una serie di danneggiamenti importanti riportati in letteratura: anche in tunnel profondi.

Queste *case histories* evidenziano la necessità di adottare criteri antisismici evoluti nella progettazione di queste opere in

particolar modo nelle vicinanze delle grandi faglie ed al crescere dell'importanza dell'opera stessa specialmente nel caso in cui è da considerarsi strategica e, quindi, essere fruibile anche a seguito di un evento sismico. Infatti, il collasso o danneggiamento di un tunnel, oltre ad essere, in generale, difficilmente ripristinabile, può causare difficoltà per i soccorsi in caso di emergenza. La differenza è una diretta conseguenza della trascurabile inerzia dell'opera in sotterraneo rispetto a quella del terreno che la circonda. Il comportamento delle strutture in sotterraneo soggette ad azioni sismiche va affrontato in maniera diversa rispetto alle strutture in elevazione.

Il comportamento delle strutture in elevazione è regolato dalle caratteristiche inerziali della struttura mentre, la risposta dinamica delle strutture in sotterraneo è governata dalla risposta deformativa del terreno circostante e dalla loro interazione cinematica.

Possibili danni causati dal sisma

Cause di danni alle strutture possono essere:

- movimenti di faglia;
- deformazioni del terreno;
- liquefazione;
- frane o DGPV (per opere in aree/versanti instabili);
- diversa rigidezza strutturale tra elementi che costituiscono l'opera interrata (es: collegamento tra tunnel e pozzo di ventilazione).

I danni si verificano per:

- profondità delle opere minori di 50 metri;
- terreni deformabili;
- accelerazioni al suolo di picco (misurate in superficie) maggiori di 0,15 g;
- magnitudo del sisma maggiore di 6;
- un raggio massimo di 50 km dall'epicentro del sisma.

Dirette conseguenze sono:

- tunnel e opere profonde sono meno vulnerabili delle opere in superficie;
- tunnel realizzati in ammassi rocciosi sono meno vulnerabili rispetto a quelli in terreni deformabili;
- il miglioramento del terreno circostante il tunnel riduce la vulnerabilità;
- all'aumentare della durata dello scuotimento sismico aumentano le deformazioni plastiche.

Le opere sotterranee nei pressi di frane indotte da eventi sismici manifestano spesso danni significativi.

Le deformazioni dipendono da:

- propagazione delle onde;
- variazione delle caratteristiche del terreno;
- potenza degli strati;
- variabilità del moto dovuta alla "incoerenza" delle onde sismiche.

Piano di monitoraggio delle strutture

Un piano di monitoraggio strutturale è basato su una struttura gerarchica dei seguenti elementi:

1. Descrizione dell'opera (Elaborati di progetto e/o di interventi di manutenzione eseguiti);
2. Controllo sistematico della volta e del rivestimento definitivo in generale nel corso di esercizio;
3. Controllo puntuale dei meccanismi evolutivi nel tempo.

Per quanto riguarda invece il monitoraggio di un'infrastruttura in sottterraneo dopo la manifestazione di un determinato evento (esempio un incendio o un evento sismico), ci sono decisioni critiche da prendere da parte delle autorità per quanto riguarda la chiusura o meno dell'infrastruttura stessa. Un rilevamento rapido e affidabile dei danni e le valutazioni sulla struttura giocano un ruolo fondamentale anche ai fini della mobilità dei mezzi di soccorso. Avere quindi una "immagine" strutturale del tunnel post evento è l'obiettivo a cui si deve tendere per avere una soluzione di ispezione e valutazione del tunnel automatizzata, più veloce e affidabile che possa combinare, in un solo passaggio, sia l'ispezione che la valutazione strutturale dettagliata.

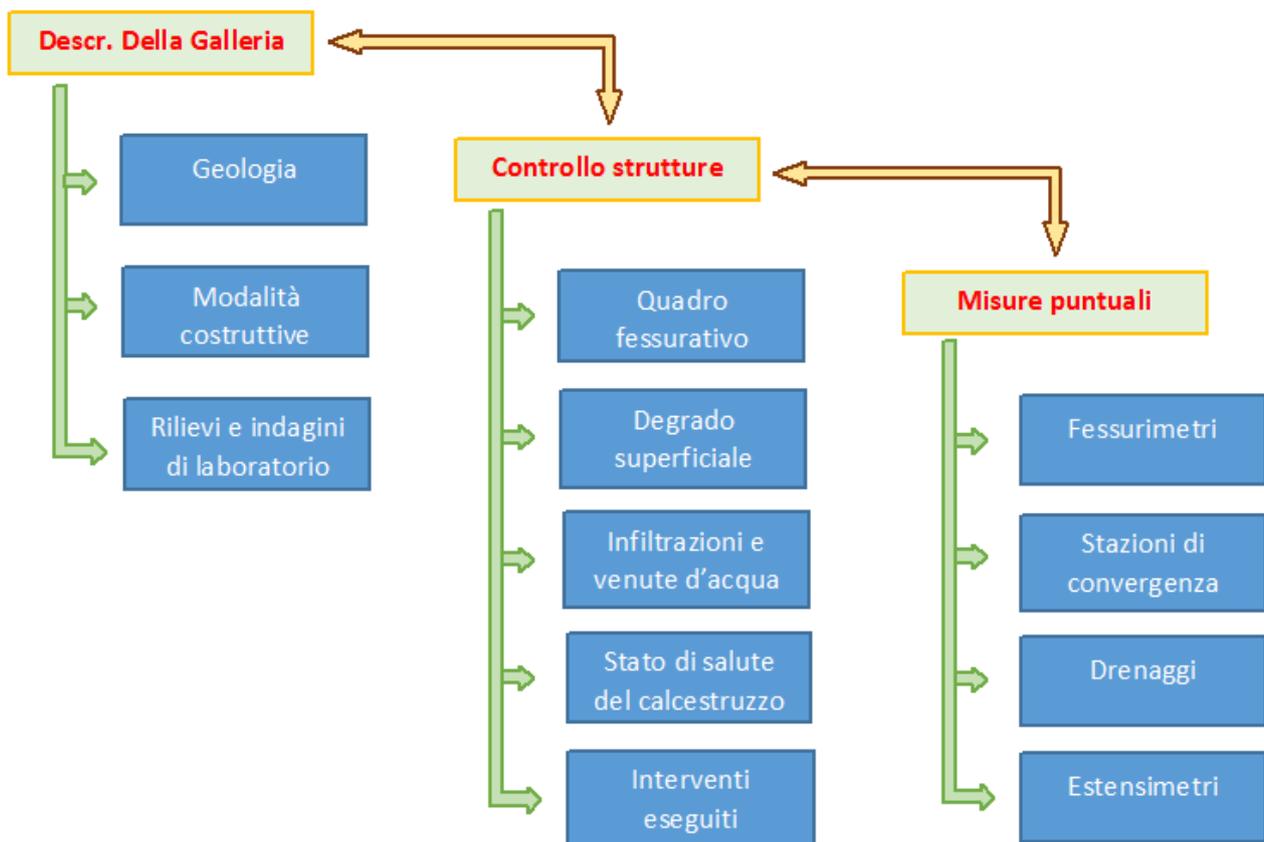


Figura 2 - Esempio di Piano di Monitoraggio delle strutture di una galleria.

Controllo delle strutture

Lo scopo dell'ispezione è verificare se una struttura in esercizio da anni è ancora sicura o meno. Inoltre, è di fondamentale importanza verificare le strutture senza creare qualsiasi tipo effetto negativo o di degrado sulla struttura stessa. Si parla quindi, di ispezione non distruttiva (NDI) che sono quelli usati di frequente e solo in casi eccezionali o di comprovata severità dei danni riportati dalle strutture si utilizzano dei metodi distruttivi. Il materiale strutturale principe nelle gallerie è il calcestruzzo, e per tale motivo genere vengono applicati i seguenti metodi di ispezione: visivo, test di rimbalzo e penetrazione, sonico ed ultrasonico, magnetico, elettrico, termografico, radar, radiografico, metodi endoscopici.

In particolare, i test di rimbalzo e penetrazione forniscono indicazioni circa la durezza dei materiali e una stima della resistenza a compressione, uniformità e qualità della struttura in cemento armato; i più utilizzati sono il martello Schmidt (rimbalzo), la sonda Windsor (penetrazione), Flat Jack Testing (Opere in muratura). L'elemento di base del sistema di monitoraggio strutturale è rappresentato dal controllo periodico della volta. Questa operazione è affidata generalmente a personale con specifica formazione di base ed esperienza circa le tipologie di dissesto strutturale nel calcestruzzo. L'attenzione del personale addetto è focalizzata al controllo e all'evoluzione dei quadri fessurativi, dei degradi superficiali, delle venute d'acqua ed alla verifica della correttezza ed efficacia degli interventi messi in opera in precedenza (se eseguiti). Devono essere necessariamente rilevate tutte le situazioni suscettibili di creare distacchi di materiale dalla volta (fessure, nidi di ghiaia od altre alterazioni, vecchie canalizzazioni di drenaggio, ecc.). Dovrà essere rilevata l'apertura delle fessure e la loro profondità. Particolare attenzione deve essere dedicata al rilievo delle fessure di compressione, delle quali occorrerà registrare estensione ed inclinazione rispetto alla normale al rivestimento.

Infine, dovrà essere predisposto un rilievo fotografico con procedura standardizzata in maniera tale da rendere confrontabili i rilievi nel tempo.

Stazioni di misura delle convergenze a più punti di misura in galleria forniranno dei grafici che, confrontati con le misure eseguite in periodi precedenti o in fase di costruzione per gallerie di nuova realizzazione, descriveranno eventuali fenomeni in evoluzione al fine di programmare possibili interventi.

I problemi riscontrati nelle gallerie esistenti

I problemi più frequenti che si riscontrano nelle gallerie esistenti, sono principalmente quelli legati alle numerose infiltrazioni di acqua, concentrate essenzialmente in corrispondenza dei giunti di costruzione con ampie zone di ristagno d'acqua al di sotto del piano viario, con conseguenti fenomeni di avvallamenti e deformazioni della pavimentazione nonché, da ammaloramenti diffusi del calcestruzzo del rivestimento. Non ultimo la carenza o la totale assenza di impianti tecnologici e/o di gestione e controllo.

Non è un caso, quindi, che la maggior parte degli interventi di manutenzione straordinaria in galleria consistono in:

- realizzazione del sistema di drenaggio per i liquidi oleosi/pericolosi;
- realizzazione del sistema di drenaggio dell'acqua/liquidi;
- realizzazione di vasche di raccolta e separazione all'esterno delle gallerie;
- realizzazione dell'impianto idrico antincendio;
- realizzazione degli impianti di pompaggio a servizio dell'impianto idrico antincendio da installare all'esterno delle gallerie;
- Installazione di impianti tecnologici e di gestione e controllo;

Individuazione dei dispositivi di sicurezza

Per ottenere un adeguato livello di sicurezza all'interno di una galleria una volta che si è accertata e/o ripristinata l'integrità della struttura portante (volta, piedritti e arco rovescio in C.A.), si possono attuare misure strutturali, installare impianti tecnologici, impianti di gestione e controllo e quelli per la gestione delle emergenze.

Per quanto riguarda le misure strutturali bisogna prendere in considerazione la presenza delle piazzole di sosta/emergenza e delle uscite di emergenza o via di fuga da mettere in relazione con l'accessibilità dei mezzi di soccorso e con la loro dislocazione nel territorio.

Gli impianti principali all'interno delle gallerie sono quello dell'illuminazione insieme a quelli di emergenza e di sicurezza, il correlato impianto che garantisce la continuità dell'energia elettrica e quello della ventilazione

associato ad un impianto di controllo ambientale per la misurazione dei fumi e del monossido di carbonio che renda automatica la ventilazione stessa.

Gli impianti di controllo e gestione comprendono tutti quei dispositivi che permettono di controllare da remoto le condizioni della galleria, del traffico al suo interno e della funzionalità degli impianti presenti.

Per gli impianti è infatti necessario garantire la continuità di funzionamento delle installazioni in tutte le situazioni di utilizzo, rilevare eventuali guasti per poter intervenire tempestivamente, e gestire le segnalazioni di guasto o di non funzionamento per gli interventi di manutenzione.



Figura 3 – La galleria Valnerina sulla S.S. 79bis Terni-Rieti dopo l'intervento di messa in sicurezza.

Gli impianti di controllo e gestione generalmente sono gli impianti di gestione del traffico quali l'impianto semaforico per

la chiusura della galleria, l'impianto per il monitoraggio del traffico e l'impianto di rilevamento automatico degli incidenti, gli impianti per la rilevazione degli incendi e l'impianto di videocontrollo. L'impianto di videosorveglianza permette di verificare gli allarmi di tutti gli altri impianti, in particolare in caso di incendio e di incidente.

Per la gestione delle emergenze sono indispensabili tutti quegli impianti che consentono la comunicazione dall'interno della galleria per la segnalazione dell'evento, come le colonnine SOS o gli impianti di teleradiocomunicazione GSM, quelli per la comunicazione fra le forze dell'ordine per l'organizzazione dei soccorsi e quelli per la comunicazione delle deviazioni agli utenti della strada rimasti fuori dalla galleria stessa. Anche gli impianti e gli apparecchi per il pronto intervento antincendio, come estintori, idranti e bocchette, fanno parte dei dispositivi per la gestione delle emergenze.

Per la normativa italiana (Circolare n. 7938 del 6/12/1999 del Ministero dei Lavori Pubblici), per le gallerie di lunghezza maggiore o uguale a 1000 m in ambito extraurbano sono obbligatorie le seguenti dotazioni minime degli impianti di sicurezza:

1. colonnine SOS foniche, collocate in corrispondenza delle piazzole di sosta di emergenza;
2. pannelli segnaletici luminosi di pericolo, posizionati opportunamente in relazione alla sezione della galleria ad una distanza non inferiore a 500 m, e comunque in relazione all'andamento planoaltimetrico della galleria, e ripetuti prima dell'imbocco della galleria in posizione tale da garantire la distanza di visibilità prevista per la segnaletica di preavviso ed in corrispondenza di una piazzola di sosta;
3. eventuale integrazione con impianti semaforici;
4. estintori da collocare nella medesima posizione delle colonnine foniche;
5. idranti con bocchette UNI 45, ogni 200 m, limitatamente alle gallerie di lunghezza maggiore o uguale a 2000 m.

Per tutte le gallerie di lunghezza maggiore o uguale a 1000 m, ciascun ente proprietario o concessionario di strade è obbligato inoltre, a segnalare all'Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale l'avvenuto inserimento della presenza del rischio in galleria nel piano provinciale di protezione civile

predisposto dal Prefetto, di cui all'art. 14 della legge n. 225/1992 "Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile".

Analisi dei rischi

L'articolo 3 della Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale, Dir. 29-4-2004 n. 2004/54/CE, prevede che qualora determinati requisiti strutturali possano essere soddisfatti unicamente tramite soluzioni tecniche che non sono realizzabili o che lo sono soltanto a un costo sproporzionato, sia possibile accettare la realizzazione di misure di riduzione dei rischi come soluzione alternativa a tali requisiti, purché le misure alternative si traducano in una protezione equivalente o accresciuta. L'efficacia di tali misure deve però essere dimostrata mediante un'analisi dei rischi. L'articolo 13 della sopraccitata Direttiva europea prevede inoltre che l'analisi dei rischi venga effettuata, se necessario, da un organismo funzionalmente indipendente dal gestore della galleria. Qualora quindi, così come previsto dal paragrafo 1.1.3. dell'Allegato I della Direttiva Europea, ci sia una galleria con particolari caratteristiche riguardanti i parametri di sicurezza quali la lunghezza della galleria, il numero di fornice, il numero di corsie, la geometria della sezione trasversale, l'allineamento verticale e orizzontale, il tipo di costruzione, il traffico unidirezionale o bidirezionale, il volume di traffico per fornice (compresa la distribuzione nel tempo), il rischio di congestione (giornaliero o stagionale), il tempo di intervento dei servizi di pronto intervento, la presenza e percentuale di veicoli pesanti, la presenza, percentuale e tipo di trasporto di merci pericolose, le caratteristiche delle strade di accesso, la larghezza delle corsie, le considerazioni relative alla velocità, le condizioni geografiche e meteorologiche, risulta necessario effettuare un'analisi dei rischi per stabilire se siano necessarie misure di sicurezza integrative e/o un equipaggiamento complementare per garantire un livello elevato di sicurezza della galleria.

Questa analisi dei rischi deve tener conto di eventuali incidenti, che pregiudicano manifestamente la sicurezza degli utenti della strada nelle gallerie e che possono verificarsi durante la fase di esercizio nonché della natura e dell'ampiezza delle loro possibili conseguenze.

Lo studio di analisi del rischio dovrà contenere:

1. l'analisi preliminare della galleria: descrizione delle caratteristiche geometriche, del traffico, degli impianti e dispositivi, delle procedure d'emergenza;
2. la descrizione dell'origine dei rischi: inserimento dell'opera nel suo contesto fisico, normativo e gestionale, descrivendo una lista di situazioni pericolose, la più esauriente possibile, che permetta di dedurre le conseguenze potenziali sull'esercizio degli eventi temuti e degli incidenti ad essi collegabili;
3. la definizione dei livelli di gravità dei rischi;
4. l'individuazione dei livelli di probabilità di prodursi;
5. la determinazione della matrice gravità/probabilità di prodursi;
6. l'individuazione delle dotazioni di sicurezza necessarie, indipendentemente dalla determinazione degli standard minimi definiti in base alla classe di rischio di appartenenza della galleria, e l'indicazione della gerarchia di priorità nella loro realizzazione.

Livelli di gravità dei rischi

Per definizione il pericolo è la situazione, la circostanza da cui può derivare un danno, mentre il rischio è la possibilità che si raggiunga il limite potenziale di danno, che accada qualcosa di dannoso in seguito a scelte di cui non è dato prevedere con certezza l'esito.

Ad ogni rischio è possibile associare un livello di gravità: per ogni incidente o potenziale evento incidentale, il rischio verrà classificato in base ad una valutazione qualitativa delle conseguenze più gravi che potrebbero

scaturirne. Possono essere considerati cinque livelli di gravità in funzione delle conseguenze prevedibili sulle persone e sull'esercizio.

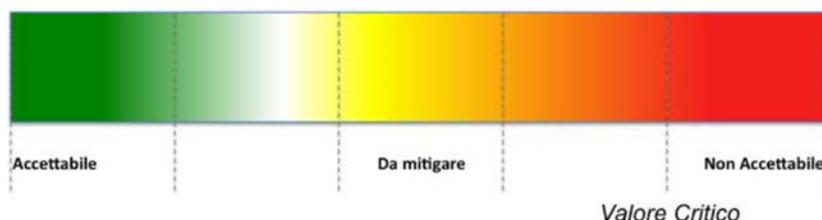


Tabella 1 – Livelli di gravità.

I livelli di gravità dei rischi da prendere in considerazione sono indicati nella tabella seguente.

		OSSERVAZIONI		
LIVELLO	GRAVITA'	CONSEGUENZE UMANE	GUASTO DEL SISTEMA	ESEMPIO
1	Secondaria	Ferite leggere a seguito di un comportamento non corretto delle vittime	Incidente senza interruzione del traffico	Guasto di un veicolo, incidente lieve
2	Significativa	Ferite gravi o danni gravi e permanenti alla salute a seguito di un comportamento non corretto delle vittime. Ferite leggere in assenza di comportamento non corretto delle vittime	Incidente che può provocare l'interruzione dell'esercizio senza pregiudizio per la sicurezza del sistema	Incidente serio con o senza feriti
3	Critica	Una o molte perdite umane a seguito di un comportamento non corretto delle vittime. Ferite gravi o danni gravi e permanenti alla salute in assenza di comportamento non corretto delle vittime.	Guasto di un equipaggiamento con pregiudizio per la sicurezza del sistema	Incidente grave o incendio controllato
4	Molto grave	Una o due perdite umane in assenza di comportamento non corretto delle vittime.	Guasti di più equipaggiamenti che possono provocare un incidente	Incendio importante o perdita totale di un sistema necessario alla sicurezza della galleria
5	Catastrofica	Molte perdite umane in assenza di comportamento non corretto delle vittime.	Guasto generale che può provocare la perdita del controllo del sistema	Catastrofe, esplosione, incendio non controllato o "blackout"

Tabella 2 – Livelli di gravità da considerare.

Livelli di Probabilità di prodursi

Le probabilità di prodursi degli eventi potranno essere classificate in base a categorie predefinite.

Il livello di probabilità è la probabilità che il rischio, con i relativi danni, si verifichi; tale livello dipende dalla frequenza di accadimento.

LIVELLO	PROBABILITÀ	TEMPO
A	Molto frequente	< 1 anno
B	Frequente	< 10 anni
C	Occasionale	< 100 anni
D	Rara	< 1 000 anni
E	Improbabile	< 10 000 anni
F	Estremamente improbabile	> 10 000 anni

Tabella 3 – Livelli di probabilità di accadimento.

Matrice gravità/probabilità di prodursi

La combinazione dei due livelli ottenuta moltiplicando tra loro i due valori costituisce l'indice di rischio. L'indice di rischio può essere evidenziato in una rappresentazione di tipo matriciale in cui in ascissa viene riportato il livello di gravità ed in ordinata il livello di probabilità.

I rischi che si collocano nella zona di rischi importanti devono essere oggetto di particolare attenzione e le azioni tese ad aumentare la sicurezza di una galleria devono avere priorità assoluta. I rischi di detta zona possono originare danni gravi e quindi non possono in nessun modo accettati o tollerati.

Un esempio di zona di rischi importanti (zona grigia) è indicato nella tabella seguente. La zona di rischio è specifica per ogni galleria.

Evento molto frequente (< 1 anno)	A	A1	A2	A3	A4	A5
Evento frequente (< 10 anni)	B	B1	B2	B3	B4	B5
Evento occasionale (< 100 anni)	C	C1	C2	C3	C4	C5
Evento raro (< 1 000 anni)	D	D1	D2	D3	D4	D5
Evento improbabile (< 10 000 anni)	E	E1	E2	E3	E4	E5
Evento estremamente improbabile (> 10 000 anni)	F	F1	F2	F3	F4	F5
PROBABILITÀ GRAVITÀ		1	2	3	4	5
		Evento secondario	Evento significativo	Evento critico	Evento molto grave	Evento catastrofico

Tabella 4 – Matrice dei rischi.

Esempio di mappatura a cura dell'ente gestore

Lo scopo di quanto visto in precedenza è quello di fornire un metodo semplice ed efficace per avere una mappatura delle infrastrutture esistenti da parte dell'ente gestore. Nella tabella seguente vengono riportate le informazioni minime a livello impiantistico di cui ogni galleria è dotata e ad essa si auspica venga sempre associata un'ulteriore scheda in cui sono riportate tutte le informazioni circa lo "stato di salute" delle strutture portanti e degli interventi eseguiti e/o programmati per mantenerla in esercizio in totale sicurezza.

STRADA	DENOMINAZIONE GALLERIA	LUNGHEZZA (m)	IMPIANTO ILLUMINAZIONE	IMPIANTO VENTILAZIONE	TELERADIO COMUNICAZIONE GSM	CLASSE DI RISCHIO	SCHEDA DI MONITORAGGIO DELLA STRUTTURA
XYZ	ZYX	-	Si/No	Si/No	Si/No	-	Si/No

TABELLA 5 – Esempio di mappatura delle infrastrutture.

Conclusioni

Pianificare l'intero ciclo di vita di un'infrastruttura o parte di essa è l'obiettivo a cui si deve tendere nel prossimo futuro considerato che in passato questo processo è stato sottovalutato o se posto in essere non ha spesso portato i risultati attesi.

Gli obiettivi relativi alla pianificazione sull'intero ciclo di vita di un elemento dell'infrastruttura stradale si possono riassumere nei seguenti punti:

1. Identificare gli investimenti a lungo termine per il patrimonio stradale e sviluppare una strategia di manutenzione adeguata;
2. Prevedere l'evoluzione delle prestazioni relative alle infrastrutture stradali per differenti livelli di investimento e strategie di manutenzione;
3. Determinare il livello di investimenti necessari per ottenere le prestazioni richieste;
4. Determinare le prestazioni che saranno raggiunte con i fondi disponibili e/o investimenti futuri;
5. Costruire un supporto alle decisioni per gli investimenti nelle attività di manutenzione e dimostrare l'impatto di differenti scenari di finanziamento;
6. Puntare alla riduzione dei costi sul ciclo di vita, pur mantenendo le prestazioni richieste.

La pianificazione sull'intero ciclo di vita di un elemento del patrimonio è il processo che definisce l'approccio manutentivo relativo ad un elemento dell'infrastruttura, dalla sua costruzione alla sua dismissione. Esso consiste nella previsione dell'evoluzione futura delle prestazioni di un elemento, o gruppo di elementi, dell'infrastruttura in funzione degli scenari di investimento e/o delle strategie di manutenzione. Il risultato di tale processo è rappresentato nel documento denominato "Piano sul ciclo di vita".

Il piano sul ciclo di vita può essere utilizzato per dimostrare come possono essere garantite le prestazioni richieste, durante un predeterminato arco temporale, attraverso l'adozione di appropriate strategie di manutenzione, con l'obiettivo di minimizzare le risorse economiche richieste.

È possibile pianificare il ciclo di vita di tutti gli elementi delle infrastrutture stradali, tuttavia, la sua applicazione risulta più significativa per tutti quei beni di alto valore patrimoniale e/o strategici, che richiedono notevoli finanziamenti, che sono ad alto rischio e/o che sono visti come asset critici.

In generale, l'intero ciclo di vita di un elemento dell'infrastruttura stradale comprende le seguenti fasi:

- *Creazione di un nuovo bene* - può includere un singolo elemento, come un tunnel, un nuovo ponte, nuove illuminazioni, o una serie di nuovi elementi, come la costruzione di una nuova strada in genere;

- *Manutenzione ordinaria* - interventi manutentivi su condizione o ciclici. Esempi includono la riparazione di buche, l'eventuale riparazione delle barriere di sicurezza e la pulizia dei drenaggi. Va notato che le strategie di manutenzione ordinaria possono influenzare le prestazioni a lungo termine dell'elemento, per questo motivo, devono essere considerate nel processo di pianificazione sul ciclo di vita;
- *Rinnovo o sostituzione* – sono interventi necessari affinché il bene torni alla prestazione originaria. Ciò richiede, in genere, nuovi investimenti, a meno che non si tratti di elementi di scorta, che potrebbero essere sostituiti come parte della manutenzione ordinaria;
- *Dismissione del bene* - La maggior parte degli elementi che costituiscono le infrastrutture stradali non vengono dismesse, tuttavia, ci sono elementi che vengono sostituiti, come: sostituzione di apparecchi di appoggio dei ponti, sostituzione dell'illuminazione stradale, della segnaletica verticale e delle barriere di sicurezza, ricostruzione delle pavimentazioni stradali.

Le strategie di manutenzione è opportuno che siano sviluppate considerando differenti interventi alternativi e bilanciando le attività di manutenzione da quelle di rinnovo/sostituzione. Si dovrebbe, inoltre, considerare la durata di ogni intervento alternativo (vita utile) e bilanciare i costi sul periodo di analisi scelto per la pianificazione (i.e. costi). L'obiettivo del processo è lo sviluppo, per uno specifico gruppo di elementi dell'infrastruttura, di un piano di gestione sul ciclo di vita in linea con la strategia di gestione.

Lo sviluppo di o una attenta pianificazione sul ciclo di vita degli elementi dell'infrastruttura stradale, favorisce la corretta applicazione dei principi della gestione del patrimonio infrastrutturale, e permette la definizione dei valori soglia delle prestazioni richieste, e/o economicamente sostenibili. ■

Bibliografia

- [1]. M. Chiarelli – “L’Arte del costruire gallerie” – Editrice | Uni Service, Trento, 2009
- [2]. M. Chiarelli – “Dinamica delle opere in sotterraneo” - "INGENIO web" del 12 Ottobre 2017, INGENIO n°57 Ottobre 2017, Imready Srl – RSM
- [3]. M. Chiarelli – “Il monitoraggio strutturale dei tunnel per la sicurezza” - "INGENIO web" del 15 Ottobre 2018, Imready Srl – RSM
- [4]. M. Chiarelli – “Gallerie esistenti: interventi rapidi e risolutivi su infiltrazioni e venute d’acqua” - “INGENIO” n°35 del 24 Agosto 2015, Imready Srl – RSM
- [5]. M. Chiarelli – “L’uscita dalla crisi passa attraverso un tunnel” - "INGENIO" 11 Aprile 2014, Imready Srl – RSM
- [6]. M. Chiarelli – “La ventilazione meccanica connessa alla sicurezza delle gallerie stradali” - "INGENIO web" del 15 Aprile 2016, Imready Srl - RSM
- [7]. AIPCR-PIARC – “Gestione del patrimonio stradale - Manuale asset management patrimonio stradale” - Convegno Roma 2014