Classificazione e gestione del rischio

2 marzo 2023

Walter Salvatore, Francesco Morelli

Gestione del rischio e classificazione delle gallerie stradali: le nuove linee guida di Direzione Scientifica - SINA

SINA

FABRE

Contratti di ricerca e sviluppo

ENTE GESTORE	ATTIVITÀ
❑ **ADF** *(A10 - Autostrada Dei Fiori)* ❑ **SALT** *(A12 - Società Autostrada Ligure Toscana)* ❑ **SINA** *(Società di progettazione del Gruppo ASTM)*	Sviluppo di una Metodologia per la valutazione multi-rischio delle gallerie autostradali.
❑ **SINA** *(Società di progettazione del Gruppo ASTM)*	Collaborazione per l'applicazione delle linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio delle gallerie esistenti

Contratti di ricerca e sviluppo

ENTE GESTORE	ATTIVITÀ
❑ **ADF** *(A10 - Autostrada Dei Fiori)* ❑ **SALT** *(A12 - Società Autostrada Ligure Toscana)* ❑ **SINA** *(Società di progettazione del Gruppo ASTM)*	Sviluppo di una Metodologia per la valutazione multi-rischio delle gallerie autostradali.
❑ **SINA** *(Società di progettazione del Gruppo ASTM)*	Collaborazione per l'applicazione delle linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio delle gallerie esistenti

Gruppo di lavoro

Università di Pisa

Walter Salvatore

Francesco Morelli

Francesco Iozzi

Simone Celati

Nicola Franceschi

Vittorio Palma

Università di Brescia

Giovanni Plizzari

Giuseppe Tiberti

Politecnico di Milano

Pierluigi Coppola

Fulvio Silvestri

Politecnico di Torino

Daniele Peila

Andrea Carigi

Maddalena Marchelli

Università di Messina

Massimo Di Gangi

Antonio Polimeni

Università di Padova

Marco Pasetto

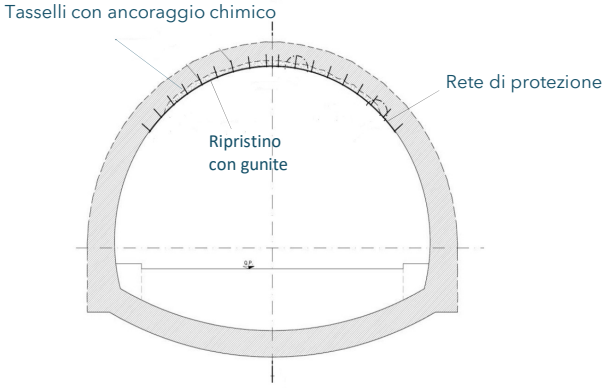
Emiliano Pasquini

Inquadramento Generale

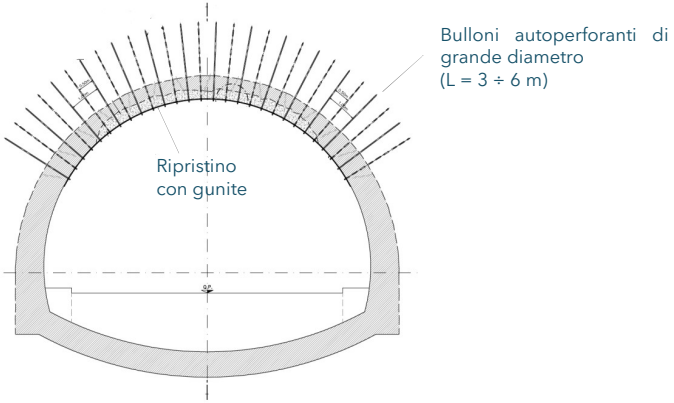
A valle delle ispezioni periodiche, a causa spesso di un **degrado diffuso** in opere di epoca non recente, gli interventi richiesti sono **numerosi**. Tali interventi di *ripristino/manutenzione* devono essere realizzati nelle **tempistiche** imposte dalle norme e possono essere **provvisori** o **definitivi.**

CLASSE DEI DIFETTI	TEMPISTICHE DI INTERVENTO
Classe 1 e 2	Non è prevista alcuna azione
Classe 2E	Non è previsto alcun intervento ma è necessario segnalare la loro presenza ed estensione
Classe 3	Intervento di ripristino/manutenzione **entro 6 mesi**
Classe 3U	Intervento di ripristino/manutenzione **entro 3 mesi**
Classe S	L'opera **non è fruibile** fino all'esecuzione dell'intervento di manutenzione

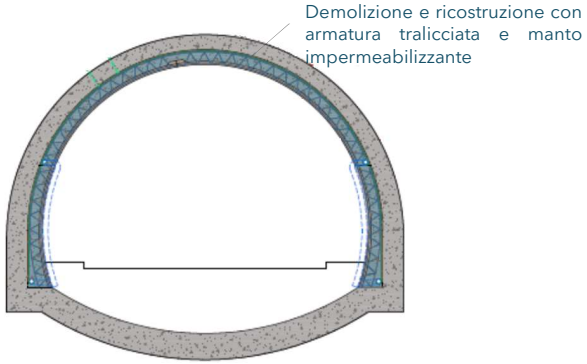
INTERVENTO PROVVISORIO



INTERVENTO PROVVISORIO



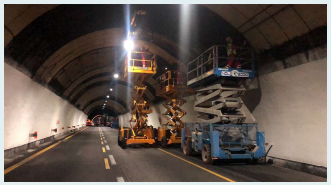
INTERVENTO DEFINITIVO



Inquadramento Generale

Gli interventi in galleria provocano:

- **Chiusura della galleria in più occasioni**
  Almeno una per le ispezioni e una per gli interventi con possibili disagi alla circolazione



- **Deviazione del traffico su viabilità alternativa**
  Con possibile deviazione di mezzi pesanti e mezzi per il trasporto di merci pericolose in zone abitate

- **Aumento incidentalità, danni economici e sociali**
  Il tempo necessario alle lavorazioni in galleria provoca inevitabilmente aumento di incidenti, code, stress etc.

Nell'ottica della **pianificazione** e **priorizzazione** degli interventi, occorre analizzare **TUTTI GLI SCENARI POSSIBILI**, al fine di minimizzare il **rischio complessivo**.

ANALISI DI RISCHIO

Metodologia generale

RISCHIO COMPLESSIVO

1°

Rischio «geotecnico-strutturale»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Probabilità di distacco in calotta

Rischio «trasportistico»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Probabilità di incidente

2°

A seguito di considerazioni emerse durante l'applicazione della metodologia, come meglio chiarito nelle slides succesive, il rischio trasportistico infrastrutturale viene valutato successivamente al rischio geotecnico strutturale, il quale fornisce indicazioni in merito alla priorizzazione degli interventi

Rischio Geotecnico – Strutturale

RISCHIO COMPLESSIVO

Rischio «geotecnico-strutturale»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Probabilità di distacco in calotta

Rischio «trasportistico»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Probabilità di incidente

Per fornire una valutazione complessiva, è necessario che la valutazione dei due rischi sia eseguita in termini omogenei, con la «stessa unità di misura».

PROBABILITÀ DI INCIDENTI e PERDITE ECONOMICHE SULL'INTERA TRATTA

Rischio Geotecnico – Strutturale

- **Pericolosità**: parametri che influenzano le **azioni**
- **Vulnerabilità**: parametri che influenzano la **capacità**
- **Esposizione**: parametri che influenzano il **valore totale dei beni**

PERICOLOSITÀ	VULNERABILITÀ	ESPOSIZIONE
➢ Eventuali **spinte** del terreno/ammasso roccioso	➢ **Difetti** in calotta (sottospessori, fessure, vuoti, vespai, etc.)	➢ **Flussi di traffico** (TGM, etc.)
➢ Tipologie di **fratture** del terreno/ammasso roccioso, distanza fra le fratture, etc.	➢ **Caratteristiche meccaniche** del rivestimento in calcestruzzo	➢ **Caratteristiche della galleria** (visibilità, velocità di progetto, etc.)
➢ **Sovrappressioni** dovute alla presenza di acqua		➢ **Caratteristiche del traffico** (veicoli pesanti e/o che trasportano merci pericolose, etc.)

Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

La **Pericolosità** è legata alla probabilità che il rivestimento definitivo della galleria sia soggetto a sollecitazioni diverse da quelle di progetto.

- Contesto **geologico** e **geomeccanico** in cui è insediata la galleria in termini di **spinte**, **fratture**, etc.
- **Sovrappressioni** dovute alla presenza di acqua
- Altri fattori esterni interagenti con la struttura della galleria.

AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA

Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Condizioni di carico del rivestimento

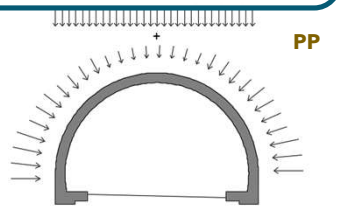
1. **Rivestimento definitivo carico**
   - **a. Prima fase assente**
   - **b. Seconda fase carico**
2. Rivestimento definitivo scarico
   - a. Prima fase assente
   - b. Prima fase carico
   - c. Possibile carico idraulico
3. Carichi esterni
   - a. Frana
   - b. Sisma

a. Questo si verifica nel caso in cui l'ammasso, al momento dello scavo, era già **autoportante**. Quindi non è stato necessario realizzare il rivestimento di prima fase e **nessun carico** si è trasferito sul rivestimento **definitivo**

b. Questo si verifica nel caso in cui l'ammasso **spinge** sia sul rivestimento preliminare che sul rivestimento definitivo a causa del **decadimento** delle proprietà meccaniche del primo.

Analisi dello stato tensionale indagato attraverso l'utilizzo di martinetti piatti. Quando la tensione risulta essere maggiore di quella limite installazione di un sistema di monitoraggio

Tensione limite : tensione generate dal **peso proprio** + **1,5 m di colonna d'acqua** in calotta , pari a 0,50 MPa



Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Condizioni di carico del rivestimento

1. Rivestimento definitivo carico
   a. Prima fase assente

2. **Rivestimento definitivo scarico**
   a. Prima fase assente
   b. Prima fase carico
   c. Possibile carico idraulico

3. Carichi esterni
   a. Frana
   b. Sisma

a. Ammasso roccioso **autoportante**.

In questo caso NON è ipotizzabile un aumento del carico dell'ammasso nel tempo

b. Ammasso spingente sul rivestimento preliminare lasciando **scarico** il rivestimento definitivo.

In questo caso è ipotizzabile un aumento del carico dell'ammasso nel tempo

c. Ammasso roccioso non spingente ma, accumulo di **acqua** a tergo del rivestimento definitivo.

In questo caso è ipotizzabile un aumento del carico dell'ammasso nel tempo

Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Condizioni di carico del rivestimento

1. Rivestimento definitivo carico
   a. Prima fase assente

2. Rivestimento definitivo scarico
   a. Prima fase assente
   b. Prima fase carico
   c. Possibile carico idraulico

a. Rivestimenti carichi o scarichi in relazione al potenziale movimento del corpo di frana.

In questo caso è ipotizzabile un aumento del carico dell'ammasso nel tempo

b. L'effetto del sisma si applica in combinazione a tutti gli altri casi.

In questo caso è ipotizzabile un aumento del carico sul rivestimento

3. **Carichi esterni**
   a. Frana
   b. Sisma

Carichi da trattare in maniera specifica

Rischio Geotecnico – Strutturale

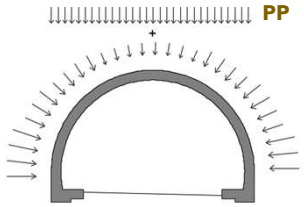
Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Calcolo della domanda

1. Variabilità nello spazio

PESO PROPRIO | **SOVRAPPRESSIONI** | **SPINTA DEL TERRENO**

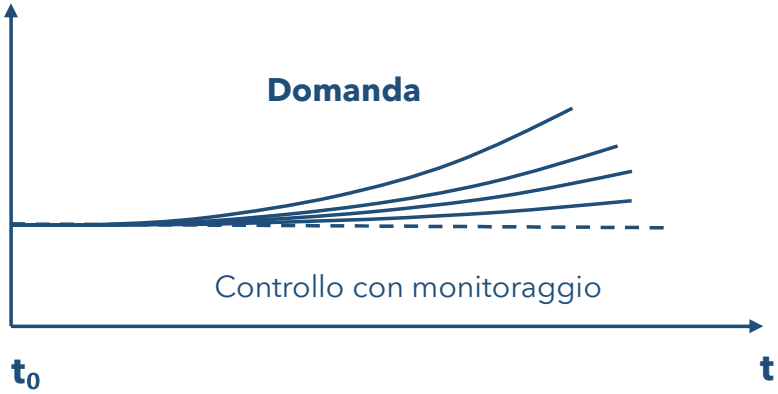
La variabilità nello spazio dei valori delle **sovrappressioni** e delle **spinte del terreno** devono essere valutati tramite opportune **indagini in situ** e/o dalla **documentazione** disponibile



2. Variabilità nel tempo

DOMANDA PUÒ CAMBIARE NEL TEMPO → **MONITORAGGIO**

- **Stato tensionale del rivestimento**
- **Presenza di acqua**



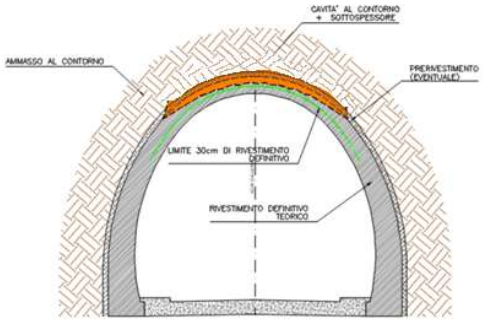
Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | **Vulnerabilità** | Esposizione

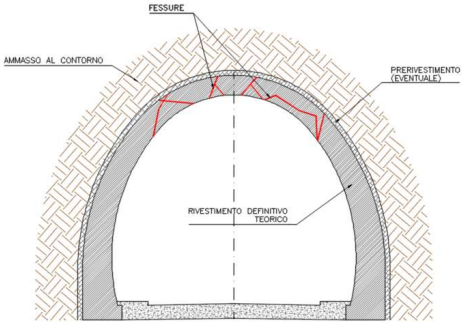
Per definire la vulnerabilità è necessario:

1. Localizzazione dei **difetti** in calotta, individuando possibili **sottospessori, vuoti, vespai** e caratterizzando le lesioni e il quadro fessurativo in generale

2. Determinare le **caratteristiche meccaniche** del rivestimento in calcestruzzo. **Prove in SITU.**



Sottospessore in calotta



Reticolo fessurativo diffuso

Prova a compressione

CAPACITA' DELLA STRUTTURA

Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | **Vulnerabilità** | Esposizione

Parametri che influenzano la vulnerabilità

1. TIPOLOGIE DI DIFETTI IN CALOTTA

DIFETTI STRUTTURALI

- Lesioni
- Degrado delle armature
- Quadro fessurativo diffuso con formazione di potenziali blocchi instabili

DIFETTI GEOMETRICI

- Sottospessori
- Vespai/vuoti
- Cavità a tergo
- Ammanchi e ammaloramenti profondi

L'obiettivo è quello di definire dei **«difetti tipologici»** per valutarne l'influenza sulla capacità della struttura, sia singolarmente sia in combinazione fra di essi.

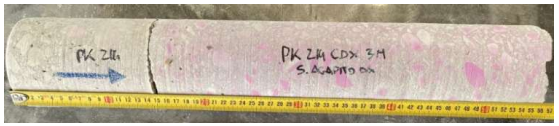
Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | **Vulnerabilità** | Esposizione

Parametri che influenzano la vulnerabilità

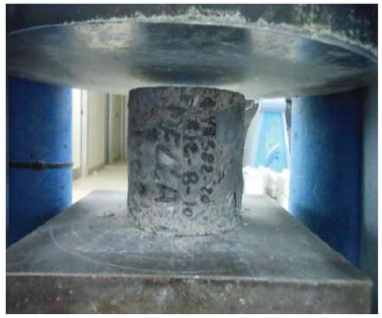
2. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL RIVESITMENTO

Prove di pull-out



Carota intatta

Carota con materiale disgregato



Prova di schiacciamento

Impossibile di eseguire la prova a compressione

L'obiettivo è quello di definire la distribuzione della **resistenza a compressione** del calcestruzzo, valutando l'influenza di tale parametro sulla **capacità** della struttura

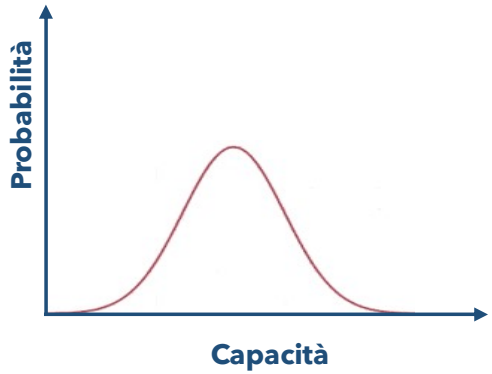
Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | **Vulnerabilità** | Esposizione

Calcolo della capacità della struttura

Per definire un modello di probabilità della vulnerabilità, la capacità deve essere valutata in termini di variabilità nel valore «**z**», variabilità nel tempo «**t**» e nello spazio «**x**» :

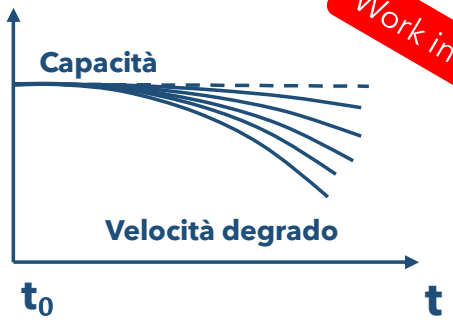
Variabilità del Valore (incertezza della misura)



Le proprietà meccaniche del cls si possono considerare costanti nel tempo

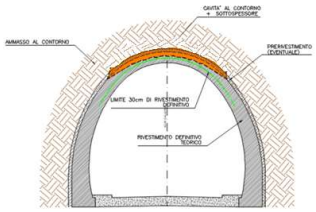
Variabilità del tempo (degrado del materiale)

Work in progress

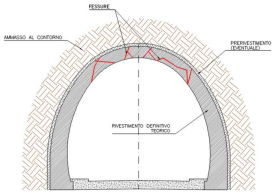


Creazione modello evolutivo del degrado

Variabilità nello spazio (variazione della geometria)



Sottospessore in calotta



Reticolo fessurativo diffuso

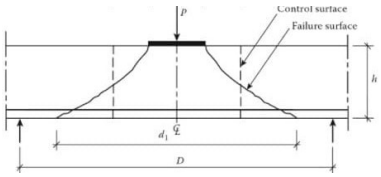
Difetti presenti nella posizione x considerata

Rischio Geotecnico – Strutturale

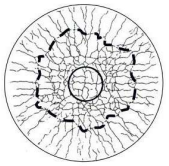
Pericolosità | **Vulnerabilità** | Esposizione

Calcolo della capacità della struttura

Taglio - Punzonamento



superfici di rottura



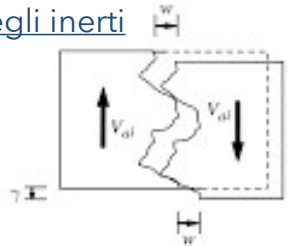
carico di collasso

Tensione agente per taglio -punzonamento

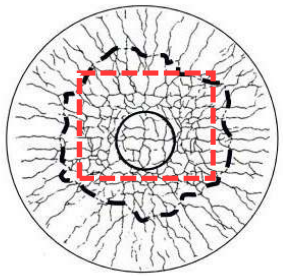
$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{U_i d}$$

Resistenza a taglio per ingranamento degli inerti

$$\sigma = 0{,}25\, f_{ct}\, \mathrm{k}$$

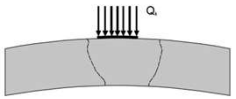


Influenza della fessurazione sul punzonamento

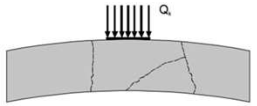


- Fessura su 1 lato
- Fessura su 2 lati
- Fessura su 3 lati
- Fessura su 4 lati

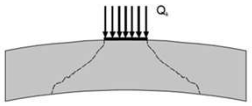
Fessure con andamento concavo



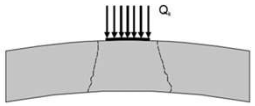
Fessure con andamento casuale



Fessure con andamento convesso



Fessure con andamento verticale



Work in progress!

Fessura Passante

Fessura non passante

Piastra con carico uniforme

Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | Vulnerabilità | **Esposizione**

Il livello di esposizione è basato sui dati di **traffico** relativi alla rete stradale di interesse, in termini di **frequenza** dei veicoli transitanti, nonché alle **caratteristiche** del traffico e della galleria stessa.

Parametri da considerare

- **TGM**
- **Densità di traffico**
- **Velocità di transito**
- **Numero di corsie**
- **Lunghezza dei veicoli**
- **Tipologia di veicoli**

Rischio Geotecnico – Strutturale

Pericolosità | Vulnerabilità | **Esposizione**

Nella valutazione dei parametri fondamentali per la stima del livello di **esposizione** sarà necessario la distinzione dei dati per tratte di traffico omogenee.

I dati necessari di minimo per la determinazione dell'esposizione:

- **Distribuzione delle velocità (v)** di transito
- **Distribuzione della distanza (D)** tra veicoli successivi
- Media delle **lunghezze (*l*)** dei veicoli transitanti

Rischio Geotecnico – Strutturale

Il livello di esposizione definisce la **probabilità di transito** di una determinata tipologia di veicolo in un determinato istante, che combinata con una certa **probabilità di collasso**, definisce la PROBABILITÀ DI INCIDENTE

Rischio Geotecnico – Strutturale

RISCHIO COMPLESSIVO

Rischio «geotecnico-strutturale»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Probabilità di distacco in calotta

Rischio «trasportistico-infrastrutt.»

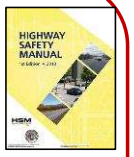
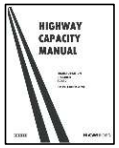
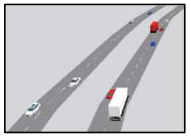
Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Probabilità di incidente

Per fornire una valutazione complessiva, è necessario che la valutazione dei due rischi sia eseguita in termini omogenei, con la «stessa unità di misura».

PROBABILITÀ DI INCIDENTI e PERDITE ECONOMICHE SULL'INTERA TRATTA

Rischio Trasportistico-infrastrutturale

Pericolosità	Vulnerabilità	Esposizione
1. **Stima della probabilità di incidenti lesivi** e non lesivi 	1. Calcolo della capacità reale dell'infrastruttura 	1. Micro-simulazione dei flussi veicolari 
2. Stima del numero di morti e feriti per gravità	2. Stima della probabilità che il flusso veicolare superi la capacità	2. Stima del livello di servizio (LoS), della lunghezza delle code e dei perditempo (veicoli-ora)

Ciascun fattore di analisi restituisce in output degli indicatori sintetici di prestazione (KPI). Tra questi si distinguono 2 categorie:

- **KPI monetizzabili, per il calcolo dei potenziali danni economici legati all'aumento del tasso di incidentalità e dei livelli di congestione**
  ad es. numero di incidenti, morti e feriti, veicoli-ora
- **KPI informativi, per il confronto delle diverse modalità di intervento sotto ulteriori aspetti**
  ad es. distribuzione flusso/capacità, livello di servizio, lunghezza delle code

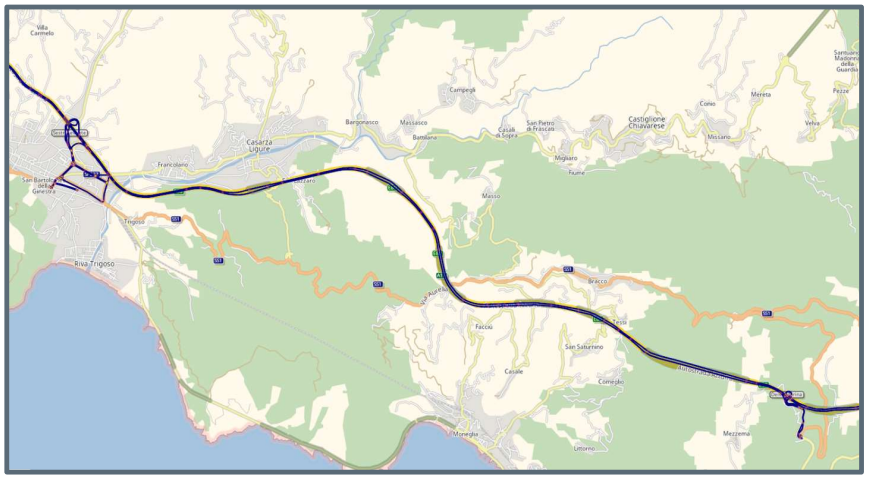
Esempio applicativo

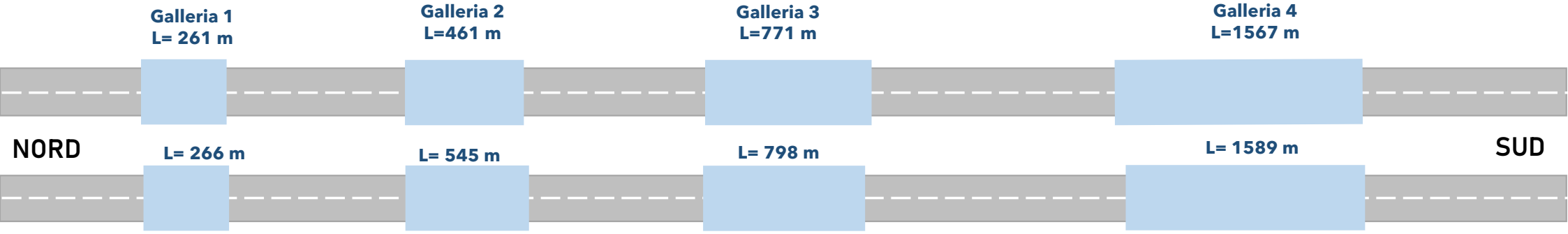
Rischio Geotecnico – Strutturale

Applicazione

Il rischio è stato quantificato attraverso la valutazione dei fattori di :

- **Pericolosità**
- **Vulnerabilità**
- **Esposizione**





Rischio Geotecnico – Strutturale

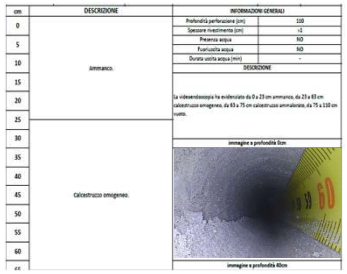
Analisi della documentazione disponibile → Valutazione della vulnerabilità → Valutazione della pericolosità → Definizione della probabilità di collasso

Indagini georadar di dettaglio

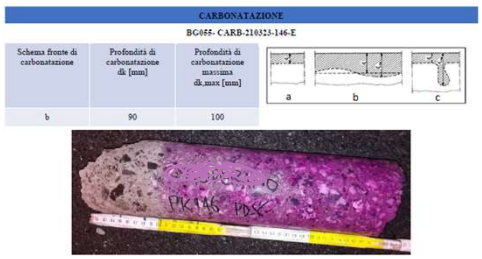
Consuntivo indagini

Progressiva [m]	Direzione di stesa	Sezione (schema figura 2)	Spessore di progetto in C [cm]	Note
29.5	T	A-B-C-D-E	50÷20	Presenza di armatura/rete superficiale nei piedritti. Presenza di armatura da paramento SX a DX. Possibile distacchi corticali superficiali poco pronunciati. Presenza di ferri nel paramento SX a profondità di 15cm. Presenza di vuoti/vespai e discontinuità varie interne al rivestimento in calcestruzzo nei paramenti ad una profondità di 22-26cm, in chiave ad una profondità di 8cm. Presenza di un possibile piccolo vuoto all'interno dello spessore del rivestimento nei paramenti ad una profondità di 20-26cm. Possibile presenza di lesioni nel piedritto SX nei paramenti/chiave, nelle aree interessate da presenza vuoti/vespai. Presenza di umidità nei piedritti ad una profondità di 105cm.
96	T	A-B-C-D-E	50÷20 50÷25	Presenza di armatura/rete superficiale nei piedritti. Presenza di armatura da paramento SX a DX. Presenza di ferri nei paramenti ad una profondità di 22 cm in quello DX e 30cm in quello SX, nel piedritto DX ad una profondità di 22-25cm Presenza di vuoti/vespai e discontinuità varie interne al rivestimento in calcestruzzo nel piedritto DX ad una profondità di 15cm, nei paramenti ad una profondità di 10-22cm. Presenza di un possibile piccolo vuoto all'interno dello spessore del rivestimento nel piedritto DX ad una profondità di 75cm. Possibile presenza di lesioni nel piedritto DX ad una profondità di 10cm; nei paramenti ad una profondità di 14-26cm. Presenza di umidità nei piedritti ad una profondità di 90cm.
107	T	A-B-C-D-E	50÷25	Presenza di armatura/rete superficiale e pannello metallico nei piedritti. Presenza di armatura da paramento SX a DX. Presenza di ferri nel paramento DX ad una profondità di 32cm. Presenza di vuoti/vespai e discontinuità varie interne al rivestimento in calcestruzzo nel piedritto DX ad una profondità di 10cm e nel paramento SX ad una profondità di 5cm. Presenza di un possibile piccolo vuoto all'interno dello spessore del rivestimento nel piedritto DX ad una profondità di 60cm. Possibile presenza di lesioni nei paramenti ad una profondità di 10-20cm. Presenza di umidità nei piedritti ad una profondità di 90cm.
111 118	T T	A-B-C-D-E A-B-C-D-E	50÷25 50÷25	Presenza di armatura/rete superficiale e pannello metallico nei piedritti. Presenza di armatura da paramento SX a DX. Presenza di ferri nel paramento DX ad una profondità di 22-40cm. Presenza di vuoti/vespai e discontinuità varie interne al rivestimento in calcestruzzo nel piedritto DX ad una profondità di 10cm, nei paramenti ad una profondità di 10-14cm. Presenza di un possibile piccolo vuoto all'interno dello spessore del rivestimento nel paramento DX ad una profondità di 20cm. Possibile presenza di lesioni nei paramenti in corrispondenza delle aree interessate da vuoti/vespai. Presenza di umidità nei piedritti ad una profondità di 100cm. Presenza di armatura/rete superficiale e pannello metallico nei piedritti. Presenza di armatura da paramento SX a DX.

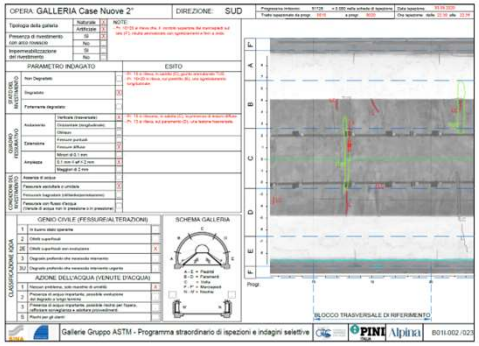
Perforazioni con esame videoendoscopico



Stato del calcestruzzo



Documentazione fotografica e quadro fessurativo



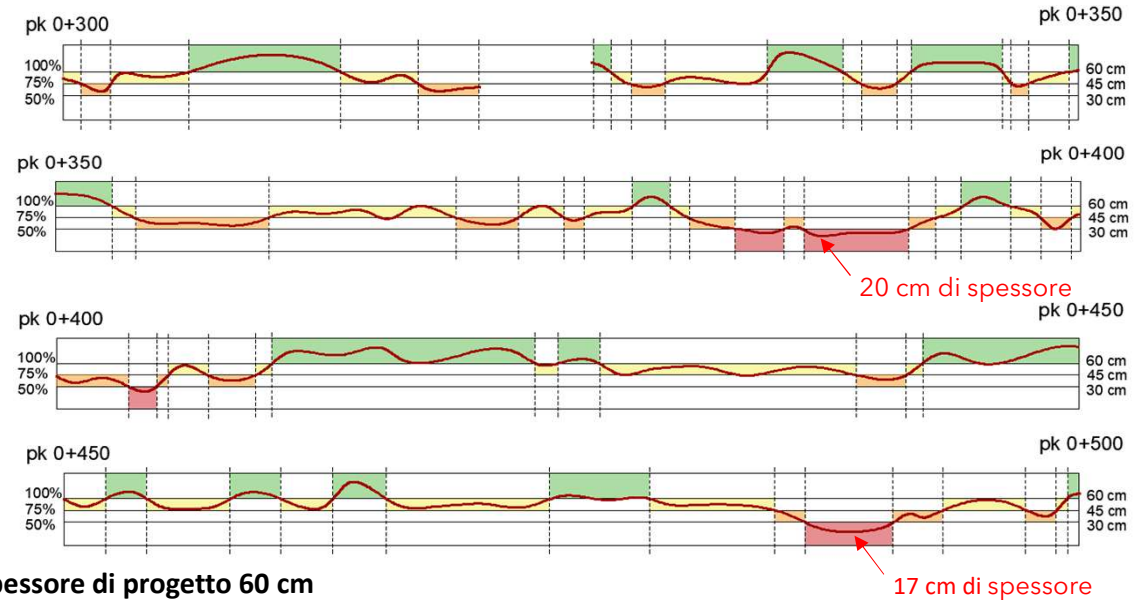
Rischio Geotecnico – Strutturale

Analisi della documentazione disponibile → **Valutazione della vulnerabilità** → Valutazione della pericolosità → Definizione della probabilità di collasso

DIFETTI GEOMETRICI

Ricostruzione della geometria dei sottospessori

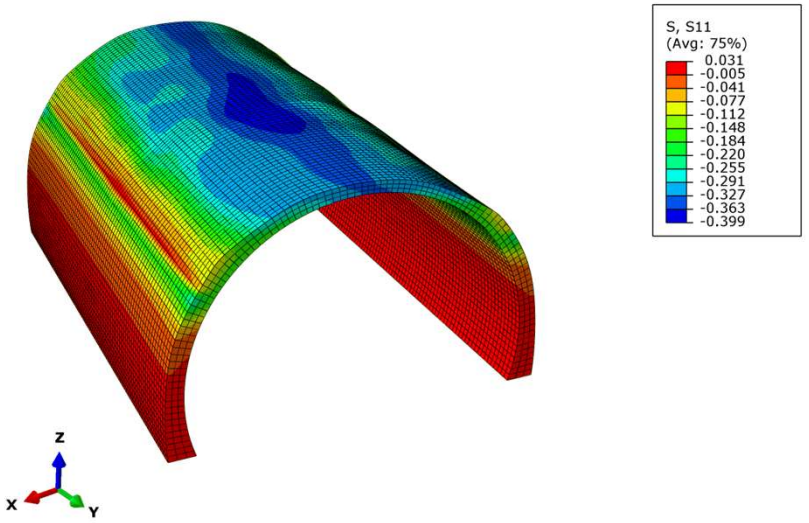
Georadar longitudinale in chiave



Spessore di progetto 60 cm

sp. > 100% | 75% < sp. < 100% | 50% < sp. < 75% | sp. < 50%

Ricostruzione 3D dello spessore del rivestimento in calotta



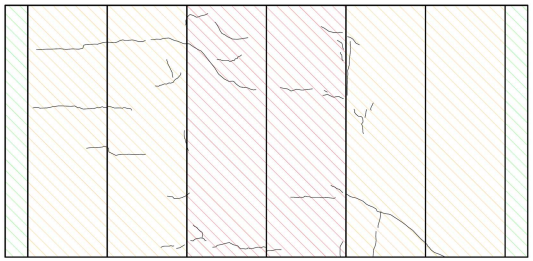
Rischio Geotecnico – Strutturale

Analisi della documentazione disponibile → **Valutazione della vulnerabilità** → Valutazione della pericolosità → Definizione della probabilità di collasso

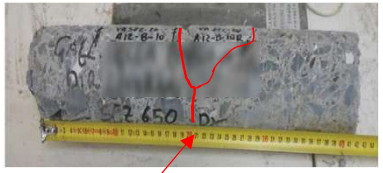
DIFETTI STRUTTURALI

Ricostruzione del quadro fessurativo

- **Ispezioni visive**

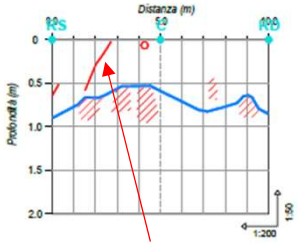


- **Prelievi di carote**



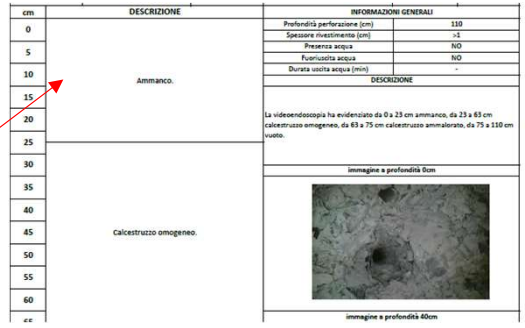
Presenza di lesioni

- **Georadar**

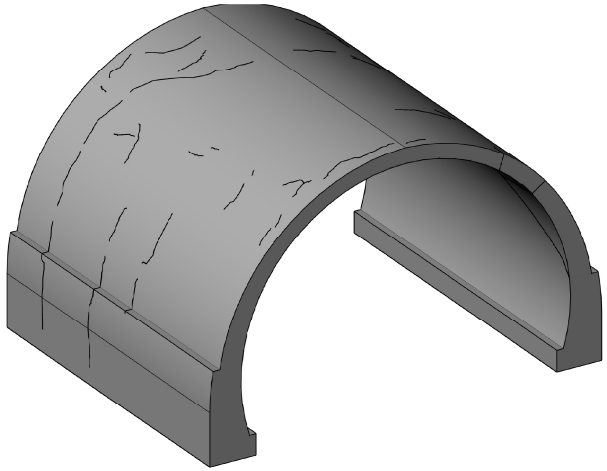


Fessure interne

- **Videoendoscopie**



Ammanchi/lesioni



Modello geometrico «degradato» del concio

Rischio Geotecnico – Strutturale

Analisi della documentazione disponibile → **Valutazione della vulnerabilità** → Valutazione della pericolosità → Definizione della probabilità di collasso

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO

Distribuzione della resistenza a compressione dalle prove di schiacciamento delle carote

Trattazione statistica delle prove di compressione su carote

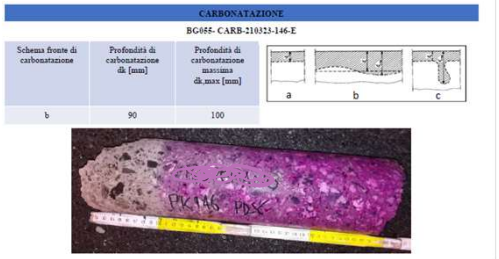
Trattazione statistica			
Valore medio	[Mpa]	$m_{x,Rc}$	19,23
Valore medio (Rc<40MPa)	[Mpa]	$m_{x,Rc\ (limite)}$	19,23
Valore minimo	[Mpa]	min	5
Valore massimo	[Mpa]	max	43
Deviazione standard	[Mpa]	σ	8,91
Intervallo delimitato dalla deviazioen standard	[Mpa]	$m_{x,Rc} - \sigma$	10,32
	[Mpa]	$m_{x,Rc} + \sigma$	28,13
Coeff. Di variazione	[-]	CoV	46%

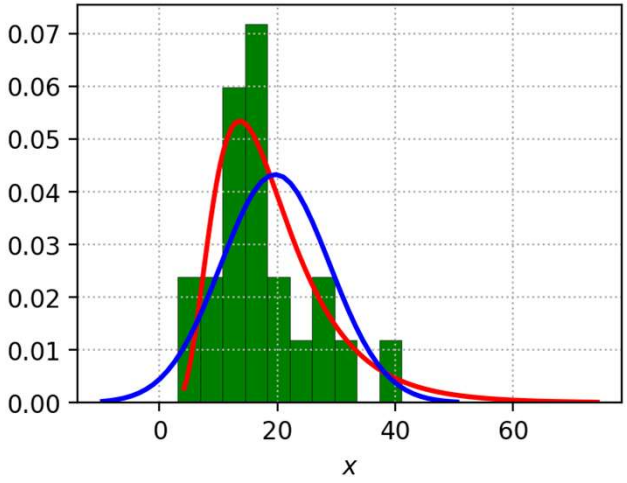
Stima resistenza caratteristica in sito UNI EN 13791			
Cilindrica in sito log-norm (σ)	[MPa]	$f_{ck,is,1}^{log}$	5
Cilindrica in sito (min)	[MPa]	$f_{ck,is,2}$	6
Cubica in sito "UNI EN 13791"	[MPa]	$R_{ck,is}^{UNI}$	4
#Valori anomali	[-]	n_{am}	7

Stima resistenza caratterstica in sito Linee Guida Ponti			
Cubica in sito "L.G.Ponti"	[MPa]	$R_{ck,is}^{L.G.Ponti}$	13

Spessore minimo rivesitmento definitivo
15 cm

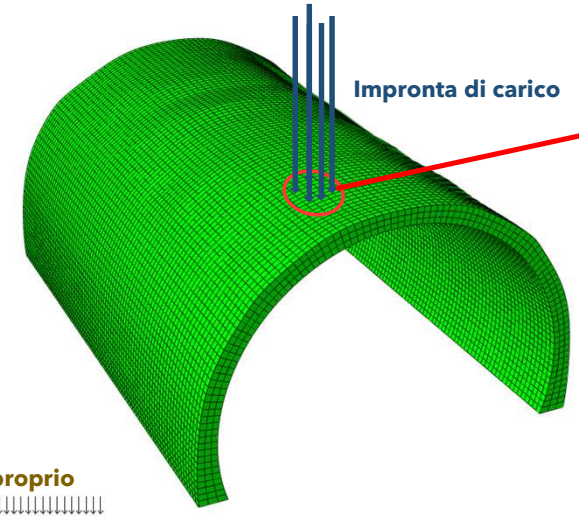
Dati provini	
Numero totale di provini	22
kn	1,64
Margine funzionale fcmin	1
FC	1
gamma m	1,5

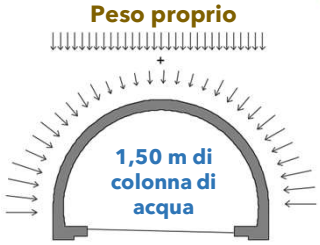




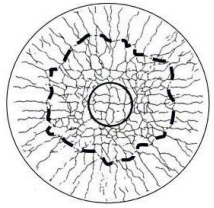
Rischio Geotecnico – Strutturale

Analisi della documentazione disponibile → Valutazione della vulnerabilità → **Valutazione della pericolosità** → Definizione della probabilità di collasso

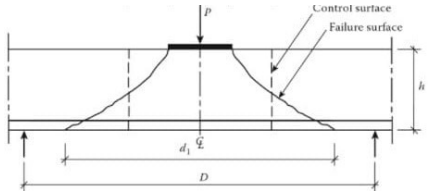




Carico di collasso



Superfici di rottura



Tensione agente per taglio -punzonamento

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{U_i d}$$

Resistenza a taglio per ingranamento degli inerti

$$\sigma = 0{,}25\, f_{ct}\ \mathrm{k}$$

IPOTESI:

a) **L'impronta di carico** si considera circolare e di area pari ad **1,00 m²**

b) **Lo spessore resistente** è pari a **minimo** degli spessori rilevati

c) **Domanda** e **capacità** non variano nel **tempo**

d) La **capacità** varia soltanto al variare della **resistenza del calcestruzzo**

Rischio Geotecnico – Strutturale

Analisi della documentazione disponibile → Valutazione della vulnerabilità → Valutazione della pericolosità → **Definizione della probabilità di collasso**

Riepilogo risultati significativi

Galleria 1- Dir. Nord

fctd	0,70	MPa
Spessore	0,47	m
Ved	0,008	MPa
Vrd	0,104	MPa
D/C	**8,0**	%
Pfail	**1,15 E-09**	

Galleria 2 - Dir. Nord

fctd	1,00	MPa
Spessore	0,34	m
Ved	0,012	MPa
Vrd	0,140	MPa
D/C	**8,9**	%
Pfail	**2,28 E-20**	

Galleria 3 - Dir. Nord

fctd	1,00	MPa
Spessore	0,50	m
Ved	0,008	MPa
Vrd	0,138	MPa
D/C	**5,5**	%
Pfail	**2,45 E-19**	

Galleria 4 - Dir. Nord

fctd	0,40	MPa
Spessore	0,41	m
Ved	0,0010	MPa
Vrd	0,056	MPa
D/C	**17,7**	%
Pfail	**1,07 E-2**	

Galleria 1 - Dir. Sud

fctd	1,00	MPa
Spessore	0,34	m
Ved	0,012	MPa
Vrd	0,140	MPa
D/C	**8,9**	%
Pfail	**2,28 E-20**	

Galleria 2 - Dir. Sud

fctd	1,00	MPa
Spessore	0,50	m
Ved	0,008	MPa
Vrd	0,138	MPa
D/C	**5,5**	%
Pfail	**2,45 E-19**	

Galleria 3 - Dir. Sud

fctd	1,00	MPa
Spessore	0,45	m
Ved	0,009	MPa
Vrd	0,138	MPa
D/C	**6,4**	%
Pfail	**9,17 E-15**	

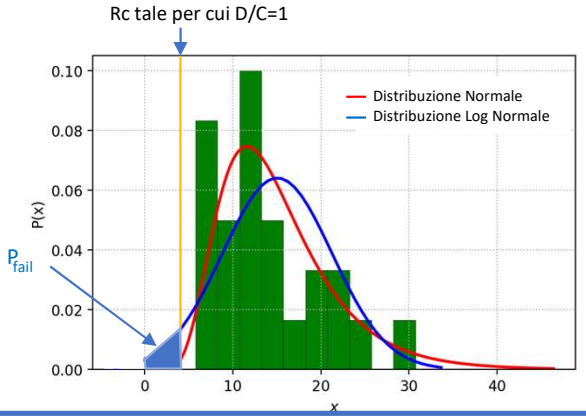
Galleria 4 - Dir. Sud

fctd	0,40	MPa
Spessore	0,15	m
Ved	0,033	MPa
Vrd	0,057	MPa
D/C	**58,4**	%
Pfail	**2,89 E-2**	

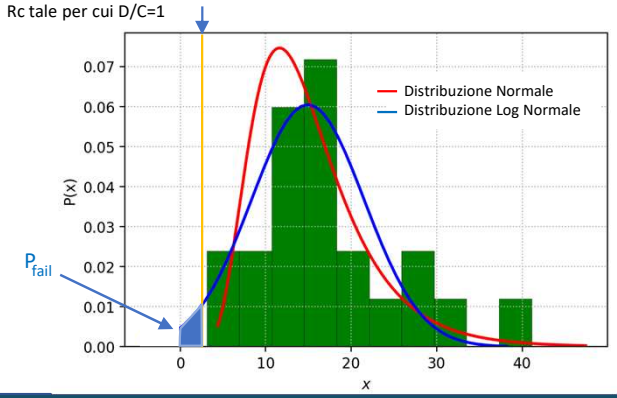
Rischio Geotecnico – Strutturale

Analisi della documentazione disponibile → Valutazione della vulnerabilità → Valutazione della pericolosità → **Definizione della probabilità di collasso**

Trattazione statistica			
Valore medio	[Mpa]	$m_{x,Rc}$	15,05
Valore medio (Rc<40MPa)	[Mpa]	$m_{x,Rc\ (limite)}$	15,05
Valore minimo	[Mpa]	min	7
Valore massimo	[Mpa]	max	32
Deviazione standard	[Mpa]	σ	6,45
Intervallo delimitato dalla deviazioen standard	[Mpa]	$m_{x,Rc}$ - σ	8,60
	[Mpa]	$m_{x,Rc}$ + σ	21,50
Coeff. Di variazione	[-]	CoV	43%



Trattazione statistica			
Valore medio	[Mpa]	$m_{x,Rc}$	19,23
Valore medio (Rc<40MPa)	[Mpa]	$m_{x,Rc\ (limite)}$	19,23
Valore minimo	[Mpa]	min	5
Valore massimo	[Mpa]	max	43
Deviazione standard	[Mpa]	σ	8,91
Intervallo delimitato dalla deviazioen standard	[Mpa]	$m_{x,Rc}$ - σ	10,32
	[Mpa]	$m_{x,Rc}$ + σ	28,13
Coeff. Di variazione	[-]	CoV	46%



Galleria 4 - Dir. Nord

fctd	0,40	MPa
Spessore	0,41	m
Ved	0,0010	MPa
Vrd	0,056	MPa
D/C	**17,7**	%
Pfail	**1,07 E-2**	

Galleria 4 - Dir. Sud

fctd	0,40	MPa
Spessore	0,15	m
Ved	0,033	MPa
Vrd	0,057	MPa
D/C	**58,4**	%
Pfail	**2,89 E-2**	

Rischio Trasportistico-infrastrutturale

RISCHIO COMPLESSIVO

Rischio «geotecnico-strutturale»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Classe di rischio «geotecnico-strutturale»

Rischio «trasportistico»

Pericolosità | Vulnerabilità | Esposizione

Classe di rischio «trasportistico»

Per fornire una valutazione complessiva, è necessario che la valutazione dei due rischi sia eseguita in termini omogenei, con la «stessa unità di misura».

PROBABILITÀ DI INCIDENTI e PERDITE ECONOMICHE SULL'INTERA TRATTA

Rischio Trasportistico-infrastrutturale

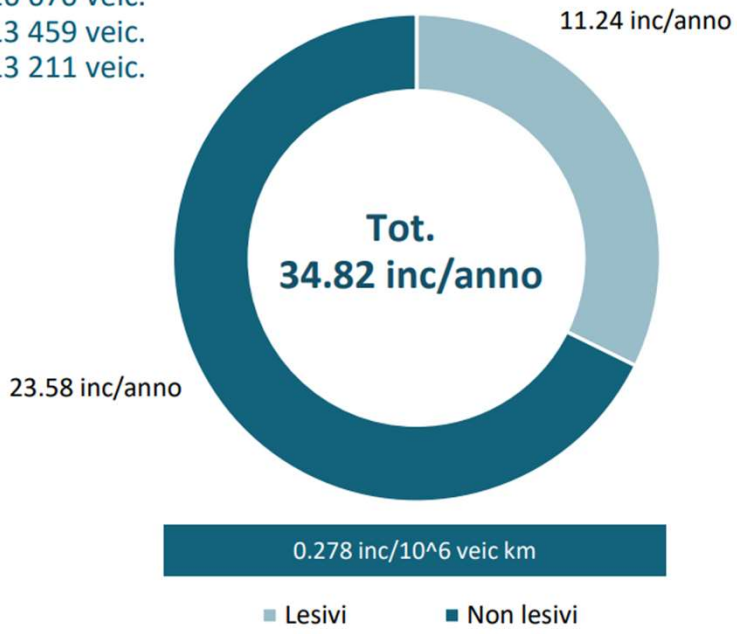
Caso studio

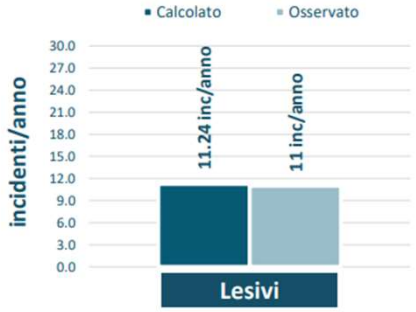
Anno di riferimento 2019

Scenario «0» (assenza di cantieri)

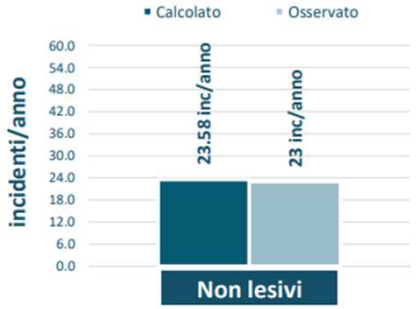
Anno riferimento: 2019

L_{tratta}	12 880 m
TGM_{totale}	26 670 veic.
TGM_{NORD}	13 459 veic.
TGM_{SUD}	13 211 veic.

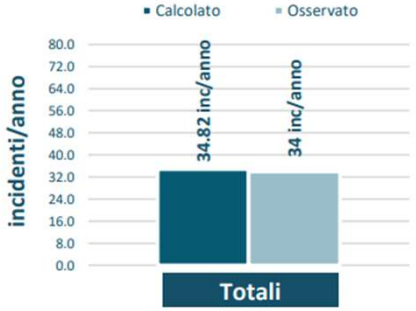




In 30 gg



In 60 gg



In 90 gg

Rischio Trasportistico-infrastrutturale

Caso studio

Anno di riferimento 2019

Scenario «3b» (cantiere con scambio carreggiata)

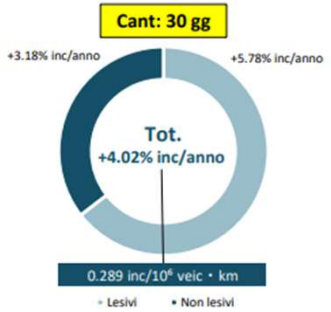
Anno riferimento: 2019

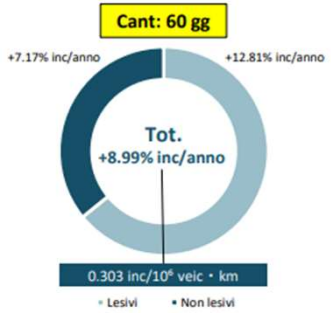
L_{tratta}	12 880 m
TGM_{totale}	26 670 veic.
TGM_{NORD}	13 459 veic.
TGM_{SUD}	13 211 veic.

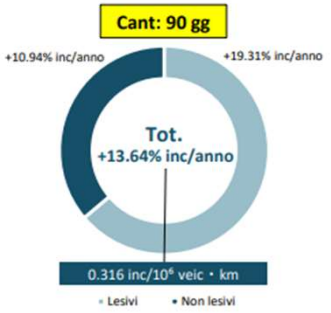
GALLERIE CANTIERIZZATE

Galleria 1	1 518 m
Galleria 2	422 m

* Rispetto a Scenario «0»







Alcune considerazioni

1- Le gallerie, per loro natura, sono strutture il cui comportamento è caratterizzato da notevole incertezza. Il meccanismo di distacco profondo dalla calotta, a sua volta, è un meccanismo di cui è complessa la valutazione della resistenza. **I valori di rischio Geotecnico/Strutturale sono quindi affetti da notevole incertezze e devono essere utilizzati per avere una stima dell'ordine di grandezza del fenomeno**.

2- **Le principali fonti di incertezza** possono essere individuate nelle **spinte localmente agenti sul rivestimento**, nelle **caratteristiche delle fessure** (profondità, forma, etc.), nella distribuzione delle **caratteristiche meccaniche** e di conservazione del rivestimento.

3- Nelle applicazioni svolte, i maggiori valori stimati di probabilità di distacco profondo in calotta sono stati rilevati in quei casi in cui si ha una combinazione di: **presenza rilevante di sottospessori**, **valori medi di resistenza a compressione del calcestruzzo bassi**, **elevata dispersione di tali valori di resistenza**.

4- Nonostante gli elevati valori di incertezza, la valutazione del rischio Geotecnico/strutturale può dare importanti informazioni circa l'ordine di priorità con cui intervenire.

5- Il paragone tra **rischio geotecnico - strutturale** e **rischio trasportistico - infrastrutturale** ha evidenziato che i due hanno ordini di grandezza completamente differenti

6- ? **Da un punto di vista delle responsabilità?** ?