RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM

Brescia, 23 Giugno 2022

Aula Magna Ingegneria - Università di Brescia (UniBs)

ORGANIZZATORI

Collegio dei tecnici della Industrializzazione Edilizia

Società Italiana Gallerie
Italian Tunnelling Society

CON IL PATROCINIO DI

Ordine Ingegneri della provincia di Brescia

Università degli Studi di Brescia 1982 | 2022

fib CEB-FIP Fédération Internationale du Béton

MEDIA PARTNER

ingenio informazione tecnica e progettuale

SAIE Bologna, 19/22 ottobre 2022

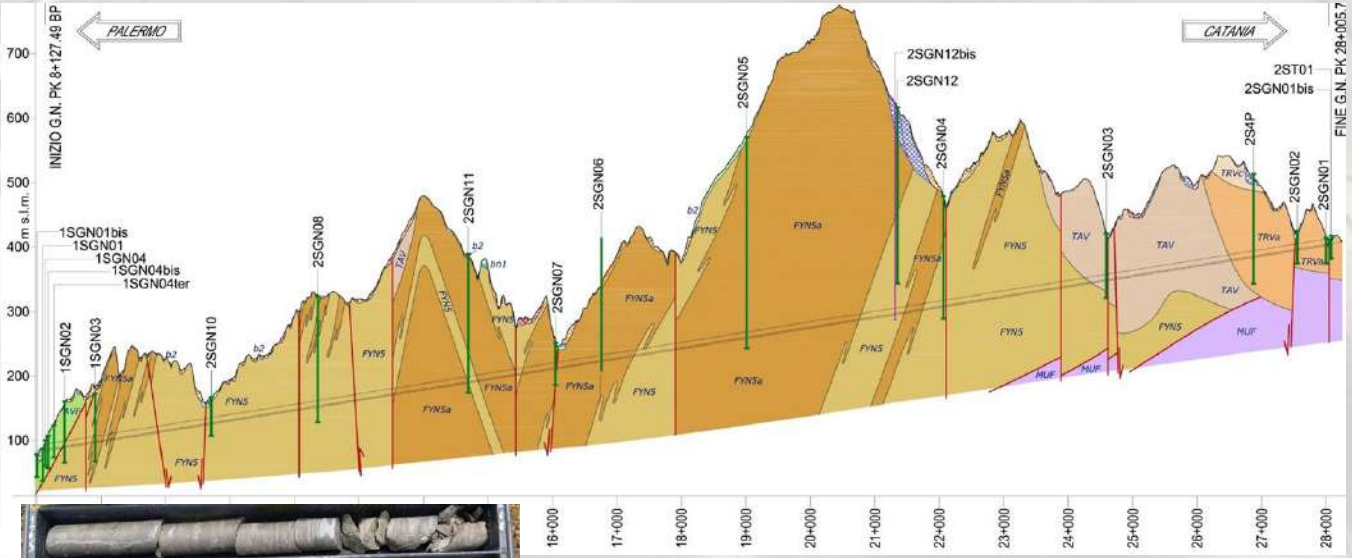
PRESENTAZIONE

ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

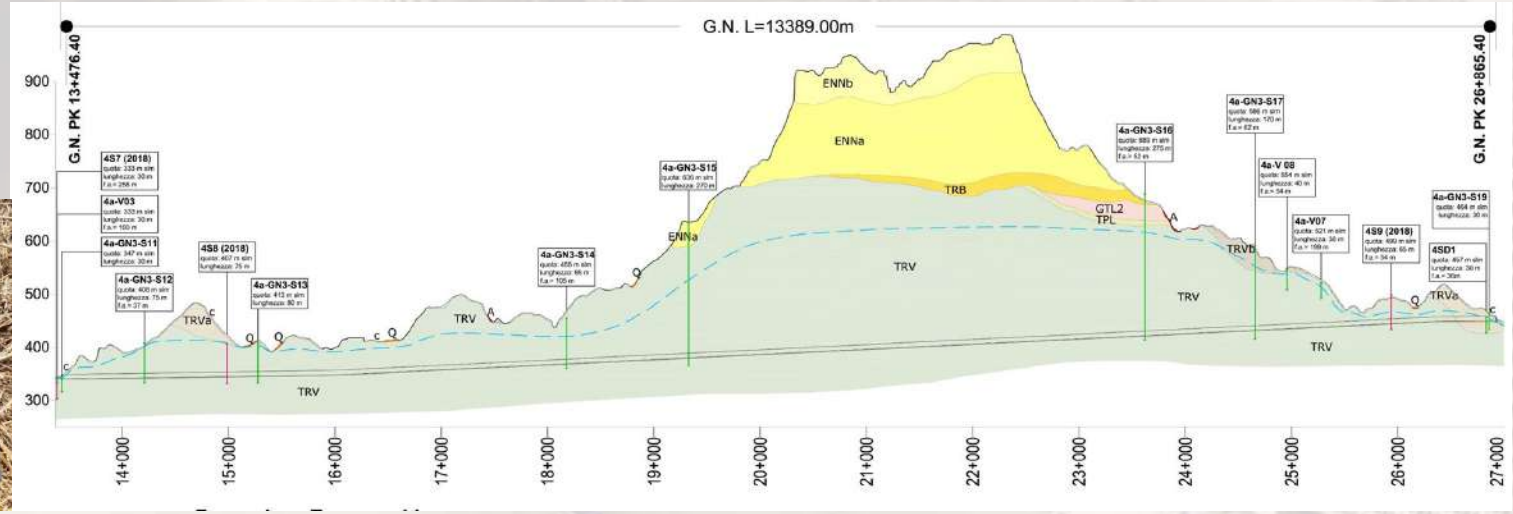
Alessandra Sciotti
Italferr S.p.A.
Responsabile S.O. Gallerie
a.sciotti@italferr.it

DIFETTI E POTENZIALI RIDUZIONI DELLE PRESTAZIONI: IL PUNTO DI VISTA DEL PROGETTISTA DEL COMMITTENTE

Le gallerie ferroviarie di prossima realizzazione in Italia



- varietà dei contesti
- condizioni geologiche e geotecniche sfidanti
- requisiti e prestazioni
- garanzia di tempi e costi

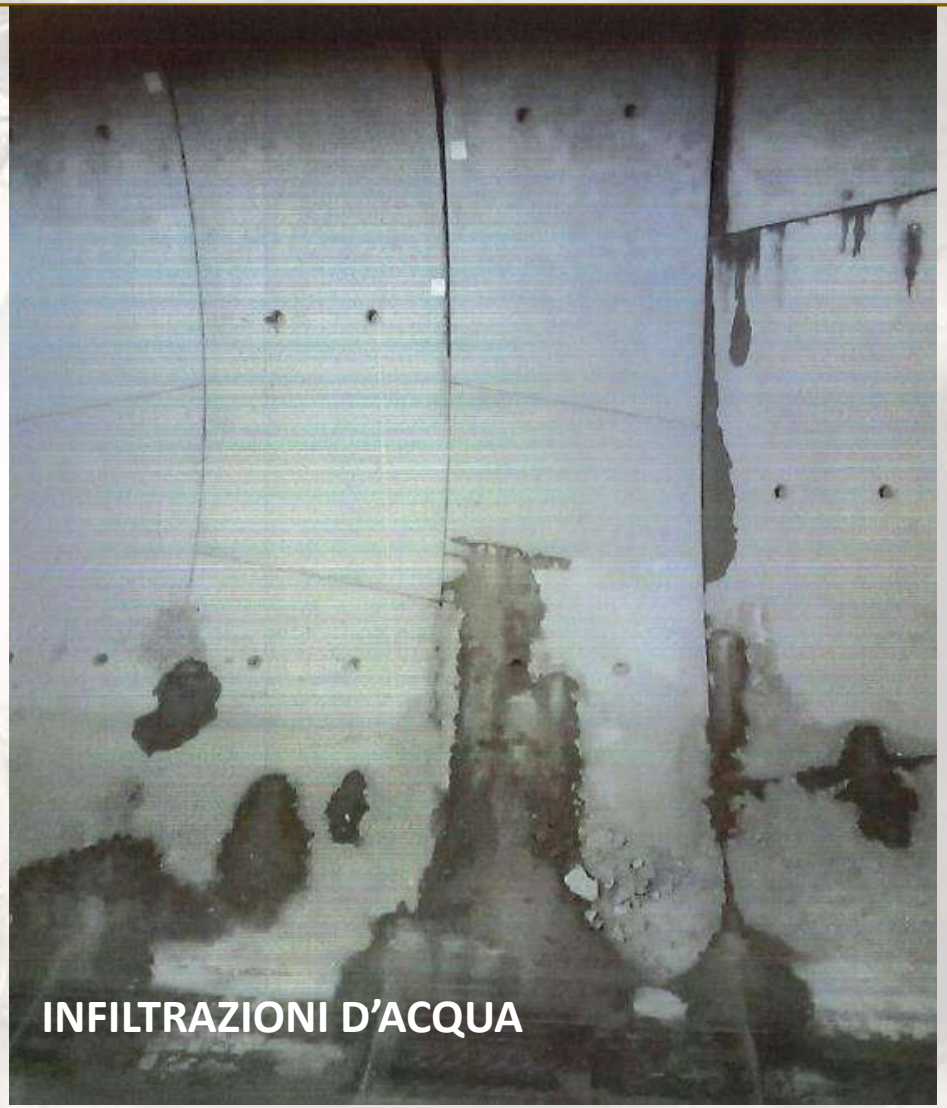


Lo scavo meccanizzato

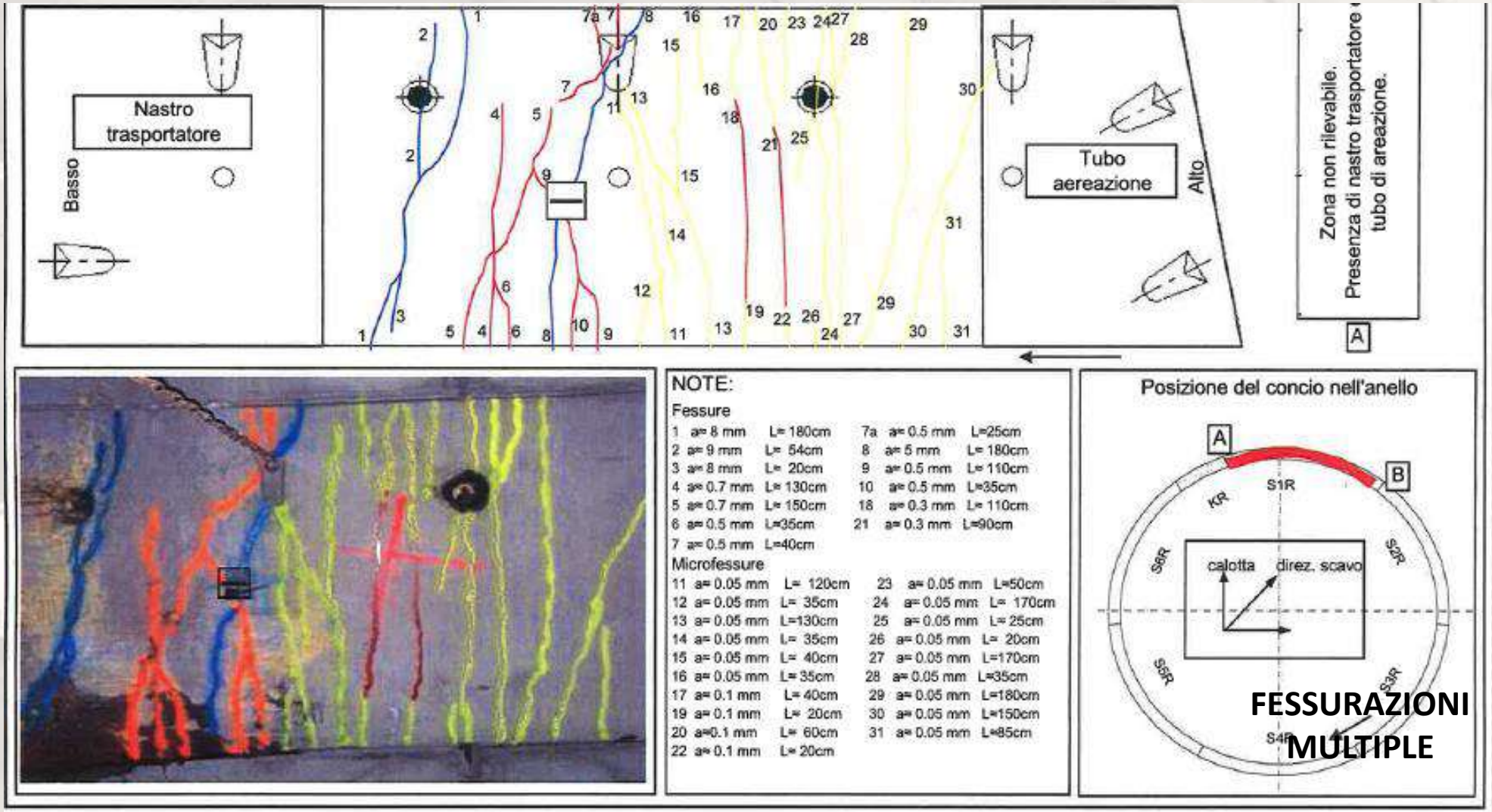
industrializzazione del processo costruttivo

- Prefabbricazione
  - ✓ riduzione dei processi costruttivi in galleria
  - ✓ qualità produzione dei conci di rivestimento
- Processo costruttivo
  - ✓ condizioni di sicurezza
  - ✓ sequenza continua scavo e rivestimento
  - ✓ controllo e monitoraggio

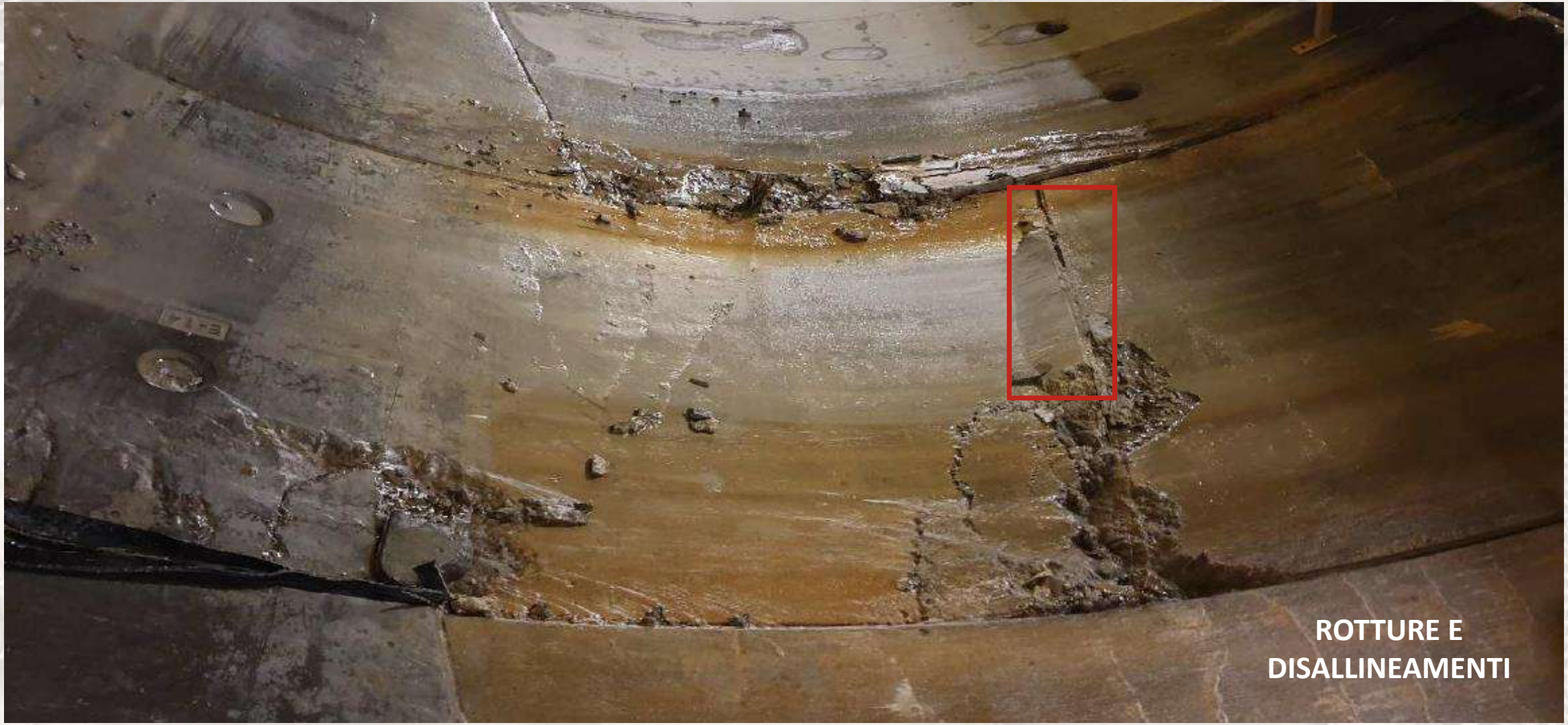
qualità del risultato finale ?


INFILTRAZIONI D'ACQUA

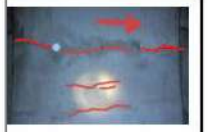
FESSURAZIONE


Nastro trasportatore
Basso
Tubo aereazione
Alto
Zona non rilevabile. Presenza di nastro trasportatore e tubo di areazione.
A
NOTE:
Fessure
1 a= 8 mm L= 180cm
2 a= 9 mm L= 54cm
3 a= 8 mm L= 20cm
4 a= 0.7 mm L= 130cm
5 a= 0.7 mm L= 150cm
6 a= 0.5 mm L=35cm
7 a= 0.5 mm L=40cm
7a a= 0.5 mm L=25cm
8 a= 5 mm L= 180cm
9 a= 0.5 mm L= 110cm
10 a= 0.5 mm L=35cm
18 a= 0.3 mm L= 110cm
21 a= 0.3 mm L=90cm
Microfessure
11 a= 0.05 mm L= 120cm
12 a= 0.05 mm L= 35cm
13 a= 0.05 mm L=130cm
14 a= 0.05 mm L= 35cm
15 a= 0.05 mm L= 40cm
16 a= 0.05 mm L= 35cm
17 a= 0.1 mm L= 40cm
19 a= 0.1 mm L= 20cm
20 a=0.1 mm L= 60cm
22 a= 0.1 mm L= 20cm
23 a= 0.05 mm L=50cm
24 a= 0.05 mm L= 170cm
25 a= 0.05 mm L= 25cm
26 a= 0.05 mm L= 20cm
27 a= 0.05 mm L=170cm
28 a= 0.05 mm L=35cm
29 a= 0.05 mm L=180cm
30 a= 0.05 mm L=150cm
31 a= 0.05 mm L=85cm
Posizione del concio nell'anello
A
B
S1R
KR
S2R
S3R
S4R
S5R
S6R
calotta
direz. scavo
FESSURAZIONI MULTIPLE

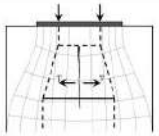
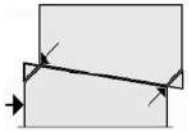
INFILTRAZIONI D'ACQUA


ROTTURE E
DISALLINEAMENTI

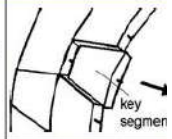
Classification of segment damage

	No.	Segment Damage	Schematic	Picture
CONCRETE SECTION DEFECTS	SC-1A	Crack starting from joint in longitudinal direction in-between thrust ram/dowel/bolt/ packer locations		
	SC-1B	Crack starting from joint in longitudinal direction at thrust ram/dowel/bolt/ packer locations		
	SC-1C	Crack starting from joint in longitudinal direction running through grout socket/shear pin recesses		
	SC-1D	Crack starting from internal face of segment		
	SC-2	Crack in circumferential direction		
	SC-3A	Spalling at segment corner		
	SC-3B	Spalling at segment edges (circumferential joint)		

Classification of segment damage

	No.	Segment Damage	Schematic	Picture
CONCRETE SECTION DEFECTS	SC-3C	Spalling at segment edges (longitudinal joint)		
	SC-3D	Damage to outer edge of circle joint		
	SC-3E	Damage around coupling elements: Shear dowels, bolt and dowel pockets, cam & pocket, tongue & groove.		
	SC-4	Splitting-bursting cracks *CSD-4A Radial Joint* *CSD-4B Longitudinal Joint*		No image available
	SC-5	Key damage during placement		
	SC-6A	Spalling around lifting socket		
	SC-6B	Lifting socket pull-out		

Classification of segment damage

	No.	Segment Damage	Schematic	Picture
CONCRETE SECTION DEFECTS	SC-7	Key movement *CSD 7A - longitudinal (towards TBM),* *CSD-7B - radial (into tunnel),* *CSD-7C - combination of above*	Movement of key out of completed ring during erection or during build of subsequent ring	
	SC-8	Fire damage		
	SC-9	Reinforcement corrosion due to aggressive water contact		No image available
	SC-10	Reinforcement corrosion due to stray currents during operation		No image available
CONCRETE SECTION DEFECTS	SU-1	Voids (bug holes)	(>5mm dia on any surface; at any location on gasket groove)	
	SU-2	Exposed reinforcement	Reinforcement exposed after casting	
	SU-3	Exposed aggregates (honeycombing)		

CATALOGO DELLE DIFETTOSITA'

ITA, 2020

1. **CALCESTRUZZO**

Fessure

Rotture e distacchi

Spalling (fuoco)

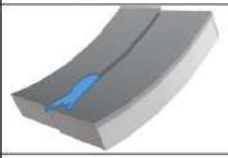
Armature esposte

Vespai, porosità

Classification of segment damage

	No.	Segment Damage	Schematic	Picture
SURFACE DEFECTS	SU-4	Loss of concrete skin	Generally occurs during demolding when concrete surface bonds with the mold	
	SU-5	Concrete damage due to aggressive water contact		
INSERT DEFECTS	ID-1	Grout or grease leakage into inserts	Bolt, dowel or other insert filled during casting process.	No image available
	ID-2	Incorrect insert location	Bolt, dowel or other insert placed incorrectly during casting process	No image available
GASKET DAMAGE	GD-1	Damage to gasket material	Rips, tears or punctures to gasket	
	GD-2	Detachment/Pull-out of gasket	Gasket loose or pulled out of groove due to collision, glue weakening, poor anchoring, rubbing/poor gasket lubrication,	
	GD-3	Incorrect positioning of gasket	Includes poorly dimensioned gaskets that do not fit segment, anchored gaskets that detach from mold during casting and are depressed into concrete, and glued gaskets that are incorrectly positioned (e.g. corners misplaced)	

Classification of segment damage

	No.	Segment Damage	Schematic	Picture
GASKET DAMAGE	GD-4	Damage to gasket due to hydrocarbons	Loss of gasket performance due to contact with hydrocarbons and/or high temperatures	No image available
WATER LEAKAGE DEFECTS	WL-1A	Excessive gap between adjacent segments		
	WL-1B	Excessive offset between segments		
	WL-2	Leakage from joints/bolt holes		
	WL-3	Leakage from cracks		
	WL-4	Leakage from insert e.g. grout hole		
OTHER	O-1	Loose Bolts	Loose bolts immediately after ring build, or after TBM advance. Excessive looseness only, minor looseness is normal.	
	O-2	Other	Other damage during manufacture or construction not included in previous classifications (please provide description)	

CATALOGO DELLE DIFETTOSITA'

ITA, 2020

2. STRATO SUPERFICIALE

3. ELEM. DI CONNESSIONE

4. GUARNIZIONE

5. INFILTRAZIONI ACQUA

SIG WOKING GROUP 2 RESEARCH
DAMAGES OF SEGMENTAL LINING 2019

- ✓ Controllo qualità
- ✓ Tipologie di difetti, cause
- ✓ Mitigazione e riparazione
- ✓ Verifiche e modellazioni
- ✓ Controlli e prove in laboratorio e in sito

Difettosità non strutturali

- ✓ difetti superficiali del calcestruzzo
- ✓ difetti della guarnizione
- ✓ rotture locali (angoli e spigoli)

da SIG WG2 Damages of segmental lining

Difettosità strutturali (*stress-induced*)

- ✓ fessure
- ✓ rotture locali (angoli e spigoli)
- ✓ spalling (fuoco)

da SIG WG2 Damages of segmental lining

I difetti dei rivestimenti

- Getto
- Scassero
- Stoccaggio in stabilimento

- Trasporto in cantiere
- Stoccaggio in cantiere
- Trasporto in TBM
- Assemblaggio
- Spinta TBM
- Intasamento a tergo

La fase di formazione dei difetti

- produzione 20% difetti
- messa in opera 80% difetti

(trasporti, assemblaggio, spinta TBM e intasamento a tergo)

- esercizio

degrado dei materiali
variazione delle condizioni al contorno
difetti non recuperati, difetti non rilevati

Rivestimenti in conci prefabbricati: dalla concezione all'esercizio

concezione → **progettazione** → **produzione** → **messa in opera** → **esercizio**

I difetti dei rivestimenti

Difetti = Non Conformità di Prodotto

I difetti dei rivestimenti

concezione → progettazione → **produzione** → **messa in opera** → **esercizio**

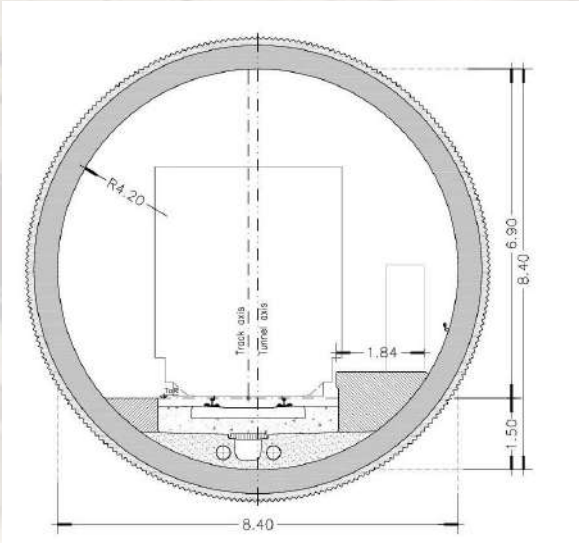
Requisiti e prestazioni

Difetti = potenziale riduzione delle prestazioni

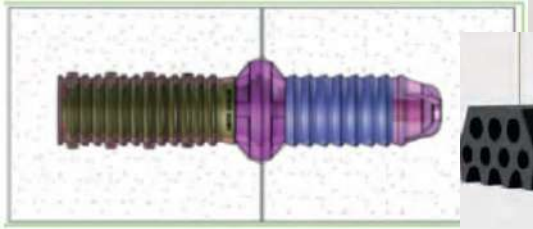
concezione

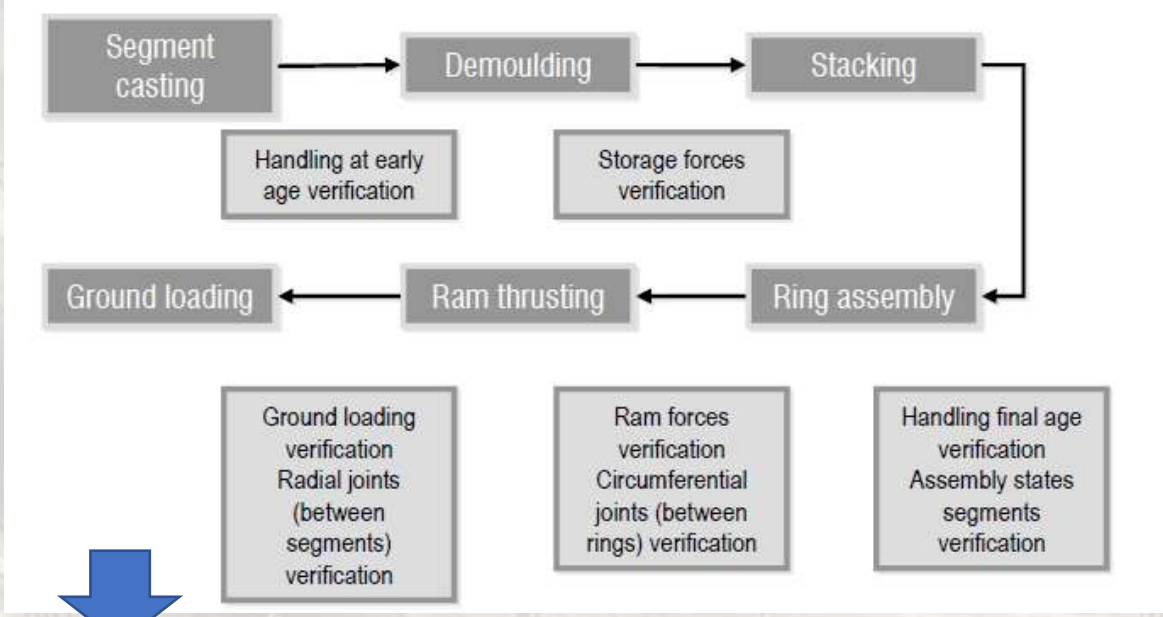
Scopo funzionalità e stabilità dell'opera in sotterraneo

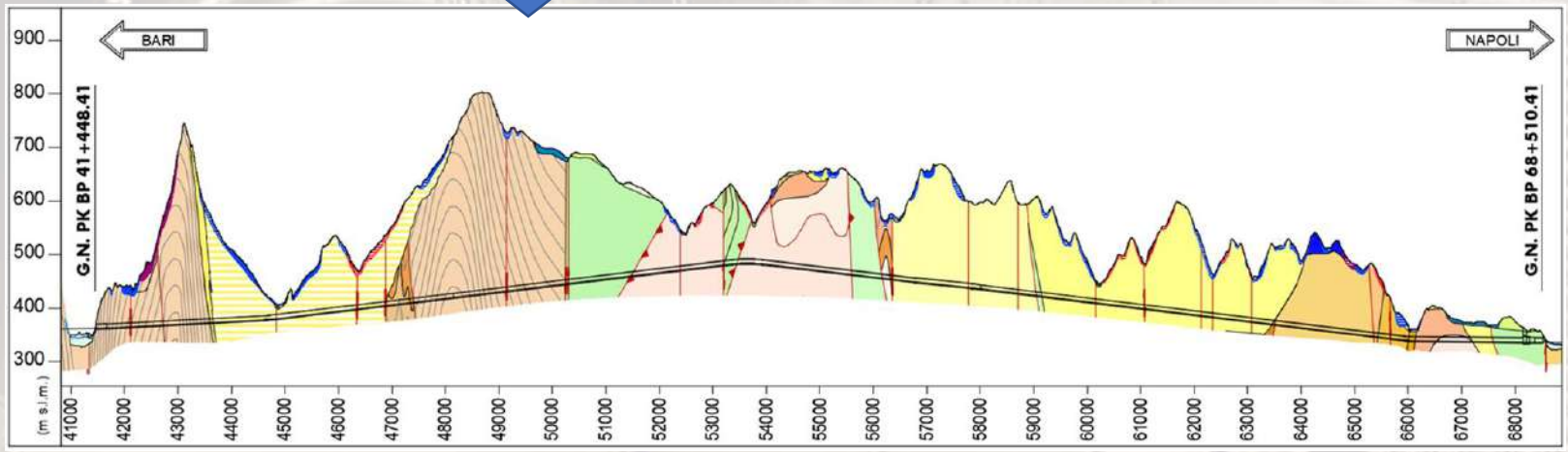
Requisiti sicurezza, funzionalità, durabilità, robustezza
impatti e interazioni con ambiente/contesto
sostenibilità, life cycle assessment



progettazione

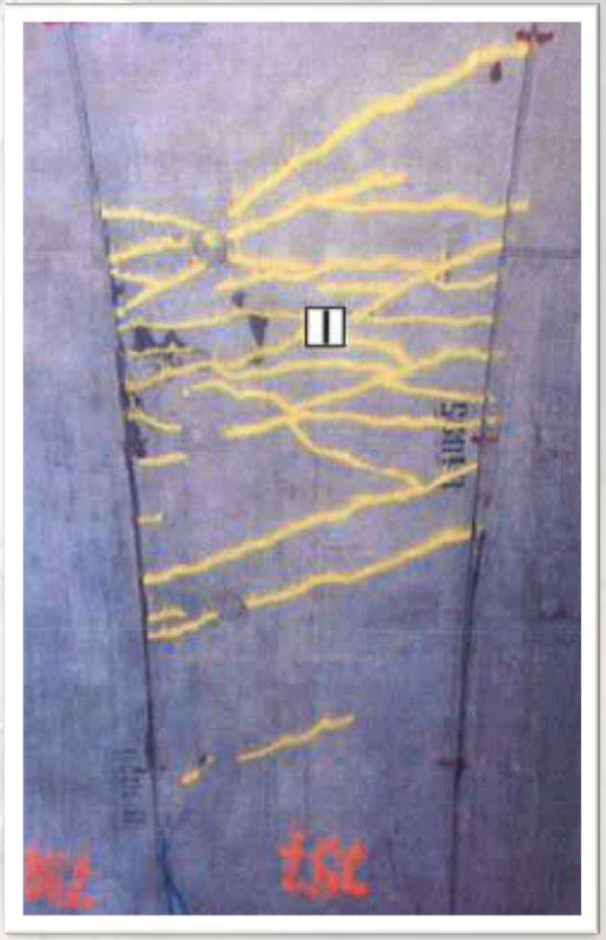






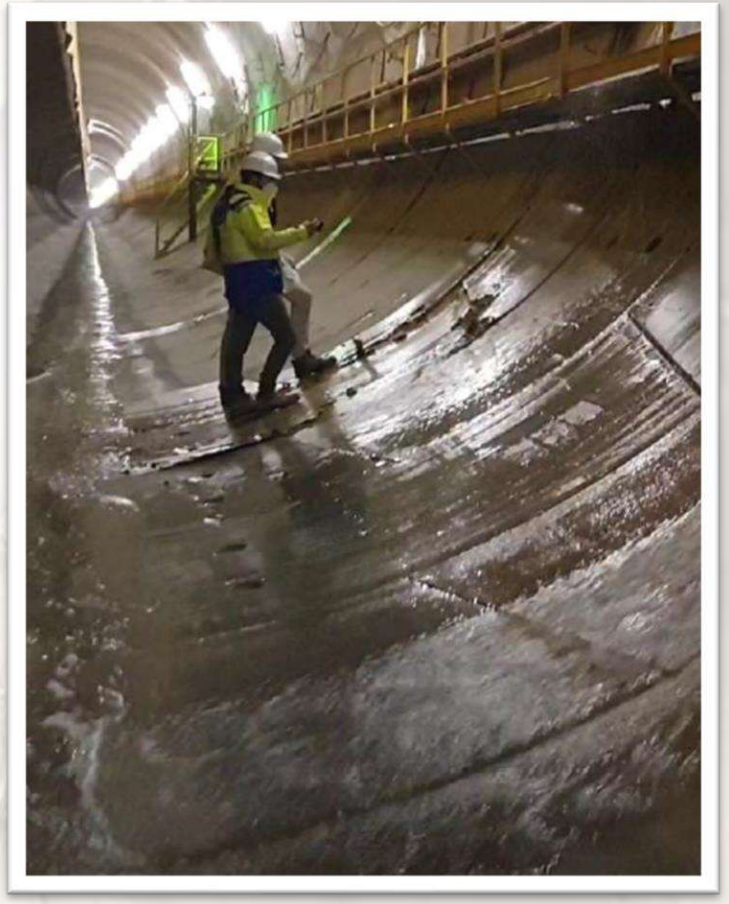
	DIFETTI (i più ricorrenti)	possibile fase di formazione/comparsa	prestazioni potenzialmente compromesse
1	fessure	produzione, messa in opera, esercizio	durabilità, prestazioni strutturali, impermeabilità
2	infiltrazioni acqua	esercizio	impermeabilità, durabilità, funzionalità
3	disallineamenti e gap tra conci	messa in opera, esercizio	impermeabilità, prestazioni strutturali
4	geometria dell'anello (ovalizzazione)	messa in opera, esercizio	impermeabilità, prestazioni strutturali
5	rotture/danneggiamenti locali del calcestruzzo	messa in opera	durabilità, impermeabilità
6	guarnizione danneggiata	produzione, messa in opera	impermeabilità, durabilità
7	riempimento a tergo conci carente	messa in opera	prestazioni strutturali

Fessurazioni



- produzione, messa in opera, esercizio
- durabilità, prestazioni strutturali, impermeabilità

Infiltrazioni di acqua



esercizio

impermeabilità ➡ durabilità, funzionalità

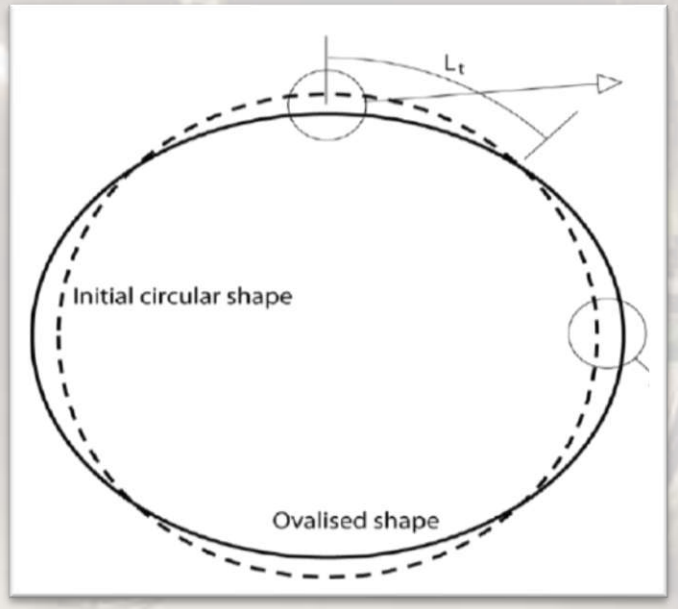
Gap e disallineamenti tra conci

messa in opera, esercizio

impermeabilità, prestazioni strutturali

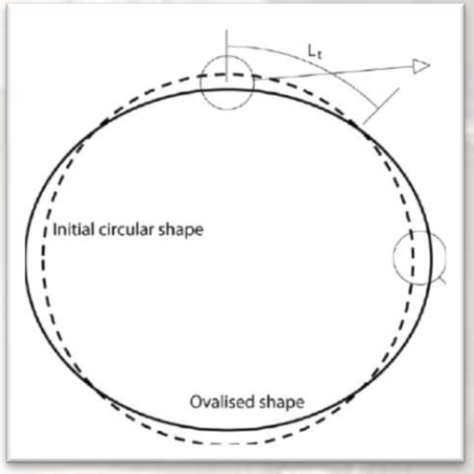
Perdita di geometria dell'anello

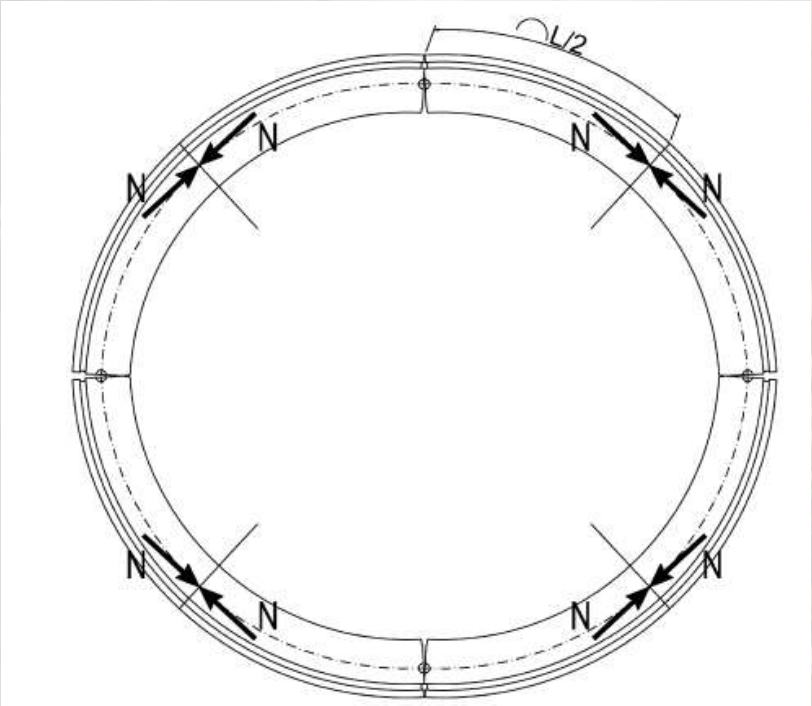
- messa in opera, esercizio
- impermeabilità, prestazioni strutturali



da di Prisco M (2021).

Perdita di geometria dell'anello

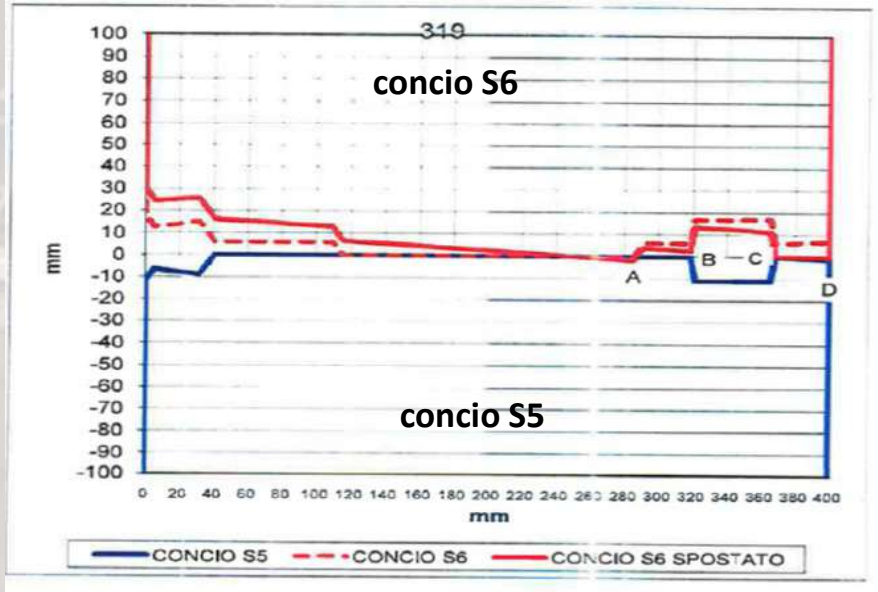




da Caratelli et al. (2018) *On the behaviour of radial joints in segmenal lining TUST 71*

da Caratelli et al. (2018) *On the behaviour of radial joints in segmenal lining TUST 71*

giunto longitudinale

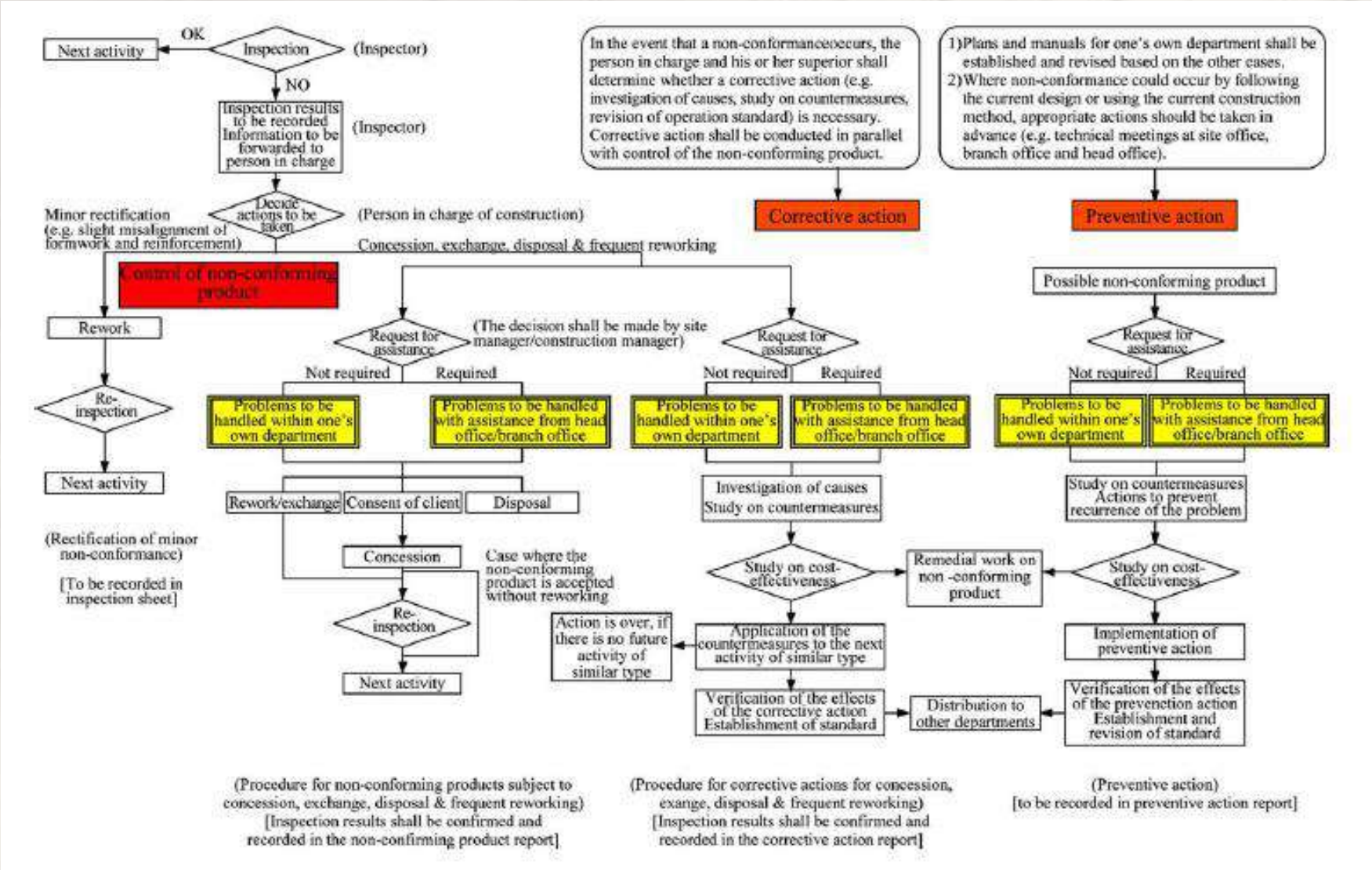


Riempimento a tergo carente

messa in opera

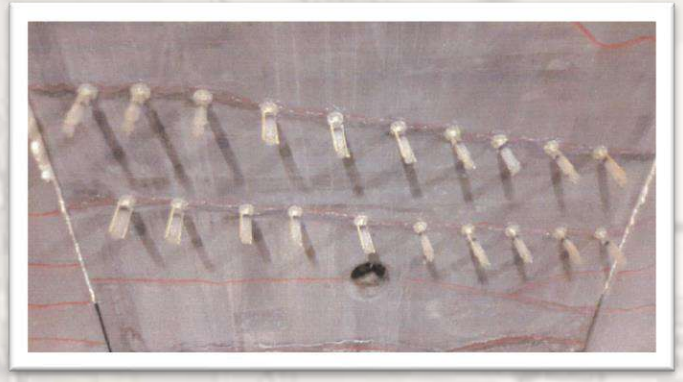
prestazioni strutturali

Il processo di gestione delle difettosità: la teoria



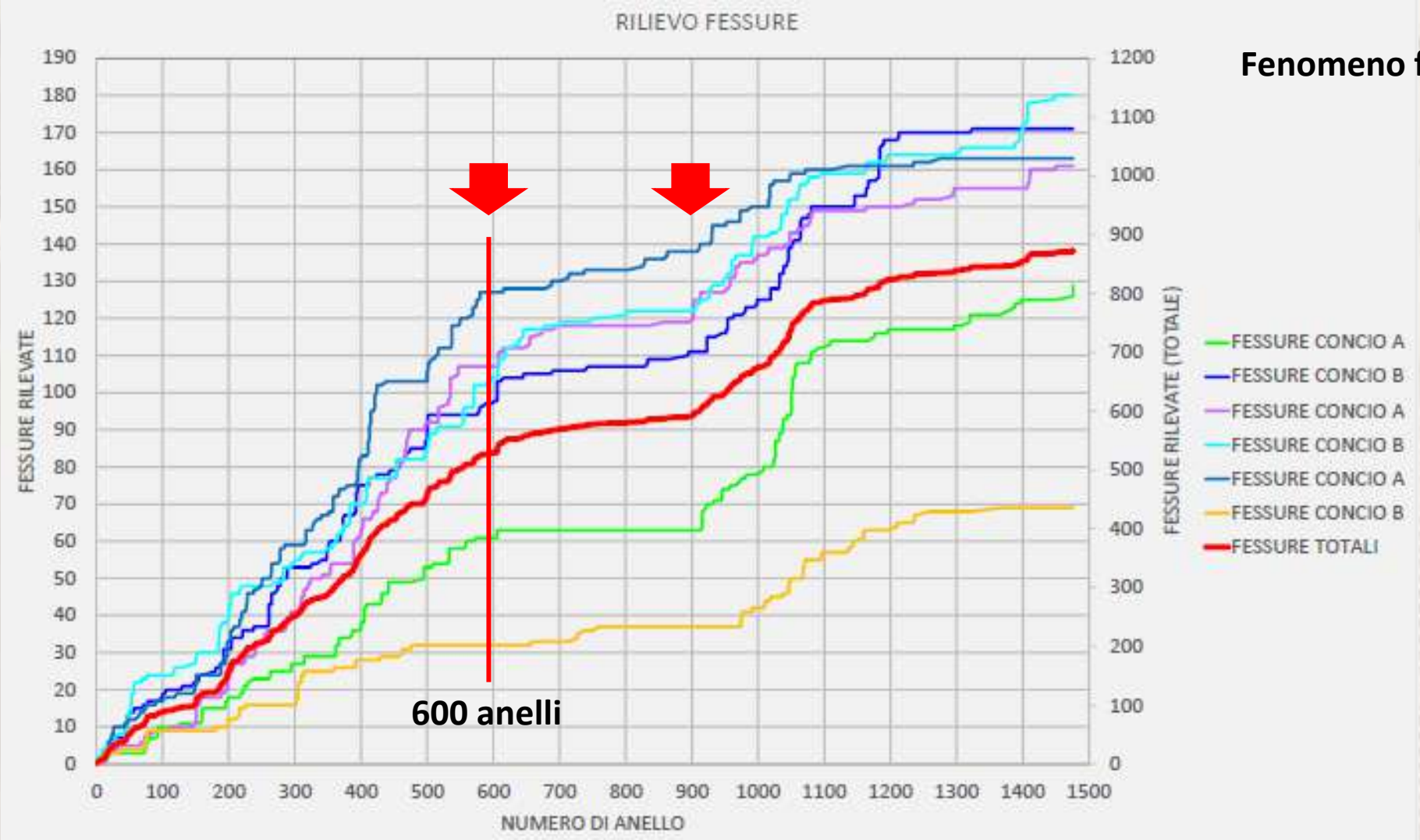
Il processo di gestione delle difettosità: la pratica

- Focus sulla riparazione
  - criteri di accettazione
  - procedure per la riparazione



- Soggettività nell'analisi e nella valutazione della rilevanza del difetto
- Scarsa tempestività nell'analisi e nella correzione

Fenomeno fessurativo



Il processo di gestione delle difettosità: le aree di miglioramento

1. L' analisi del difetto
2. La valutazione della riduzione di prestazioni attese
3. La valutazione del ripristino delle prestazioni attese
4. La prevenzione

1. L'analisi del difetto

a. Individuazione del difetto

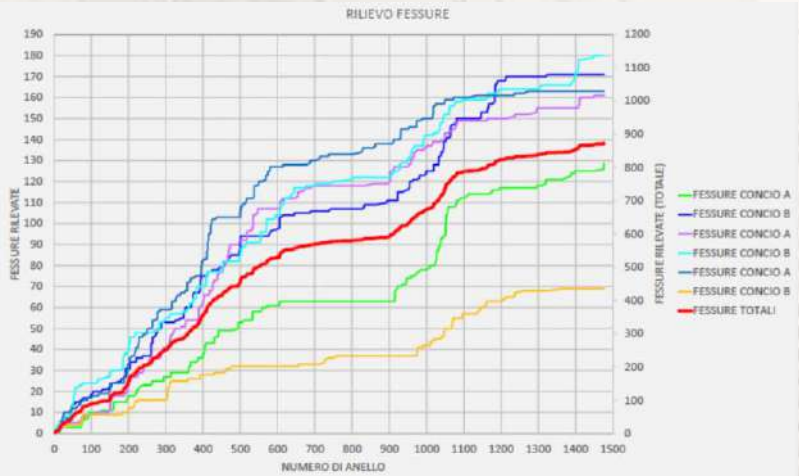
b. Caratterizzazione del difetto

c. Restituzione dei dati

d. Analisi delle cause

a. individuazione del difetto

- cosa osservare e controllare
- metodi e strumenti per il controllo
- tempestività del controllo
- responsabilità del controllo

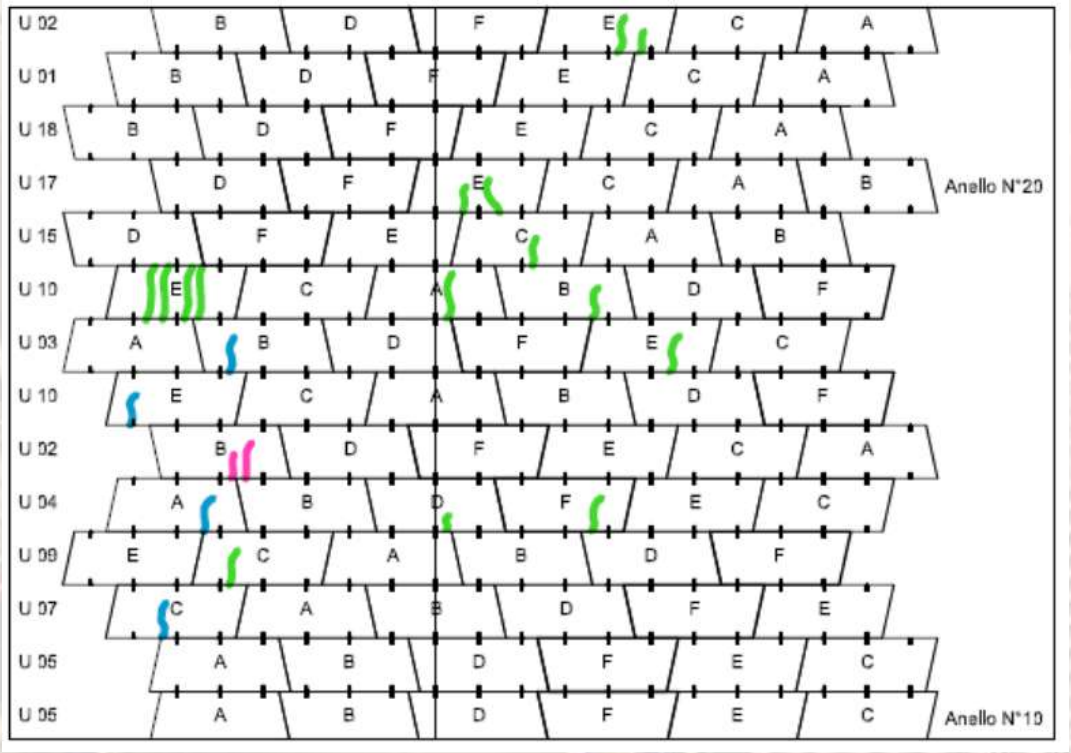


b. caratterizzazione del difetto

- Tipologia ed entità del difetto
  - caratteri geometrici (ad es. apertura, lunghezza, profondità di una fessura)
  - ubicazione del difetto
- Sistematicità del difetto
- Ricorrenza del difetto sul singolo elemento o su una tratta di galleria
- Stabilità nel tempo
- Concomitanza di diverse difettosità
- Correlazione con altri difetti visibili e/o non visibili

c. restituzione dei dati

- rappresentazione efficace e sintetica
- aggiornamento
- archiviazione

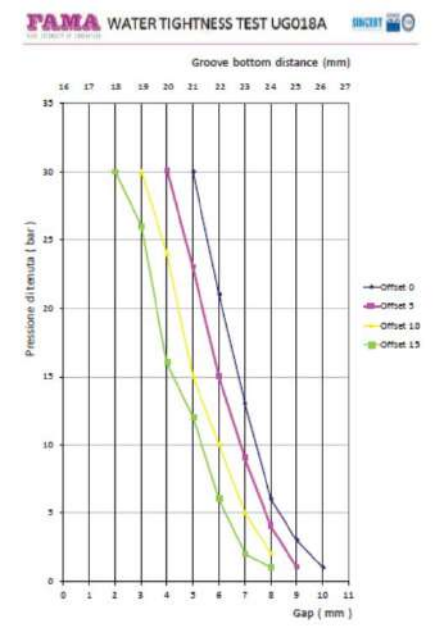


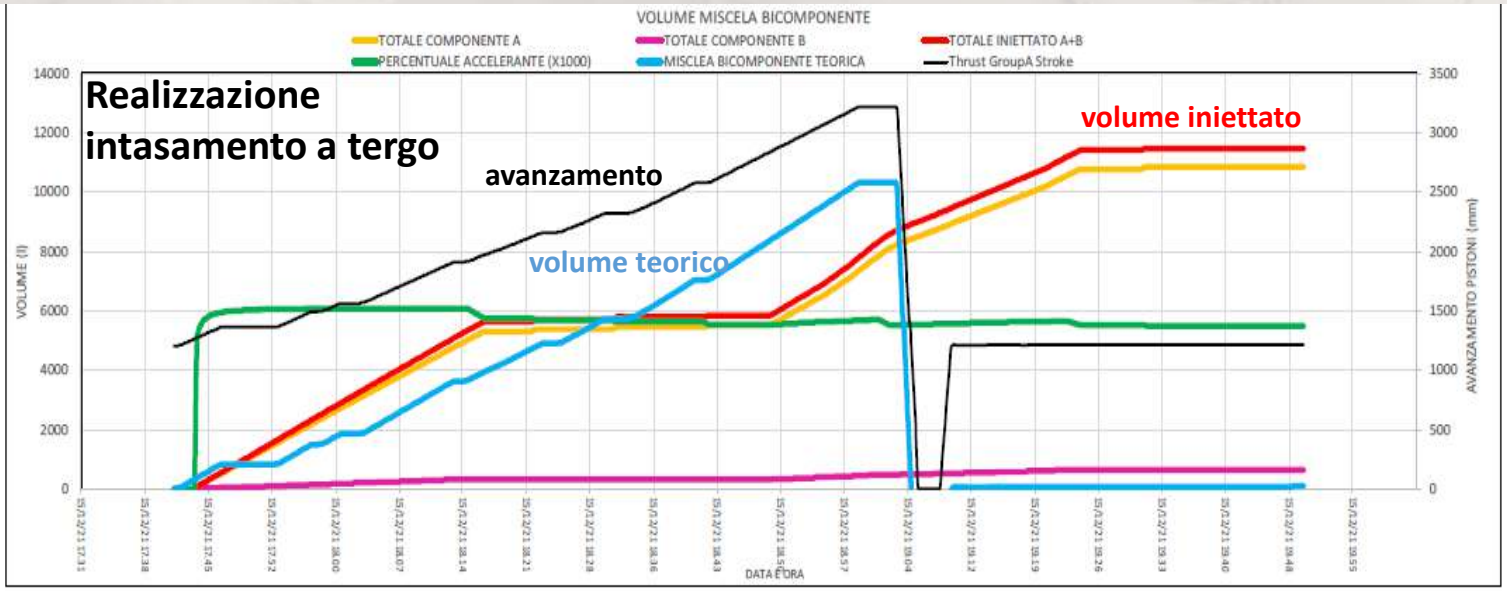
d. le cause dei difetti

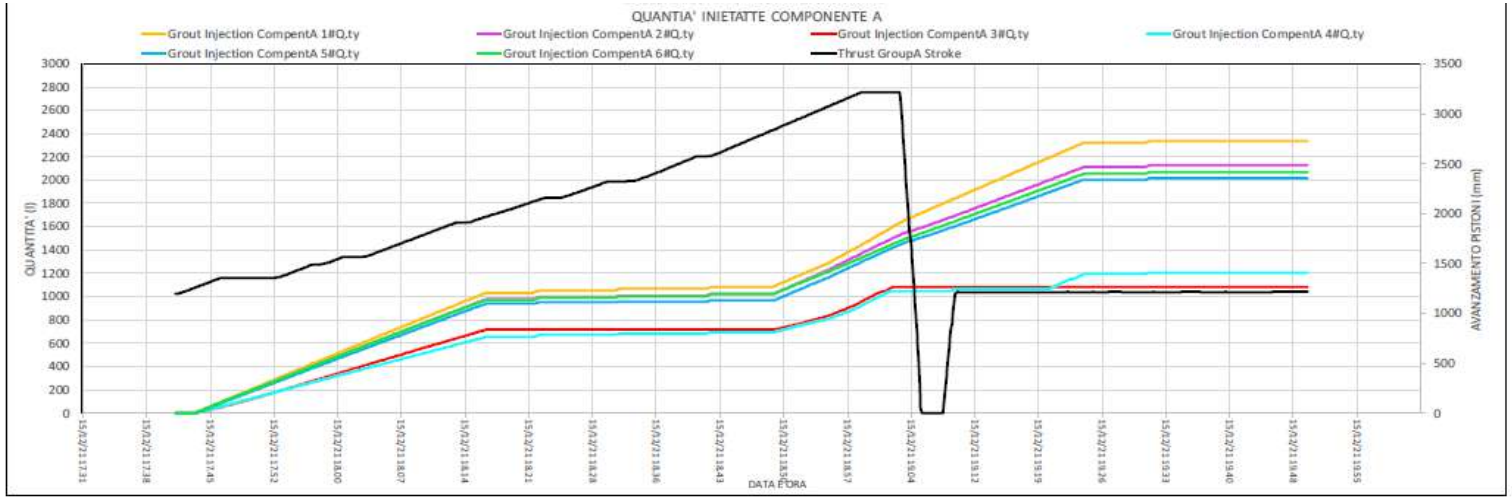
- progetto
- materiali e componenti
- costruzione

da SIG WG2 Damages of segmental lining

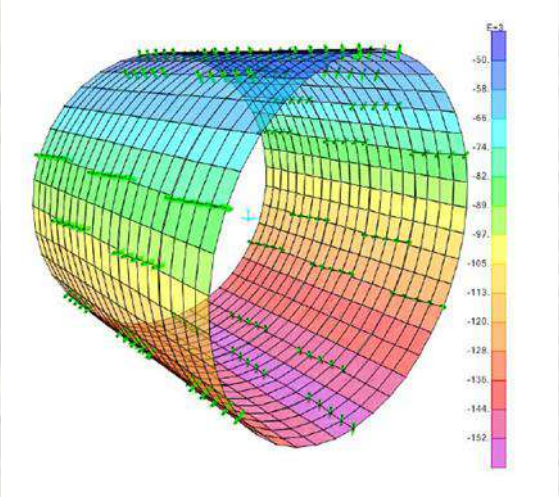
Requisito di impermeabilità







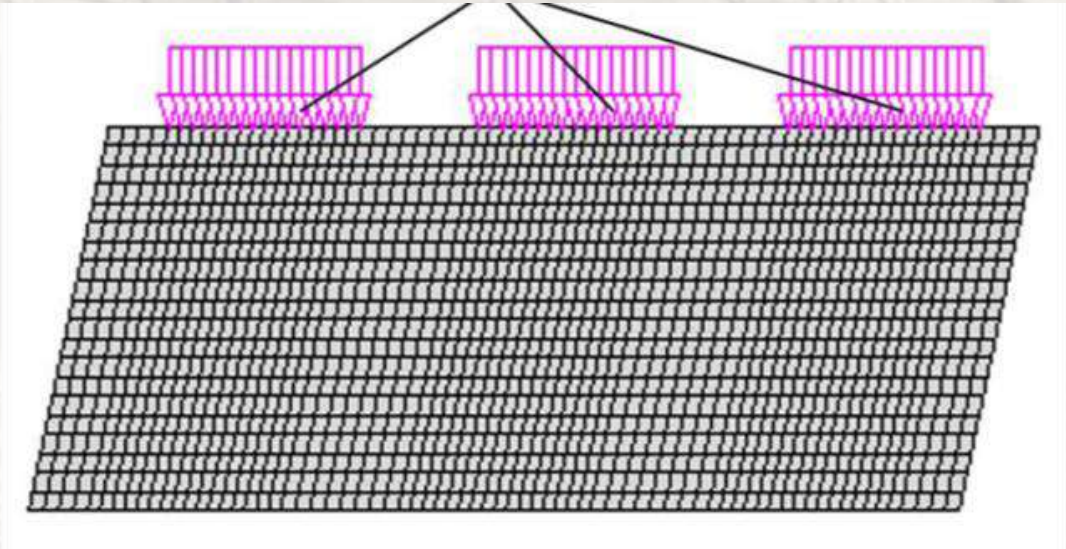
Requisito prestazioni strutturali



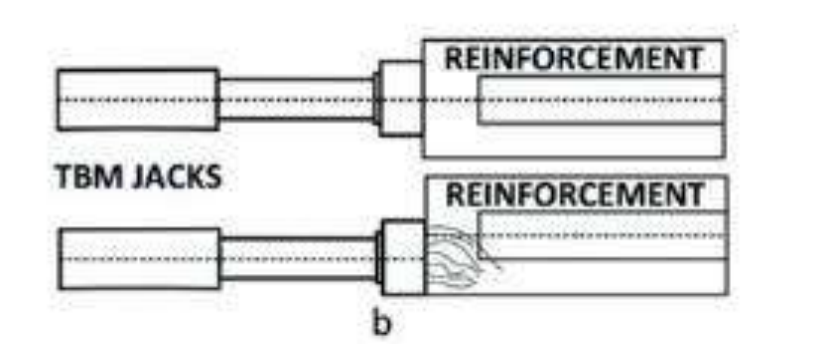
da Moia, Pizzarotti *Scavo di gallerie con TBM scudate – Rivestimenti in anelli di conci prefabbricati in c.a.*

Requisito prestazioni strutturali

Distribuzione della spinta

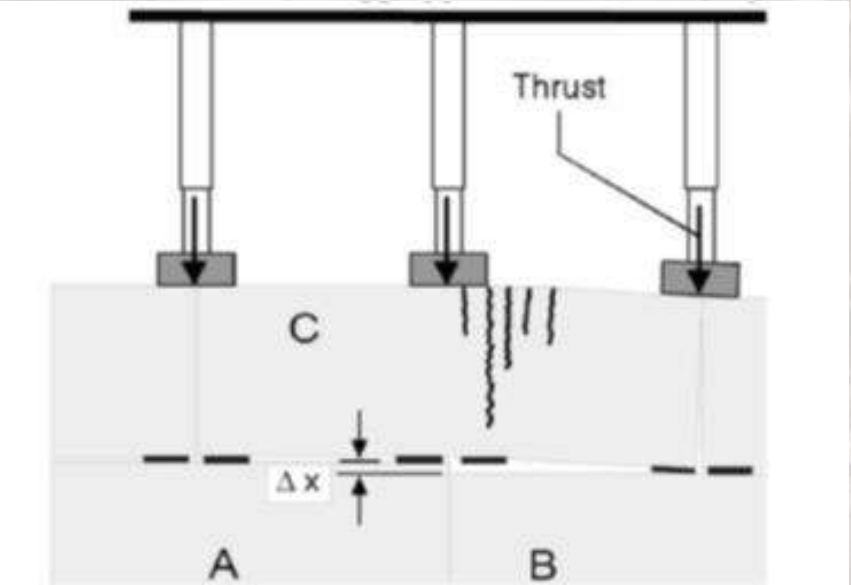


Eccentricità

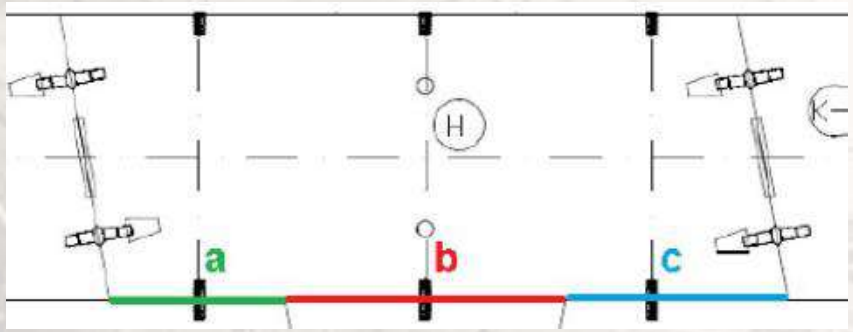


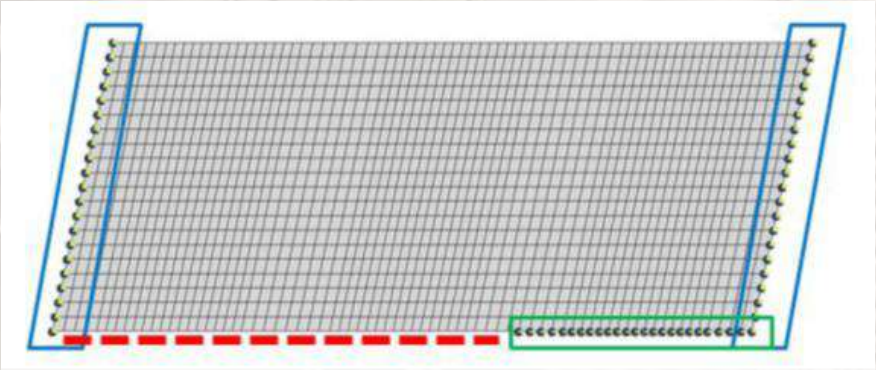
Requisito
prestazioni strutturali

Condizione di appoggio irregolare



da SIG WG2 *Damages of segmental lining.*

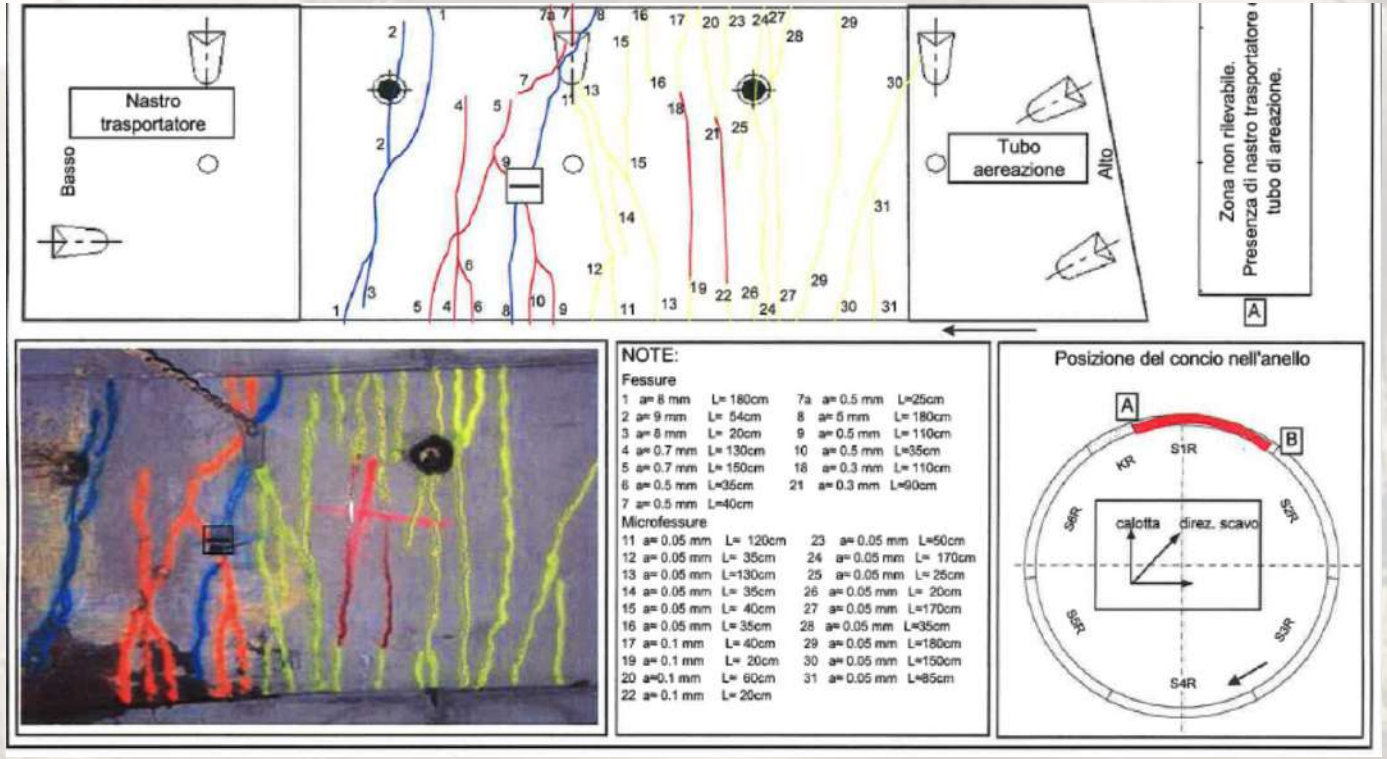




Il processo di gestione delle difettosità: le aree di miglioramento

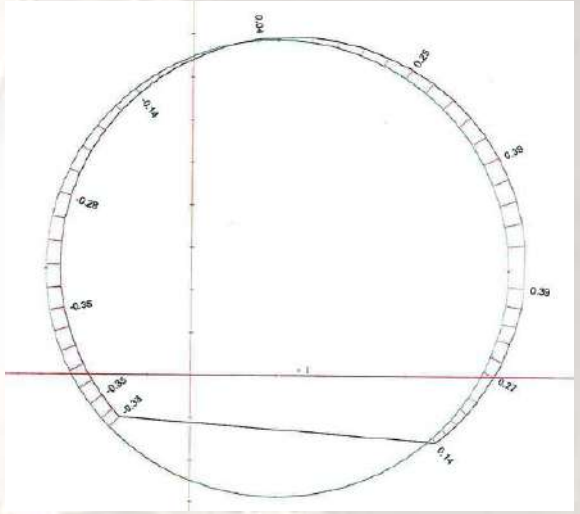
1. L' analisi del difetto
2. La valutazione della riduzione di prestazioni attese
3. La valutazione del ripristino delle prestazioni attese
4. La prevenzione

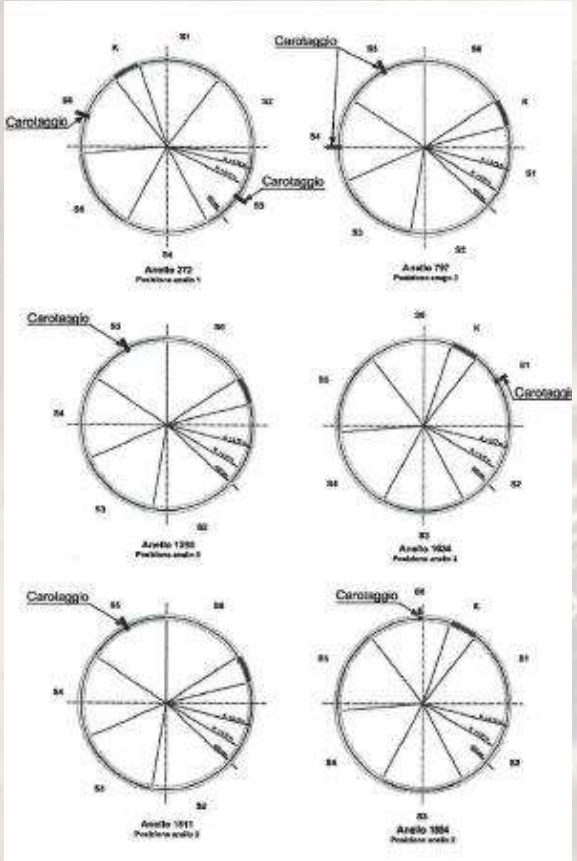
2. La riduzione di prestazioni

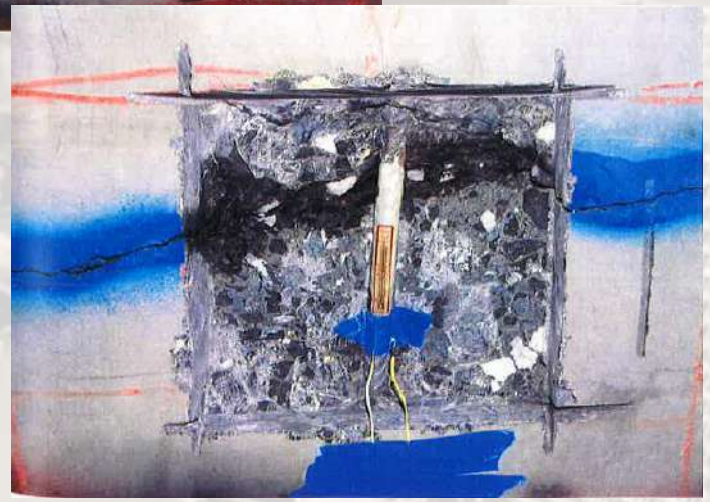


N.	IRREGOLARITÀ	CONSEGUENZE STRUTTURALI	IMPERMEABILITÀ DEI GIUNTI
1	**Disallineamento** lungo i giunti **longitudinali**	Nel caso di disallineamento > 30mm	Non garantita nel caso di disallineamento >20mm
2	**Disallineamento** lungo i giunti **circonferenziali**	Nessuna	Non garantita nel caso di disallineamento >20mm
3	**Deformazione** dell'anello di conci (ovalizzazione: cerchio → ellisse)	-Nel caso di ovalizzazione >120mm (anello posizione 3) -Nel caso di ovalizzazione > 70mm (anello posizione 1,2)	-Non garantita nel caso di ovalizzazione >46mm (anello posizione 3) -Non garantita nel caso di ovalizzazione > 32mm (anello posizione 1)
4	**Sbeccatura** lungo i giunti **longitudinali**	Nel caso di -riduzione dell'area di contatto > 30mm -indicazione per la presenza di sbeccature su lato esteriore	Compromessa solo se ci sono indicazioni per sbeccatura lungo il lato esteriore
5	**Sbeccatura** lungo i giunti **circonferenziali**	Nessuna	Solo se ci sono indicazioni per sbeccatura lungo il lato interiore
6	**Fessure** nei conci	In funzione delle condizioni geomeccaniche e di copertura possono esistere conseguenze strutturali	Impermeabilizzazione delle fessure

2. La riduzione di prestazioni

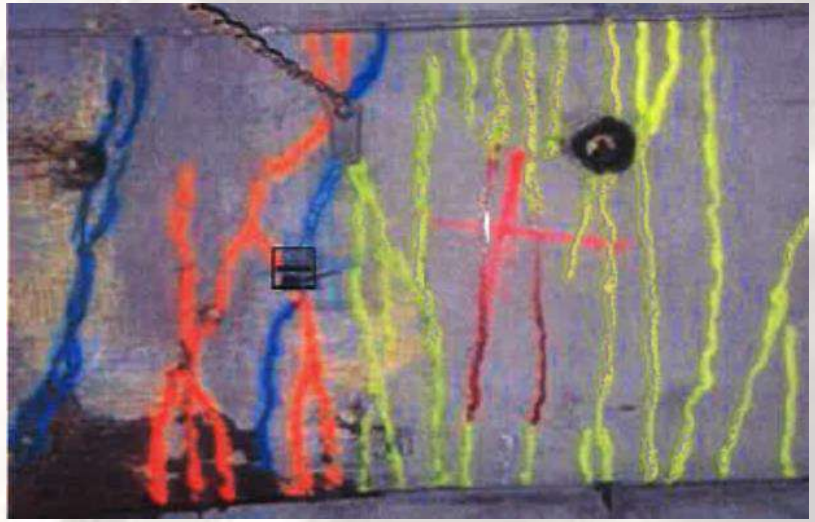


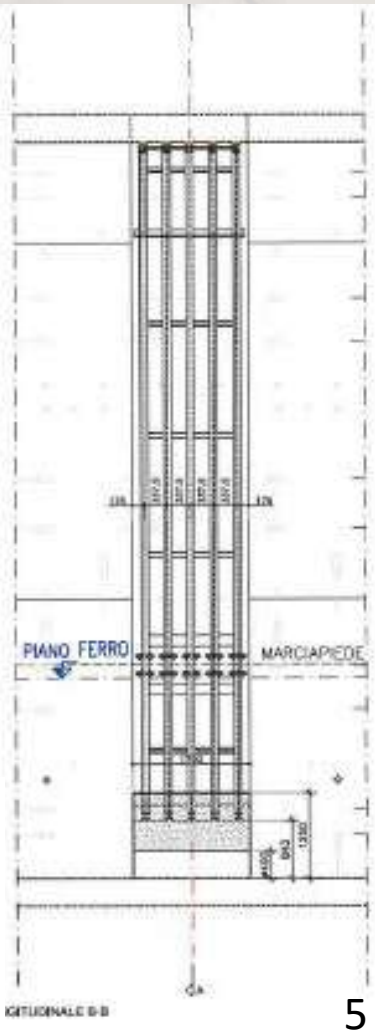


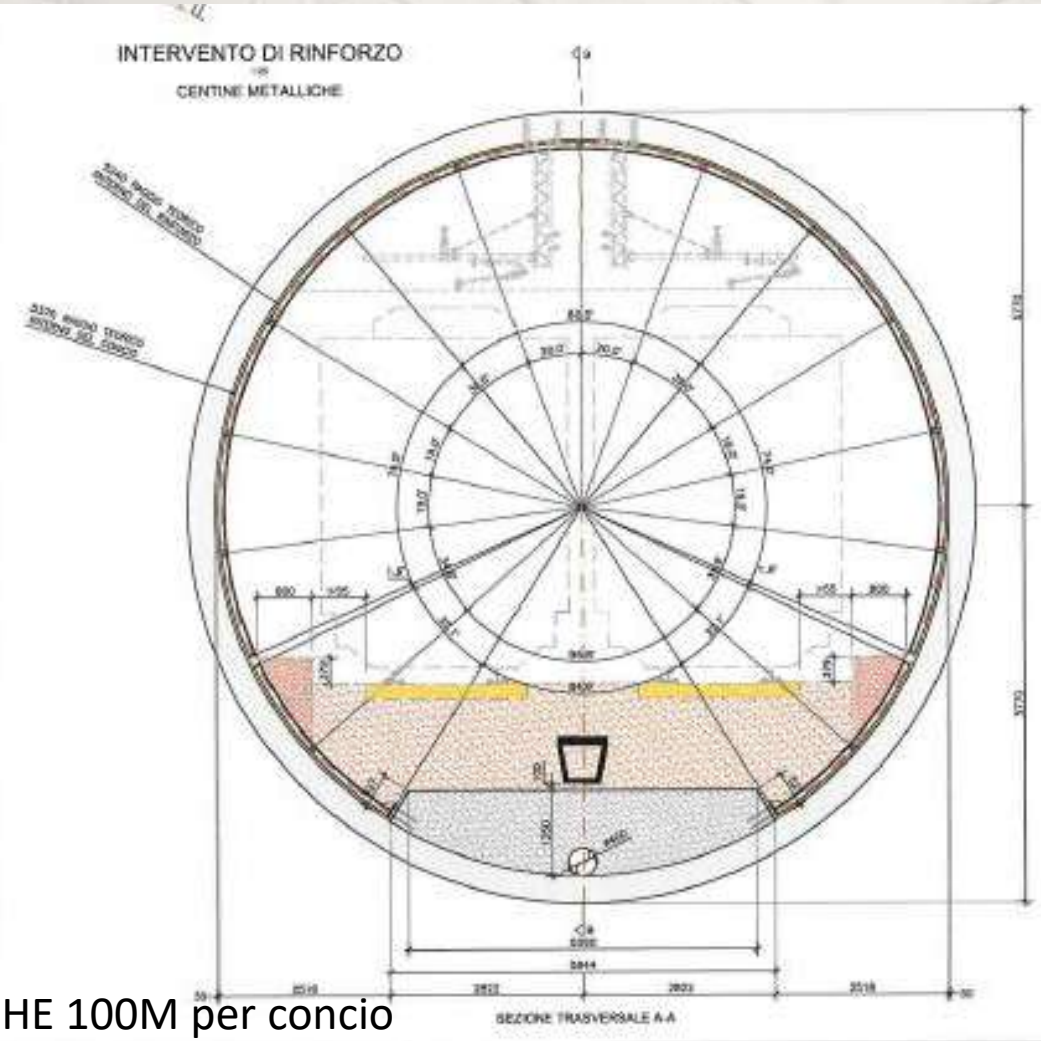


Il ripristino della difettosità deve garantire requisiti e prestazioni attese

3. Il ripristino delle prestazioni ?







5 HE 100M per concio

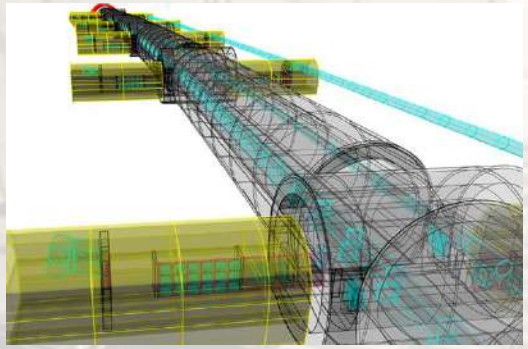
Il processo di gestione delle difettosità: le aree di miglioramento

1. L' analisi del difetto
2. La valutazione della riduzione di prestazioni attese
3. La valutazione del ripristino delle prestazioni attese
4. La prevenzione

4. La prevenzione delle difettosità

a. Miglioramento del processo di gestione delle difettosità

- ✓ metodi e standard
- ✓ sistemi di misura e controllo,
- ✓ qualità e tempestività di controlli e rilievi
- ✓ comunicazione e gestione dei dati



b. Provvedimenti progettuali

- ✓ geometria dei conci, sistema di connessione, protezione spigoli
- ✓ ipotesi e modelli di calcolo

c. Capitolati di progettazione e costruzione

- ✓ definizione di tolleranze, prove e controlli

criteri premianti nelle gare d'appalto

d. Innovazioni tecnologiche

- ✓ per la tracciabilità e trasparenza delle informazioni (piattaforme, segment tracking…)
- ✓ per la gestione delle informazioni
- ✓ montaggio e posa in opera assistita,
- ✓ evoluzione dei materiali

e. Reintegrare le diverse fasi in un quadro unitario

Grazie

Massimo Pasquali, Francesca Martelli, Maurizio Carini
S.O. Gallerie - Italferr S.p.A.