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

PRO ITER PROGETTO INFRASTRUTTURE TERRITORIO S.R.L.

Enrico Maria Pizzarotti
Presidente e Direttore Tecnico Pro Iter Srl
Consigliere CTE e SIG
enrico.pizzarotti@proiter.it

INTRODUZIONE E ASPETTI GENERALI: TIPOLOGIE, MORFOLOGIE/GEOMETRIE. NORMATIVE, LINEE GUIDA, RACCOMANDAZIONI.

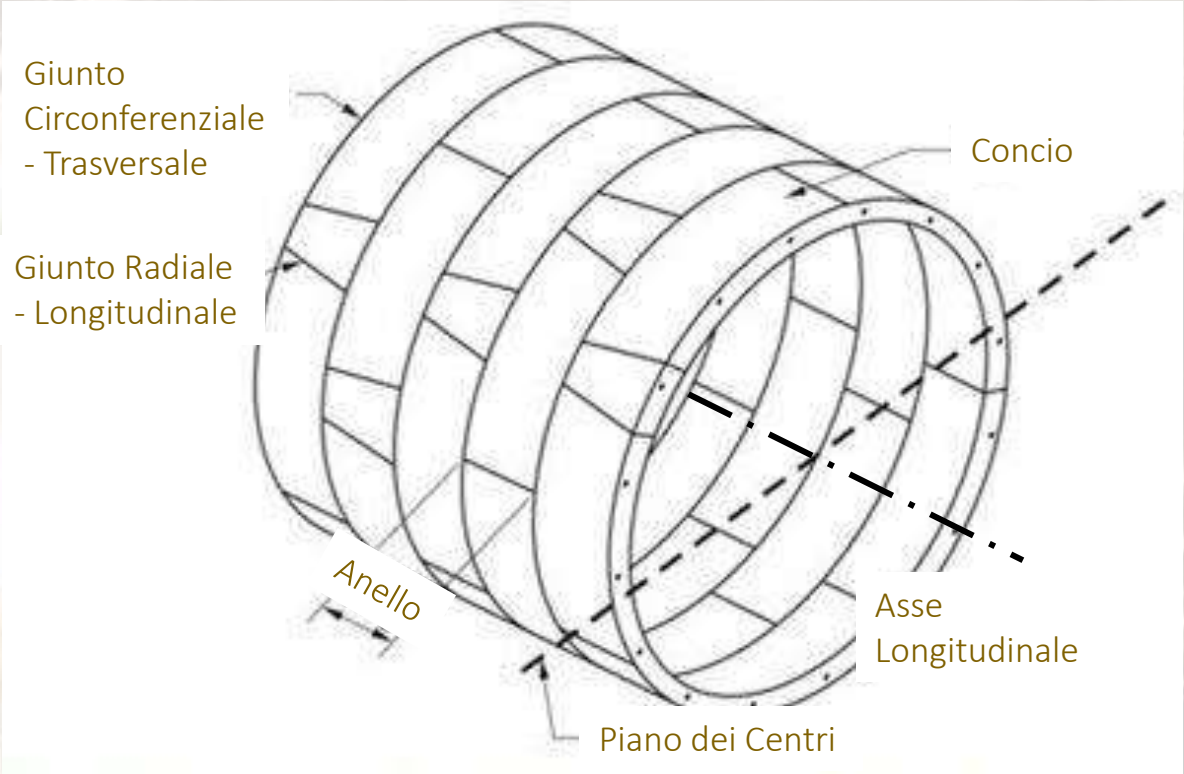
1. Introduzione e Aspetti Generali

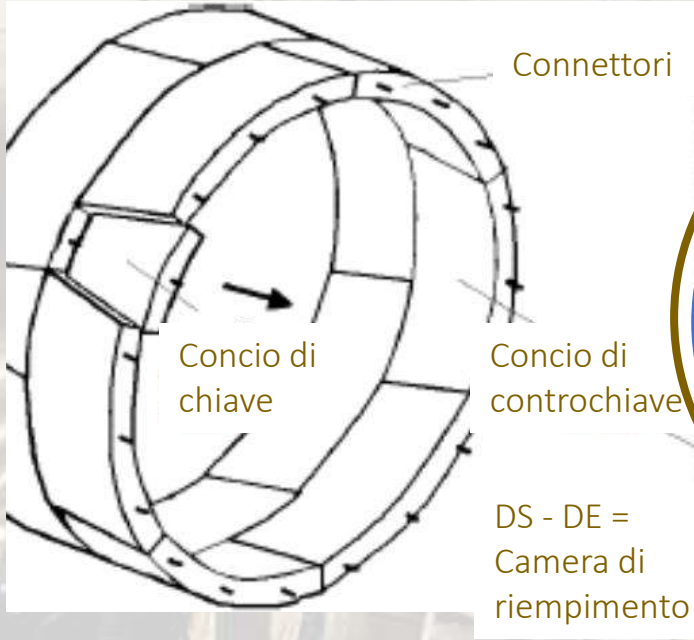
- Evoluzione nel tempo diametro di scavo e lunghezza del rivestimento
- Legame tra diametro interno e spessore del rivestimento
- Legame tra diametro di scavo, spessore del rivestimento e camera di riempimento
- Legame tra diametro di scavo, snellezza dell'anello e dei conci
- Morfologia dei conci
- Geometria dei conci
- Geometria del concio chiave
- Geometria dell'anello
- Morfologia dei giunti
- Unioni dei giunti longitudinali
- Unioni dei giunti trasversali
- Unioni particolari
- Guarnizioni
- Guarnizioni e sistema di impermeabilizzazione
- Inserti particolari
- Configurazione dell'anello
- Armatura e Calcestruzzo
- Tolleranze, misure e controlli dimensionali

2. Normative, Linee Guida e Raccomandazioni

- Precast concrete tunnel segments
- Precast tunnel segments FRC
- FRC
- GFRP
- Danni

1. Introduzione e Aspetti Generali





Il rivestimento deve garantire diverse funzioni:

- Rispetto della sagoma limite interna della galleria
- Integrità strutturale durante tutte le fasi di realizzazione e di servizio (scasseratura, movimentazione, stoccaggio, trasporto, installazione, spinta della TBM, grouting, esercizio (con relativi carichi di servizio ed eccezionali)
- Impermeabilità (se richiesta, a seconda della funzione e della presenza o meno di un rivestimento interno; il rivestimento unico in anelli di conci prefabbricati viene definito ONE-PASS LINING)
- Durabilità di tutti i componenti (CLS, acciaio, guarnizioni, ecc.) nei confronti di agenti aggressivi esterni o interni, controllo della fessurazione, corrosione per correnti vaganti, ecc.)
- Installazione agevole e precisa

Evoluzione nel tempo:

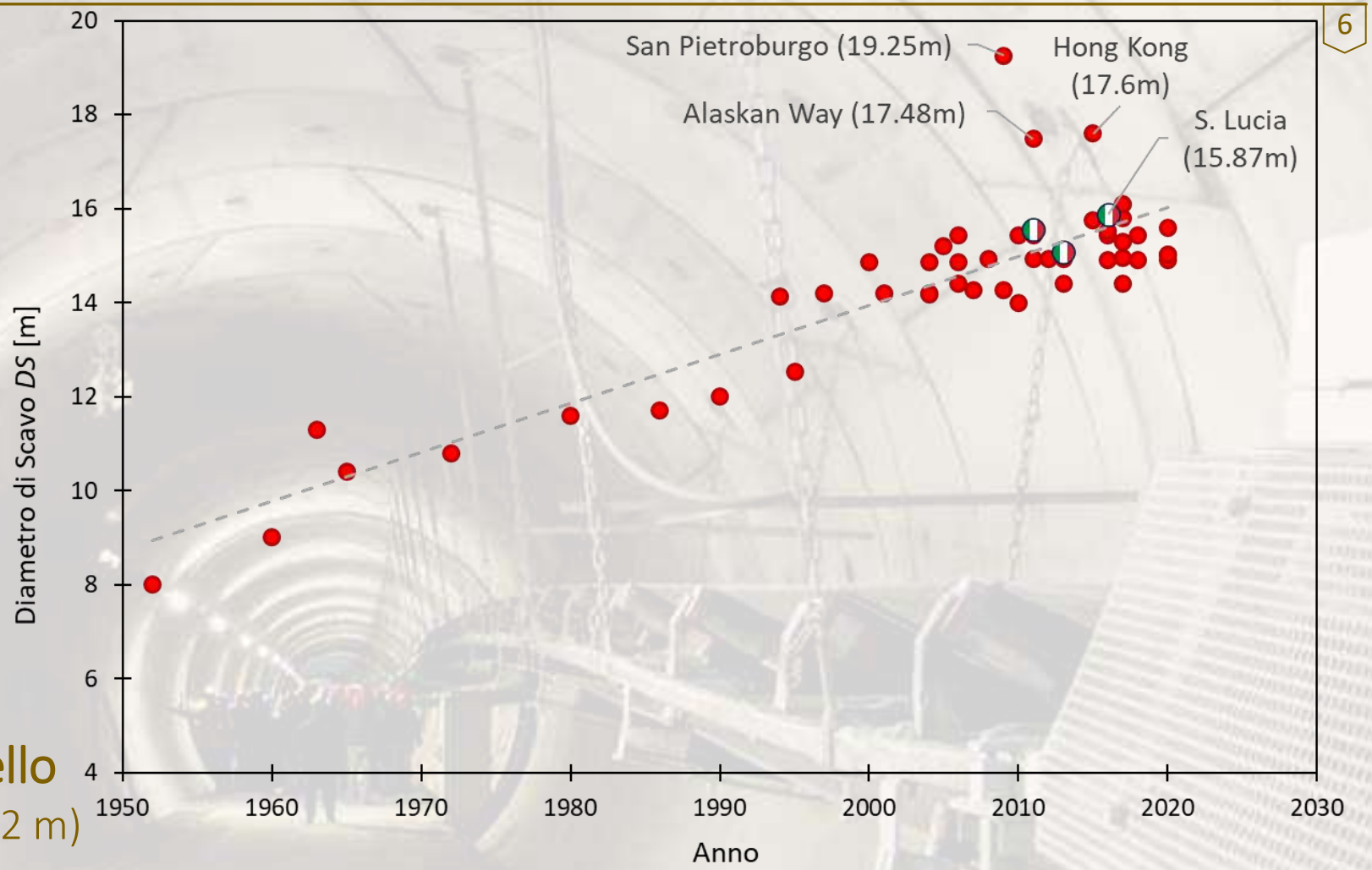
- Estensione dell'applicazione della tipologia di scavo meccanizzato e rivestimento in conci in più condizioni
- Aumento dei diametri di scavo
- Riduzione degli spessori del rivestimento e aumento della snellezza degli elementi
- Aumento delle lunghezze e degli sviluppi circonferenziali dei conci
- Ottimizzazione delle armature e dei sistemi di tenuta idraulica e di connessione concio-concio e anello-anello

Effetti:

- Riduzione dei tempi e dei costi di produzione e installazione
- Riduzione del numero di conci per anello, di giunti, connessioni e sviluppo delle guarnizioni
- Riduzione del grado di labilità del Sistema Anello, aumento dei pesi degli elementi
- Maggior resistenza a parità di sezione e maggiori prestazioni statiche complessive
- Miglior qualità del prodotto

Evoluzione del diametro di scavo nel tempo

IN ITALIA	
Galleria Caltanissetta	*DS* = 15.08m
Galleria Sparvo	*DS* = 15.55m
Galleria S. Lucia	*DS* = 15.87m
NEL MONDO	
Tuen Mun – Chek Lap Kok Link (Hong Kong)	*DS* = 17.60m
Orlovsky Tunnel (San Pietroburgo) Design phase	*DS* = 19.25m



Evoluzione della lunghezza dell'anello

da 0.75 m a 2.5 m (es. Orlovsky Tunnel 2.2 m)

Enrico Maria Pizzarotti
enrico.pizzarotti@proiter.it

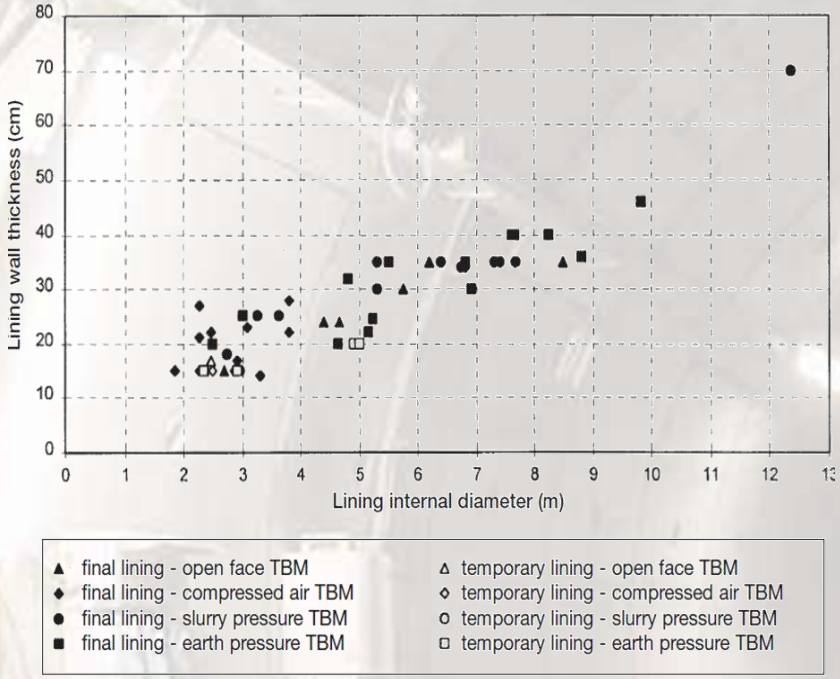
La lunghezza dell'anello può variare a seconda del diametro di scavo: dipende dal raggio di curvatura del tracciato (il rivestimento non deve interferire con la coda dello scudo) e, quindi, dalle dimensioni dell'intercapedine anulare tra rivestimento e scudo, dalle sagome limiti di trasporto, dagli spazi del back-up e dalla capacità e cinematismi dell'erettore. In certi casi, si usa un'alternanza di anelli corti, per le curve, e lunghi.

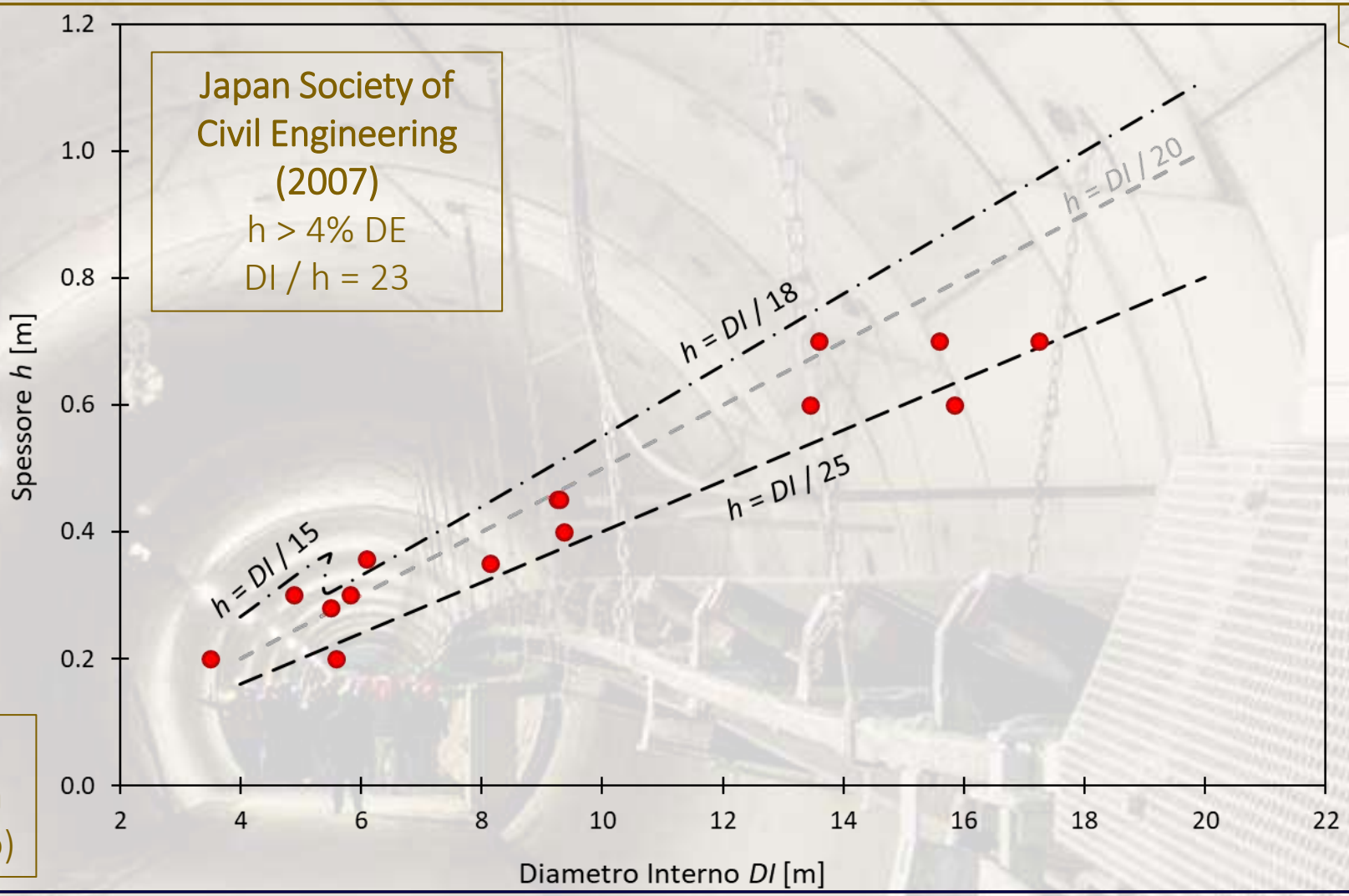
Dal punto di vista dell'efficienza, tanto più è lungo l'anello tanto più si risparmia sui tempi e sui costi (accessori, guarnizioni, numero di elementi da produrre, ecc.).

Indicativamente:

- per DS = 6 ÷ 7 m L = 1,5 m
- per DS = 7 ÷ 9 m L = 1,75 m
- per DS > 9 m L = 2 m

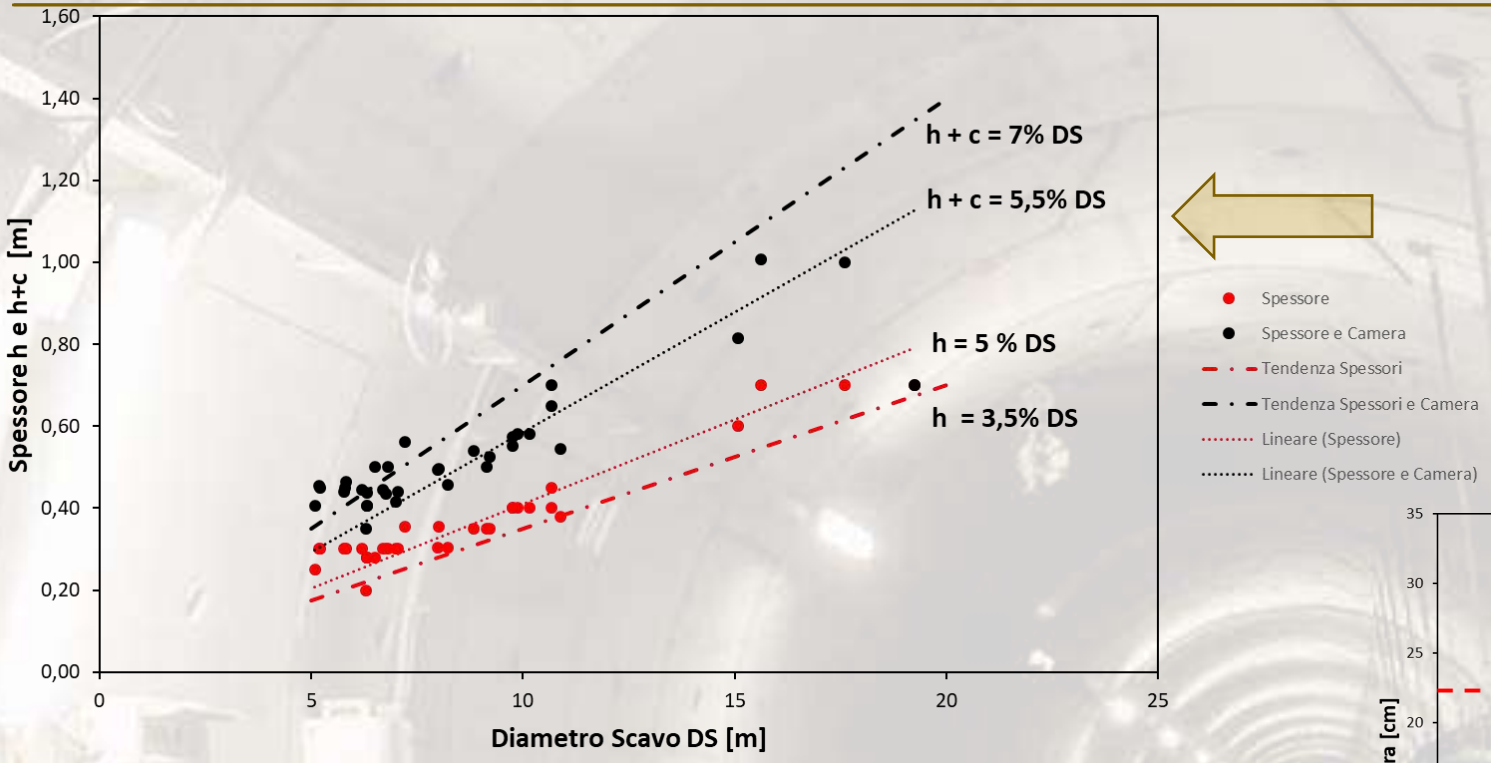
Legame tra il diametro interno e lo spessore del rivestimento





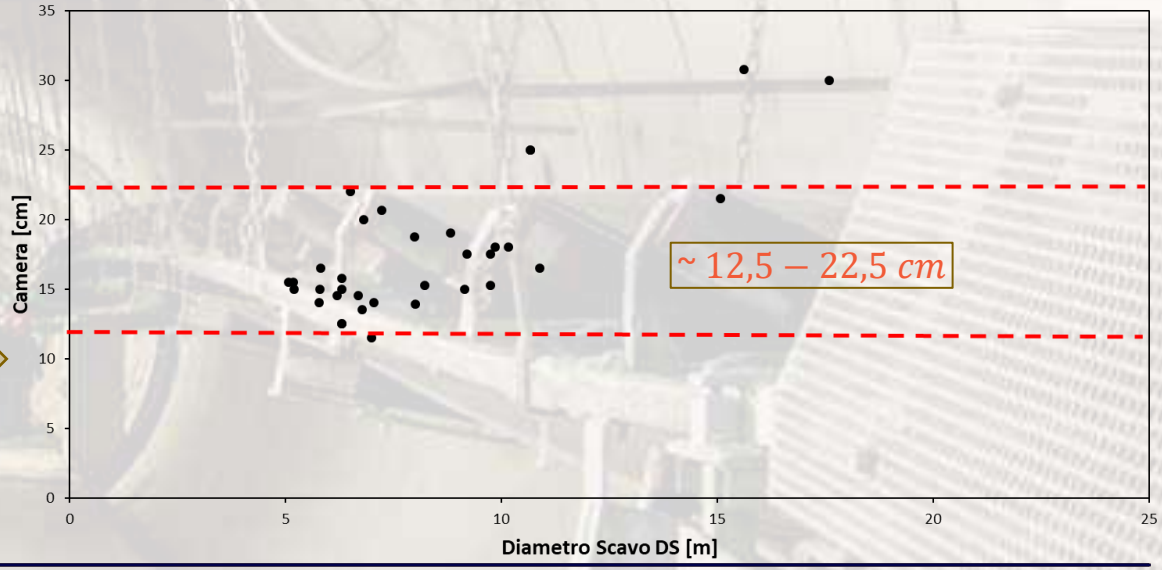
DI definito in base ai requisiti minimi degli ingombri a seconda della tipologia di galleria più una certa tolleranza (es. 10 cm sul raggio)

Legame tra il diametro di scavo e lo spessore del rivestimento e la camera di riempimento



Lo spessore deve rispettare gli ingombri minimi delle componenti meccaniche della TBM e far si che il sistema resista alle sollecitazioni di progetto e che venga garantita la durabilità richiesta.

Legame tra il diametro di scavo e la camera di riempimento



Legame tra il diametro di scavo e la snellezza dell'anello e dei conci

$$SNELLEZZA = \frac{sviluppo\ circonferenziale\ (sul\ raggio\ medio)}{spessore}$$

Configurazioni Conci preferibili

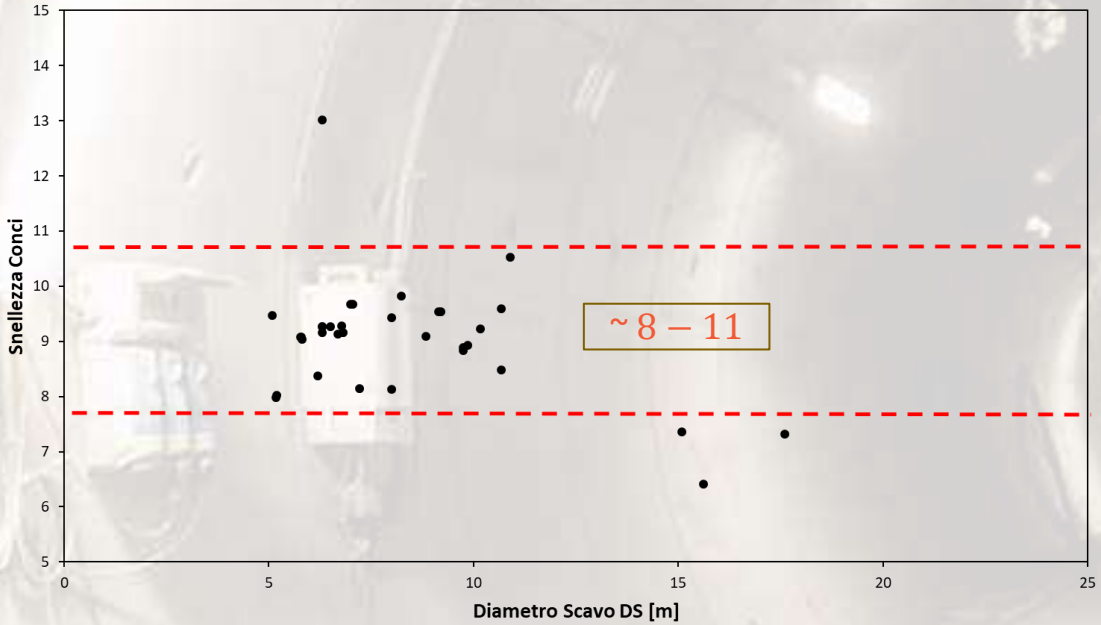
DS < 6 m
5+1
4+2

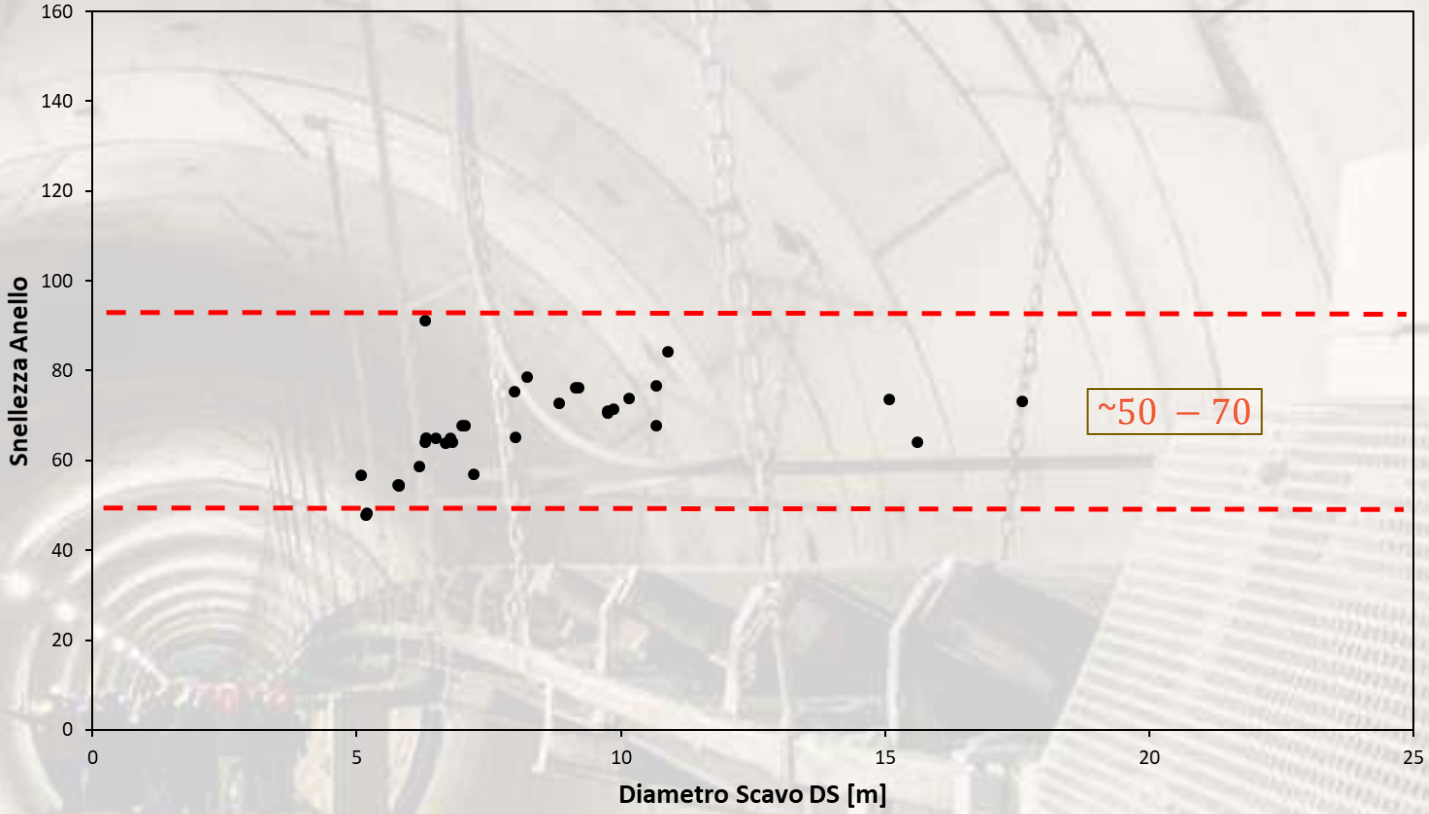
6 m < DS < 8 m
7
6+1
5+2

8 m < DS < 11 m
7 +1

11 m < DS < 14 m
7 (45°) + 2 (15° - 30°)

DS > 14 m
9+1





Lo spessore S dei conci dipende rigorosamente dal dimensionamento strutturale ma si possono individuare alcune tendenze:

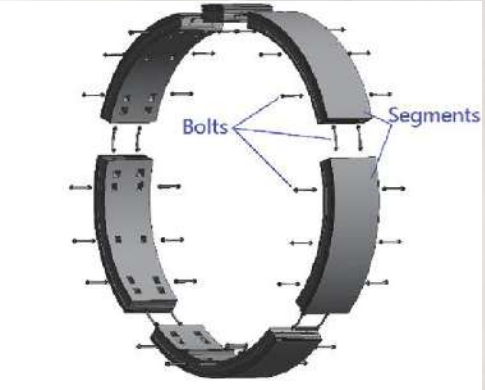
- per Dl > 5,5 m S = 1/18 ÷ 1/25 Dl
- per Dl = 4 ÷ 5,5 m S = 1/15 ÷ 1/25 Dl

Per diametri ridotti, non si può scendere sotto certi spessori, soprattutto se al rivestimento è attribuita una funzione di impermeabilità, per garantire una corretta morfologia dei giunti, oltre che per motivi strutturali e tecnologici.

Di conseguenza la snellezza dei conci (lunghezza sullo sviluppo circonferenziale medio / spessore) varia indicativamente nell'intervallo 8 ÷ 11. E' condizionata dal peso degli elementi, dagli aspetti di movimentazione, trasporto e installazione e dalla tipologia dell'anello (numero e caratteristiche dei conci). A diametri maggiori corrispondono comunque snellezze maggiori.

Le dimensioni della camera di riempimento dipendono da troppi fattori per fornirne un'indicazione (curve del tracciato, extra-scavo, sistema di riempimento, lunghezza dell'anello, spessore delle lamiere dello scudo in funzione delle dimensioni, ecc.). Risultano indicativamente = 2% DS.

Morfologia dei conci

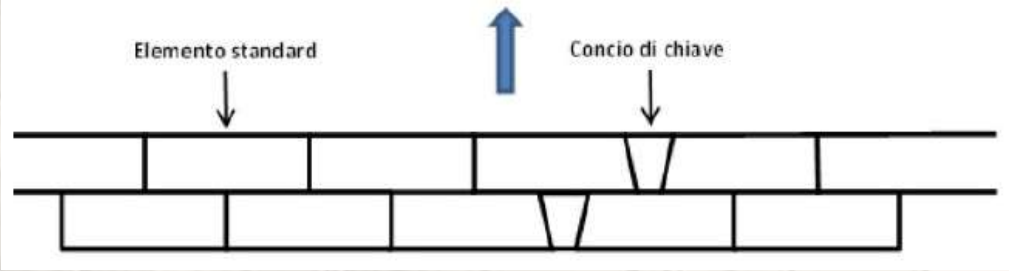


Goffrati/cavi/costolati
Hanno ormai solo un valore storico

Pieni/solidi
sono la soluzione attualmente adottata

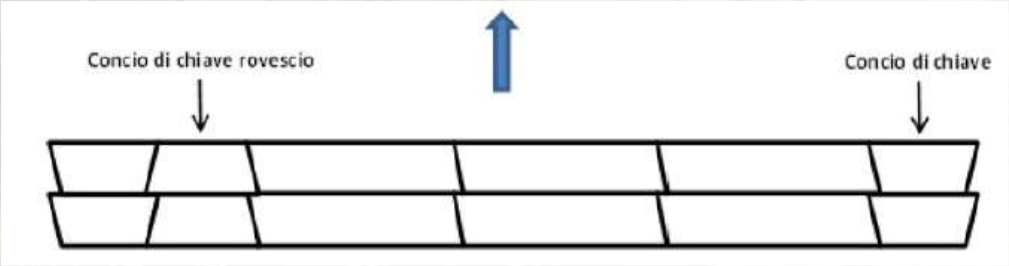
Geometria dei conci

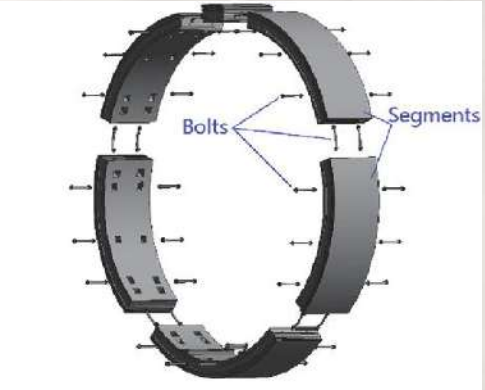
Rettangolari



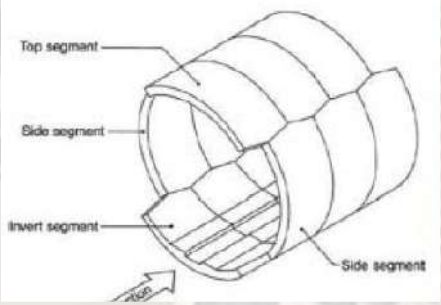
Trapezi e parallelogrammi

(Usati anche in configurazioni distinte)





Esagonali



La chiave è sempre un concio a pianta trapezia (TAPERED) da introdurre per ultimo con lato lungo nel senso dell'avanzamento.

I conci esagonali sono utilizzati per scavi in roccia senza problemi di impermeabilizzazione, con TBM doppio scudo e consentono un'elevata produttività.

I conci rettangolari comportano problemi di montaggio dell'anello e di danneggiamento delle guarnizioni e cinematismi più complessi per il centraggio dei connettori.

I conci solo a pianta trapezia, sempre in numero pari (n chavi + n contro-chiavi) e di eguale lunghezza media comportano il montaggio delle contro-chiavi e poi delle chiavi, quindi minore stabilità in fase di installazione.

La configurazione dell'anello attualmente più adottata è costituita da due conci a pianta trapezia (chiave e contro-chiave) e da conci a pianta parallelogramma/romboidale

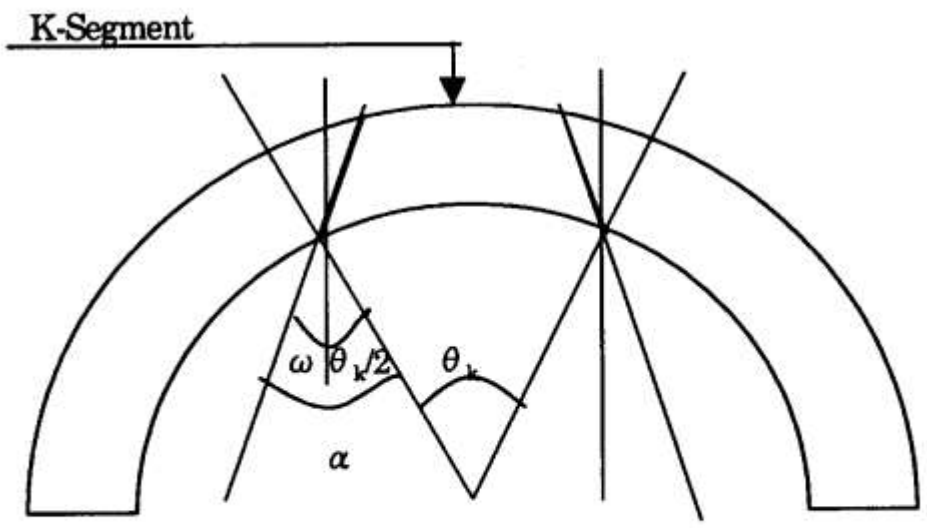
Soprattutto per conci rettangolari, deve essere evitato l'allineamento dei giunti longitudinali. Gli anelli vanno formati con opportune successioni dei conci (per esempio: chiave alternativamente a destra e a sinistra) o con opportune rotazioni dell'anello (anello universale).

Non tutte le successioni e le rotazioni sono consentite, sia per evitare l'allineamento dei giunti longitudinali, sia perché devono essere coerenti con le posizioni dei martinetti di spinta che non devono riscontrare su un giunto longitudinale.

Geometria del concio chiave

Geometria (taper) dipendente dal tipo di inserimento radiale o longitudinale

Lo sviluppo angolare ϑ_k della chiave va da 1/3 a 1/1 risetto a quello degli altri conci



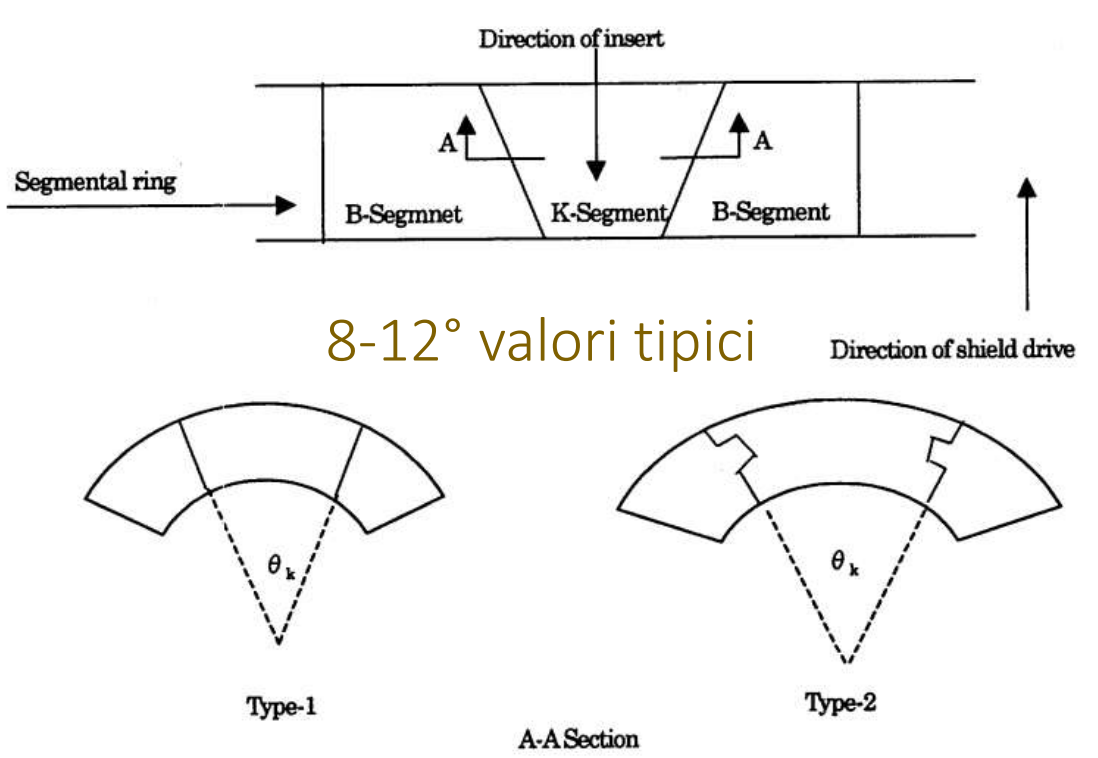
$\alpha = \theta_k/2 + \omega$ (both side-tapered K-segment) Eq. 6.6.1

$\alpha = \theta_k + \omega$ (one side-tapered K-segment)

where α = angle of joint of K-segment

θ_k = central angle of K-segment

ω = spare angle to insert K-segment (usually, $2° \leq \omega \leq 5°$)



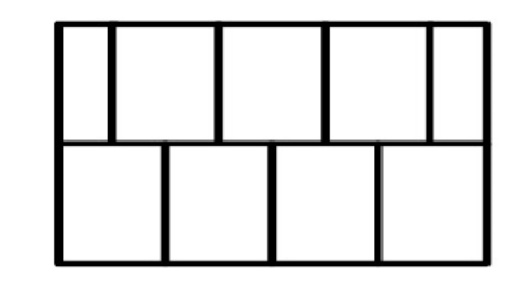
8-12° valori tipici

Il TAPER k della chiave (e quindi della contro-chiave e l'inclinazione dei giunti longitudinali dei conci parallelogrammi/romboidi) è la differenza di sviluppo angolare tra il lato lungo e il lato corto e varia nell'intervallo 8° ÷ 12° (cioè 4° ÷ 6° per parte).

Il TAPER radiale della chiave (2° ÷ 5° per parte) viene utilizzato per facilitarne l'inserimento a seconda dei cinematismi dell'erettore e della lunghezza dello scudo, ma comporta la tendenza della chiave a «scivolare» sotto i carichi radiali.

Geometria dell'anello

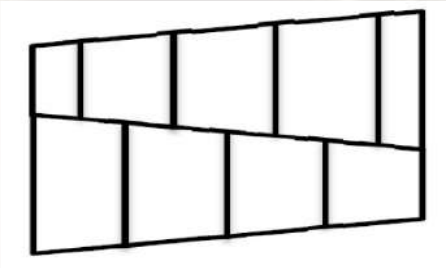
Rettangolari

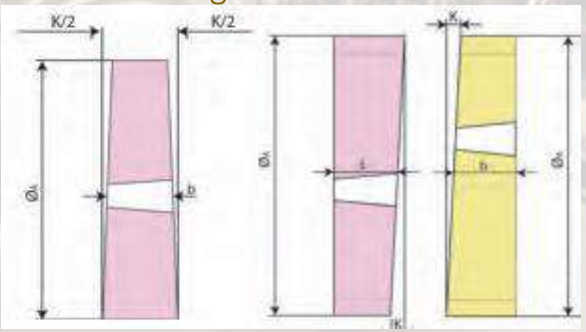


Tapered
(trapezi, taper (k) doppio o singolo)

$$k = \frac{\emptyset_A b}{R}$$

R raggio min curvatura ridotto del 20%
$\emptyset_A$ diametro esterno (DE)
b lunghezza media





Con o senza la presenza di un concio di base

Con o senza la presenza di un concio di chiave di dimensioni ridotte

Con o senza l'allineamento dei giunti trasversali tra anelli

Il TAPER dell'anello è la differenza tra la dimensione massima e minima dei conci sul piano diametrale orizzontale. Dipende dal raggio di curvatura minimo del tracciato, opportunamente ridotto per recuperare deviazioni dell'asse dello scudo.

Con anelli a pianta rettangolare non è possibile seguire curve di tracciato se non con l'inserimento di spessori tra i giunti (deleteri per l'impermeabilizzazione) o alternando anelli TAPERED sinistri e destri (possono avere sia taper su un solo lato che simmetrico). Gli stessi anelli TAPERED sinistri e destri, opportunamente montati in successione, possono consentire sia di seguire tratti in rettilineo che in curva.

I raggi di curvatura Rmin del tracciato che è possibile seguire dipendono dalla lunghezza dell'anello, dalle caratteristiche della TBM (extra-scavo, articolazione) e risultano indicativamente (taper anello = circa 15 cm):

- DE < 6 m Rmin = 80 m
- DE = 6 ÷ 10 m Rmin = 160 m
- DE > 12 m Rmin = 300 m

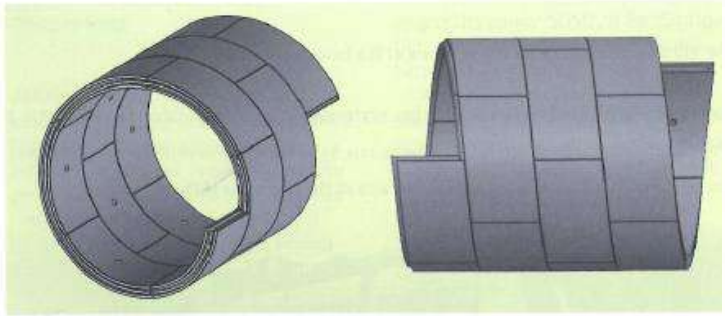
In definitiva, le configurazioni dell'anello possono essere molto varie:

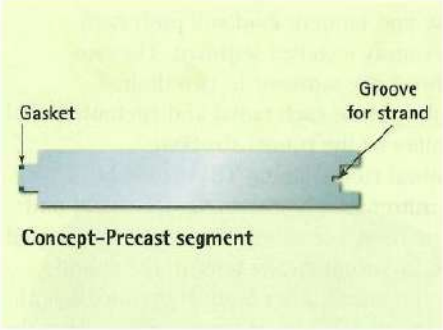
- Presenza di un concio di base simmetrico o meno ma sempre installato sul fondo (binari, rigola)
- Anelli solo rettangolari (curve con spessori)
- Anelli rettangolari in rettifilo e anelli con taper destro e sinistro (doppio o unico – trapezio rettangolo o trapezio isoscele) in curva
- Anelli con taper destro e sinistro montati alternativamente in rettilineo o in successione in curva
- Anelli tapered montati con rotazioni per seguire le curve e le deviazioni di tracciato (ANELLO UNIVERSALE). Questa è la configurazione attualmente più adottata.

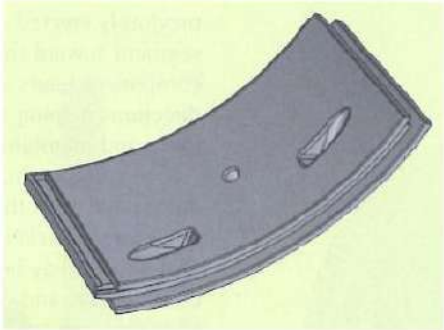
Geometria dell'anello

A spirale

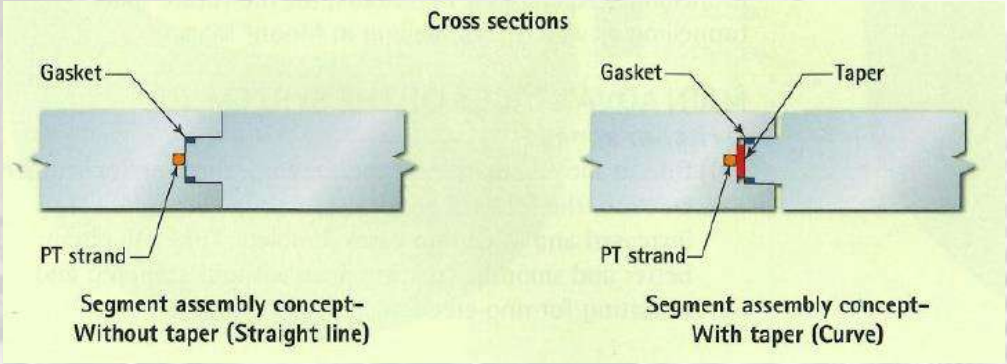
(Ref.: 2018 Tunnels and Tunneling, Helical Lining - Behzad Khorshidi, McNally Construction)



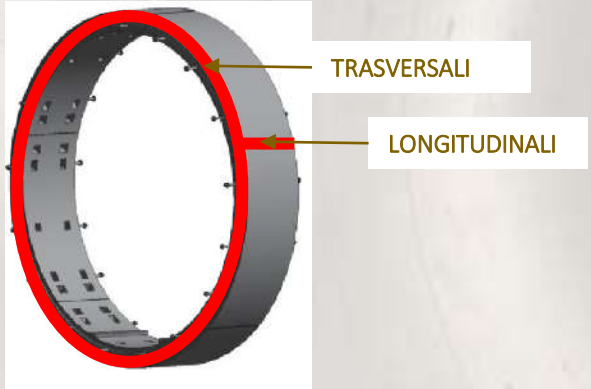




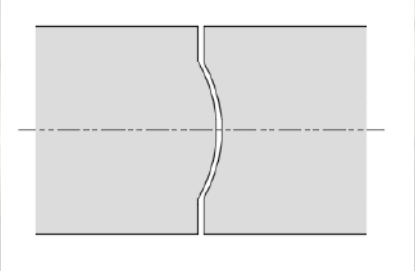
Con giunti ad incastro con possibilità di inserire in direzione circonferenziale elementi di connessione in tiranti a trefoli.
Conci con e senza tapered packer per adattare il rivestimento al tracciato.



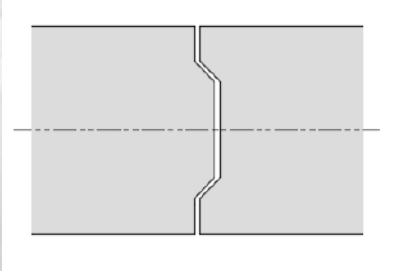
Morfologia dei giunti



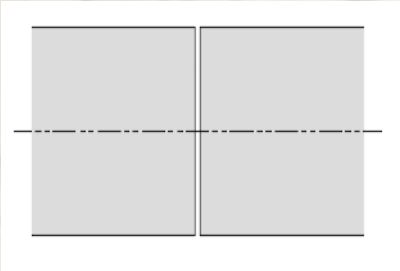
Arrotondati



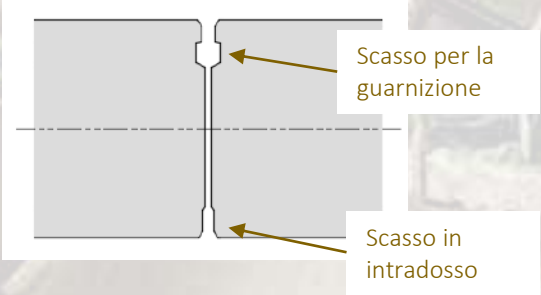
Sagomati



Piani



Piani con scassi costruttivi e per l'alloggiamento delle guarnizioni



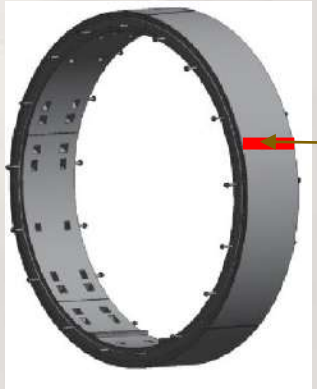
Tra tutte le possibili tipologie dei giunti sia crconferenziali/trasversali che radiali/longitudinali (concavo-convesso, covesso convesso, sagomato a coda di rondine, sagomato con scassi/risparmi, l'ultimo è quello più utilizzato per garantire l'impermeabilità.

Il giunto sagomato è costituito, partendo dall'estradosso, da:

- Smusso di bordo (1 ÷ 1,5 cm)
- Risparmio per allontanare la guarnizione dall'estradosso (profondità 0,2 ÷ 0,25 mm, lunghezza circa pari a quella della guarnizione)
- Cava per guarnizione (dipende dalle dimensioni e dalla morfologia della guarnizione a loro volta dipendenti dalle pressioni idrauliche, dallo spessore del concio, dal diametro di scavo, dai gap e offset di progetto, ecc.). Deve essere sufficientemente lontana dell'estradosso per evitare spalling quando compressa
- Superficie di contatto concio-concio (deve essere più estesa e baricentrica possibile in modo da evitare eccentricità e distribuire efficacemente le forze di spinta e di contatto
- Eventuale guarnizione di intradosso (come sopra)
- Recesso di intradosso per eventuale sigillatura (profondità 1 cm, lunghezza 2 ÷ 3 cm
- Smusso di bordo

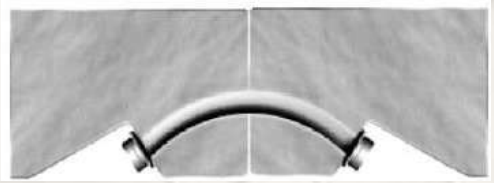
Come si vede, la superficie di contatto può essere molto limitata rispetto allo spessore complessivo, soprattutto per spessori contenuti.

Unioni dei giunti longitudinali



Unioni trasversali

Bulloni curvi



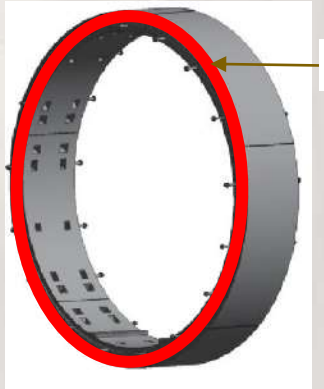
Scatole «giapponesi»

Bulloni inclinati

collaborazione tra i conci e corretto funzionamento delle guarnizioni

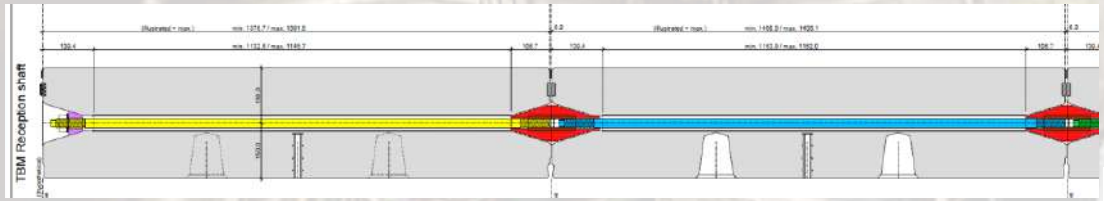
Barre guida

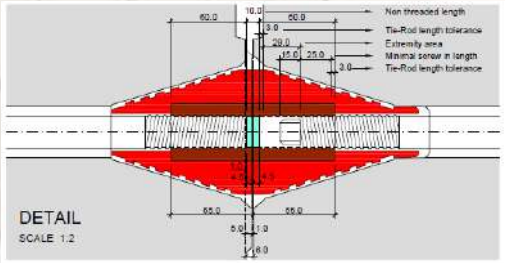
Unioni dei giunti trasversali

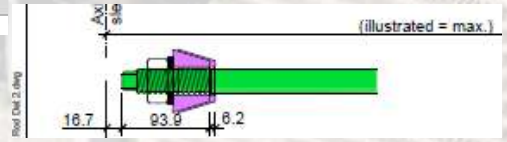


Unioni longitudinali

- Bulloni curvi
- A scatole giapponesi
- Bulloni inclinati
- Tiranti
- Connettori







collaborazione tra i conci e corretto funzionamento delle guarnizioni

Tra tutte le possibili tipologie di unioni sui giunti radiali/longitudinali e circonferenziali/trasversali, attualmente le più utilizzate sono:
- giunti radiali/longitudinali: bulloni inclinati e barre guida
- giunti circonferenziali/trasversali: connettori

I bulloni inclinati (utilizzabili anche nei giunti circonferenziali/trasversali in casi particolari, per esempio per conci di grandi dimensioni o in corrispondenza di anelli da demolire parzialmente per creazione di by-pass) svolgono la loro funzione (assorbimento di forze di trazione e tagio) soprattutto in fase di montaggio e grouting, per garantire il corretto centraggio del concio rispetto a quelli adiacenti e la stabilità dell'anello non ancora completato, la corretta compressione della guarnizionenpsvolgono una funzione e controllare l'ovalizzazione. Non sono sempre strettamente necessary e spesso vengono smontati a seguito dell'installazione e grouting.
Devono avere:
- Posizione baricentrica rispetto allo spessore
- Tasca con conicità di almento 1° per scasseratura
- Tasca abbastanza grande e con superficie inclinata per introduzione bullone e serraggio dado
- Boccola filettata con innesto conico per introduzione bullone
- Sufficiente distanza dal giunto e dall'estradosso

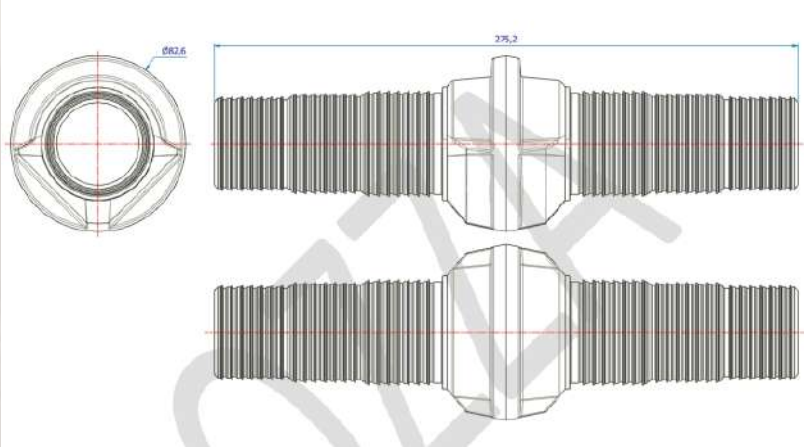
Le barre guida hanno la funzioe di assorbire forze di taglio e impedire lo scivolamento

I connettori sono costituiti da materiale plastic con possible anima in acciaio, sono montati sul giunto opposto al lato spinta e garantiscono il centraggio rispetto all'anello precedente, la stabilità in fase di montaggio e grouting e la corretta compressione della guarnizione, assorbendo forze di taglio e trazione. Normalmente sono in numero di 2 (diametro piccolo) o 3 (diametri maggiori) per concio nel caso di conci aventi tutti lo stesso sviluppo angolare e hanno la stessa scansione angolare dei martinetti di spinta. A parità di dimensioni dell'anello, se la chiave è più piccolo e pari a 1/3 degli altri conci, e quindi gli altri conci sono più grandi (Maggiore sviluppo angolare), il numero dei connettori si riduce di due.

In alcuni casi (in corrispondenza di anelli da demolire parzialmente per creazione di by-pass) si usano ancora barre di post-compressione longitudinali.

Unioni particolari

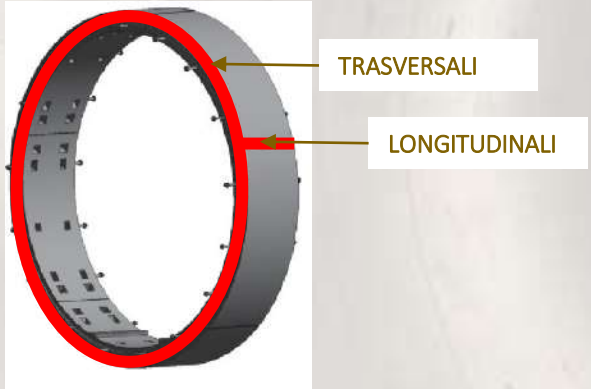
Connettori per la correzione del roll



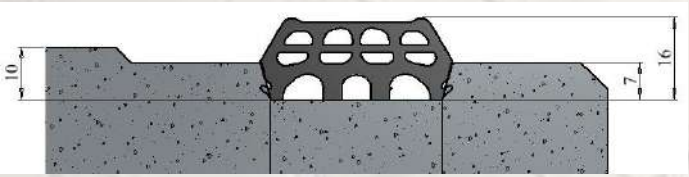
Vincolo della chiave

Vincolo concio-concio

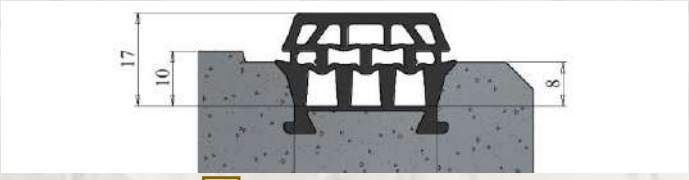
Guarnizioni



Incollate

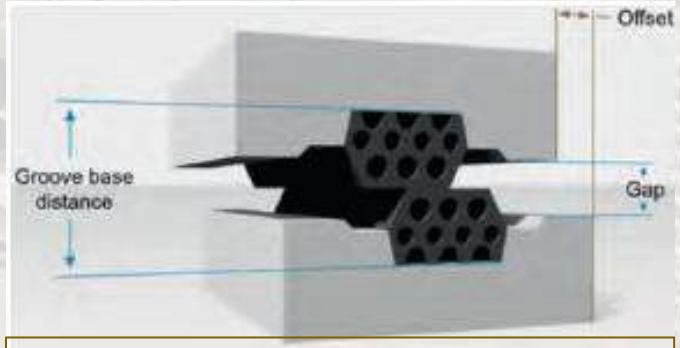


Ancorate



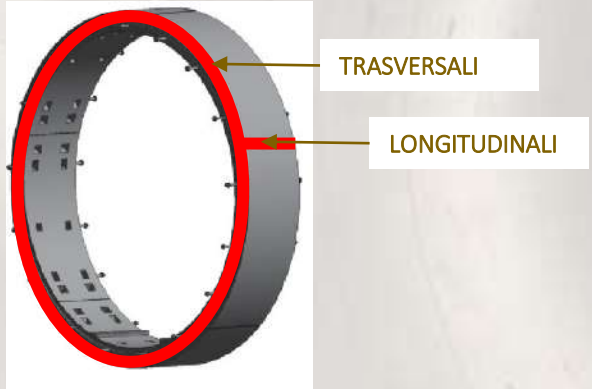
Il corretto funzionamento è garantito solo se le unioni tra i conci sono in grado di limitare i valori di offset e gap

Le dimensioni della guarnizione dipendono da tolleranze di montaggio su offset e gap che dipendono dalla dimensione dei conci, dal diametro della galleria e dal tipo di connessione concio-concio e anello-anello.



Valori Tipici: 5 mm gap - 10 mm offset

Guarnizioni



La larghezza della guarnizione (GW) è funzione dello spessore dell'anello, che è funzione del diametro della galleria (DI), e della pressione idraulica. Indicativamente:

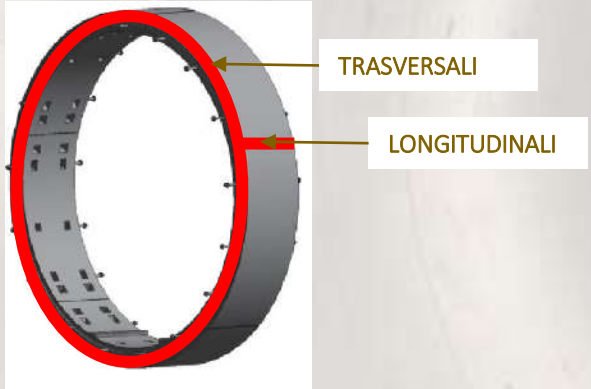
DI < 4 m -> GW = 20 mm
4 m < DI < 7 m -> GW = 26 mm
7 m < DI < 11 m -> GW = 33 o 36 mm
DI > 11 m -> GW = 36 or 44 mm

Le guarnizioni devono garantire:

- Resistenza alle pressioni idrauliche
- Impermeabilizzazione

La rigidezza deve essere ottimizzata per non provocare rotture del calcestruzzo quando la guarnizione è compressa durante il montaggio degli anelli e per garantire l'impermeabilizzazione a seguito del parziale rilassamento della guarnizione.

Guarnizioni e sistema di impermeabilizzazione



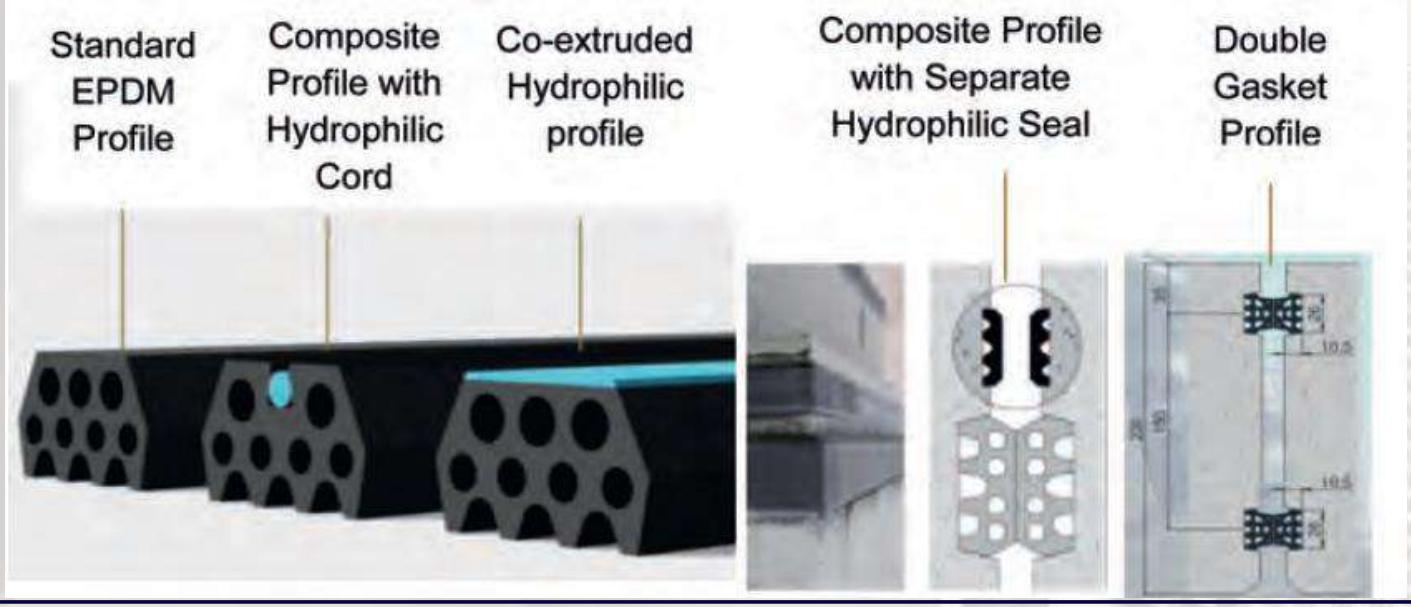
Guarnizioni:

EPDM (oppure CR e SBR)

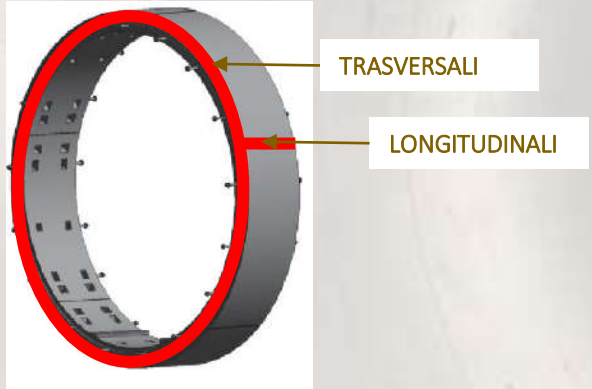
- Standard
- Con cordone idrofilico
- Con profilo idrofilico

Sistemi:

- Guarnizione singola (estradosso)
- Guarnizione doppia (con compartimentazione)
- Tubicini per iniezioni di sigillatura
- Sigillatura in intradosso



Guarnizioni e sistema di impermeabilizzazione



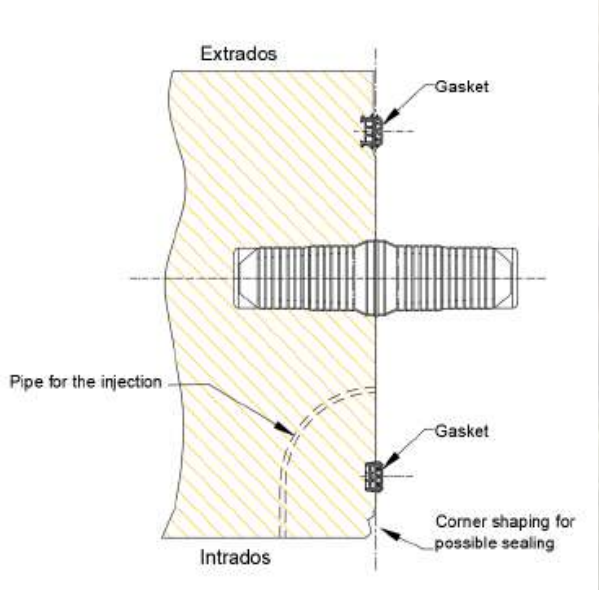
Guarnizioni:

EPDM (oppure CR e SBR)

- Standard
- Con cordone idrofilo
- Con profilo idrofilo

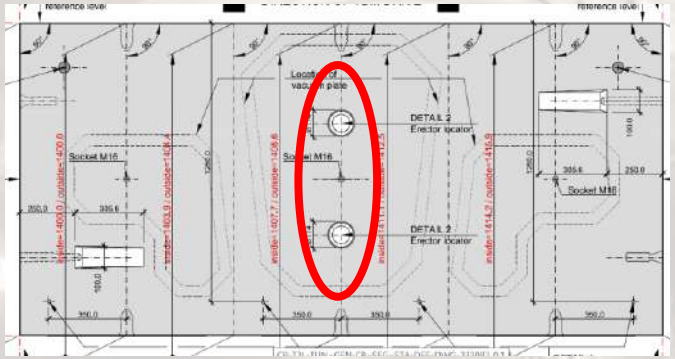
Sistemi:

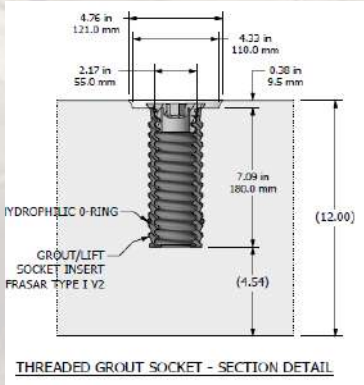
- Guarnizione singola (estradosso)
- Guarnizione doppia (con compartimentazione radiale)
- Tubicini per iniezioni di sigillatura
- Sigillatura in intradosso

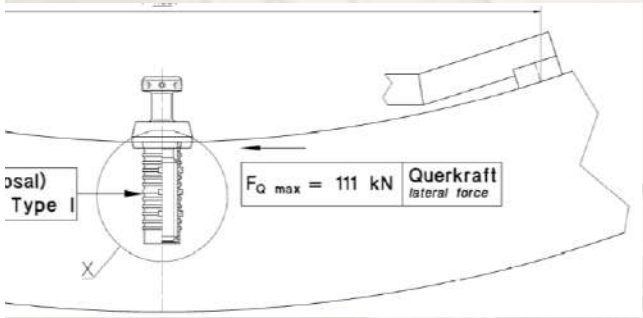


Inserti particolari

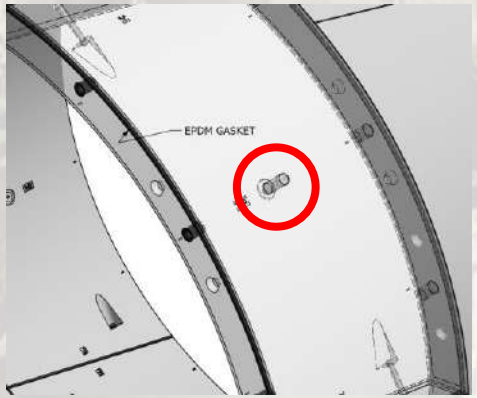
Inserti per i sistemi di montaggio dei conci:
- Tasche coniche, centratori per il sistema vacuum
- Tasche a vite per l'erezione con pin meccanico







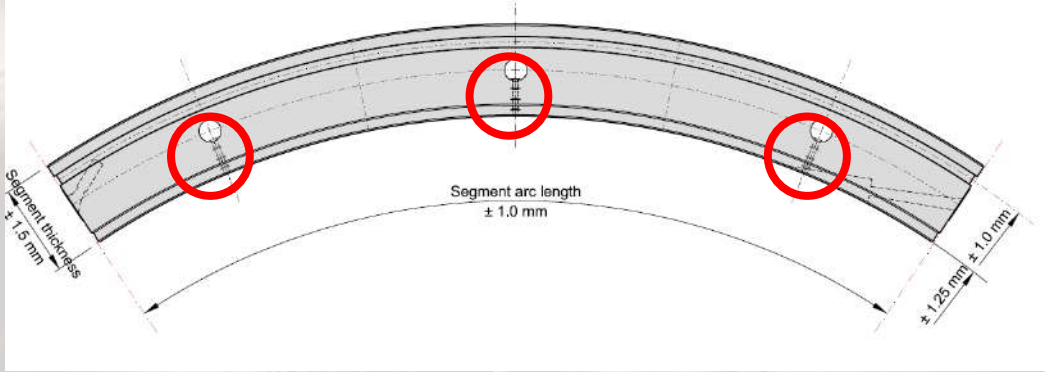
Valvole di iniezione per back-filling o iniezioni secondarie/terziarie



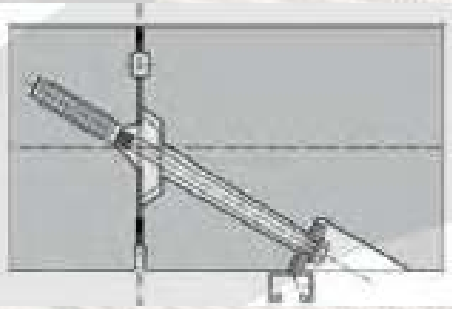
Enrico Maria Pizzarotti
enrico.pizzarotti@proiter.it

Inserti particolari

Predisposizioni per fissaggi di staffe di supporto per utilities, sistemi elettrici e/o meccanici e/o impianti – annegati nel calcestruzzo.



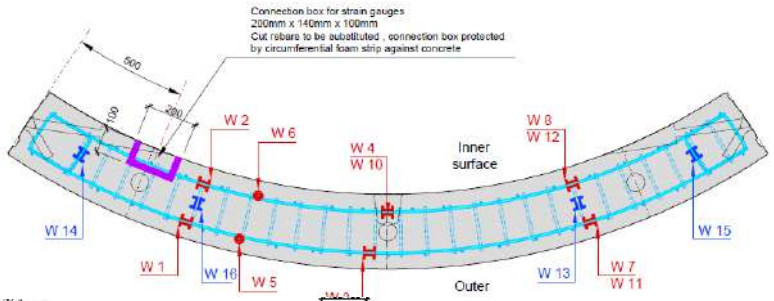
Fissaggi per staffe di supporto per utilities, sistemi elettrici e/o meccanici e/o impianti – non annegati nel calcestruzzo.

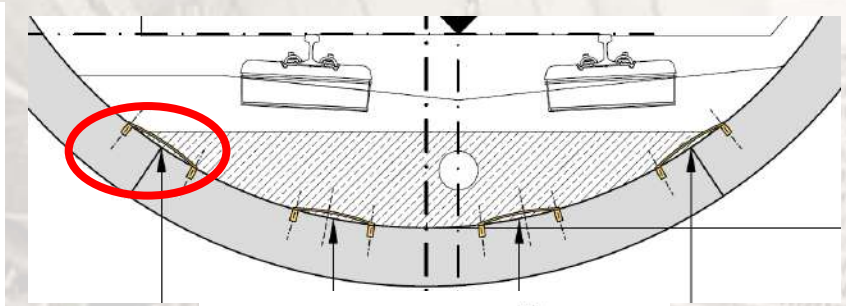


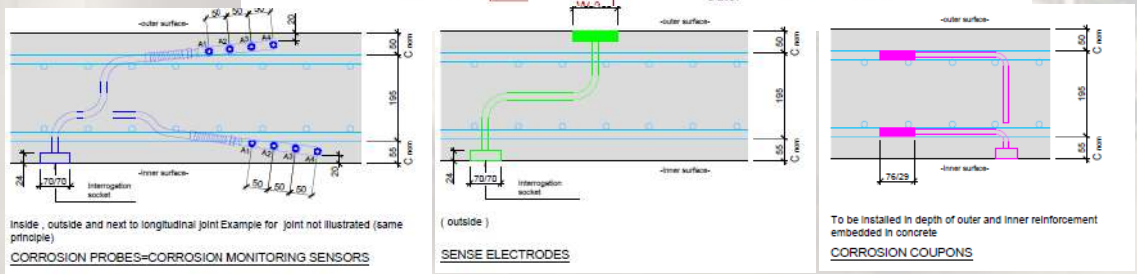
Inserti particolari

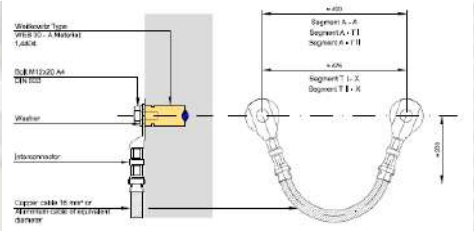
Altri inserti:

1. Anelli strumentati
   - Strain-gauge
   - Monitoraggio della corrosione
2. Predisposizioni filettate per messa a terra e trasferimento delle correnti vaganti









Configurazione dell'anello

N. Conci Preferibili per Diametro di scavo

DS < 6 m
5 ÷ 6

6 m < DS < 8 m
8

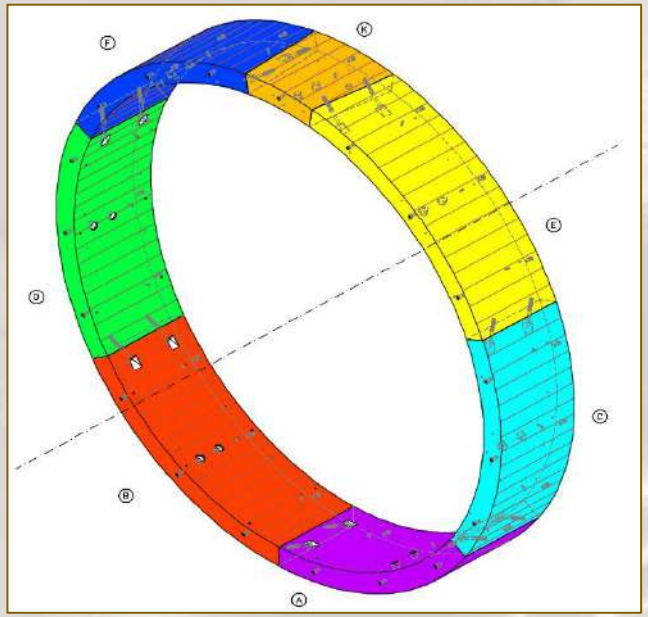
8 m < DS < 11 m
8

11 m < DS < 14 m
9

DS > 14 m
10 ÷ 11

Possibili sviluppi circonferenziali della chiave 1/3, 2/3, 3/3 rispetto agli altri conci

Possibili sviluppi circonferenziali della contro-chiave 2/3, 3/3 rispetto agli altri conci



CONFIGURAZIONE TIPO: L'ANELLO UNIVERSALE

Anelli tapered (a pianta trapezia, taper doppio)

Conci pieni trapezoidali (chiave e controchiave) e parallelogrammi/romboidali

Barre guida e bulloni nei giunti longitudinali

Connettori longitudinali con eventuali elementi diffusori della spinta (packer contatto anello-anello)

Rappresenta la configurazione oggigiorno maggiormente adottata soprattutto per la facilità di adattarsi all'andamento plano-altimetrico dei tracciati, con opportune rotazioni dell'anello

Configurazione dell'anello (ACI 533.5R-20)

Range of tunnel diameter	Most common ring configuration/segmentation
Tunnel diameter < 20 ft (6 m)	5+1; 4+2; 3+2+1*
20 ft (6 m) < tunnel diameter < 26 ft (8 m)	6+1
26 ft (8 m) < tunnel diameter < 36 ft (11 m)	7+1; 6+2
36 ft (11 m) < tunnel diameter < 46 ft (14 m)	7+1 large key; 7+1+1†
46 ft (14 m) < tunnel diameter	9+1; 9+1 large key; 11+1

*This configuration consists of three ordinary segments, two slightly smaller counter key segments, and one small key segment.

†In this configuration, key can be one-third of ordinary segments and one of counter keys can be as small as two-thirds of ordinary segments.

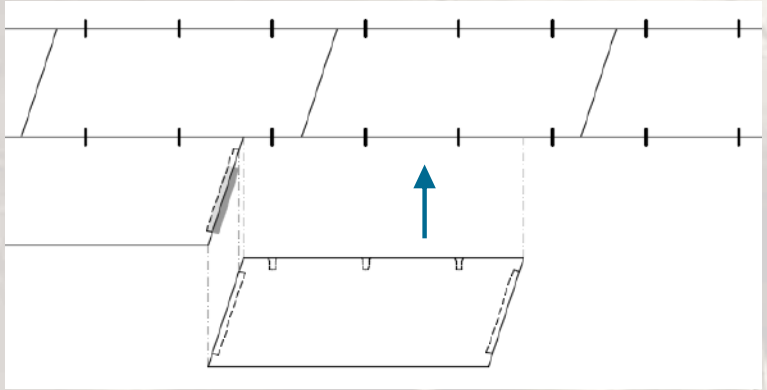
Configurazione dell'anello

N.B. NON TUTTE LE CONFIGURAZIONI SONO AMMISSIMIBILI

BISOGNA CONSIDERARE I CINEMATISMI CHE DEVONO ESSERE MESSI IN ATTO PER IL MONTAGGIO DEI CONCI

Esempio 1:

- Giunti longitudinali inclinati
- Connettori longitudinali
- Barre guida

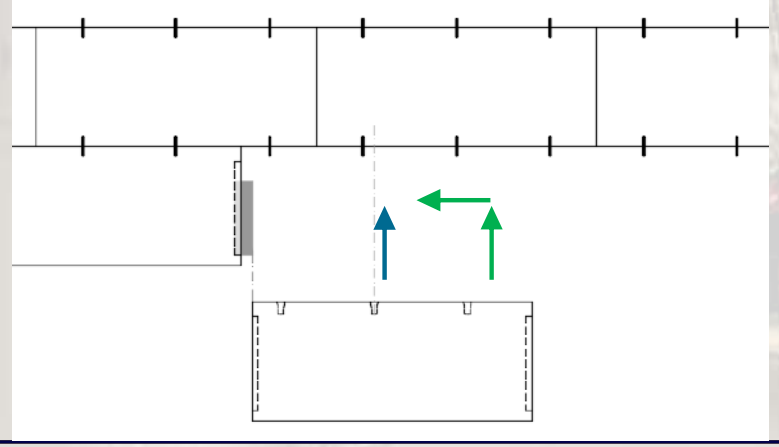


Unico movimento parallelo all'asse della galleria

OK

Esempio 2:

- Giunti longitudinali paralleli all'asse
- Connettori longitudinali
- Barre guida



SINGOLI MOVIMENTI:
- parallelo all'asse della galleria
- traslazione e rotazione attorno all'asse

NON COMPATIBILI con:
- barre guida e guarnizioni
- connettori

MOVIMENTI IN SEQUENZA:
- traslazione e rotazione attorno all'asse
- parallelo all'asse della galleria

COMPATIBILI - OK

CLS da C35/40 a C50/60 (e oltre)

Armatura tradizionale (barre in acciaio):

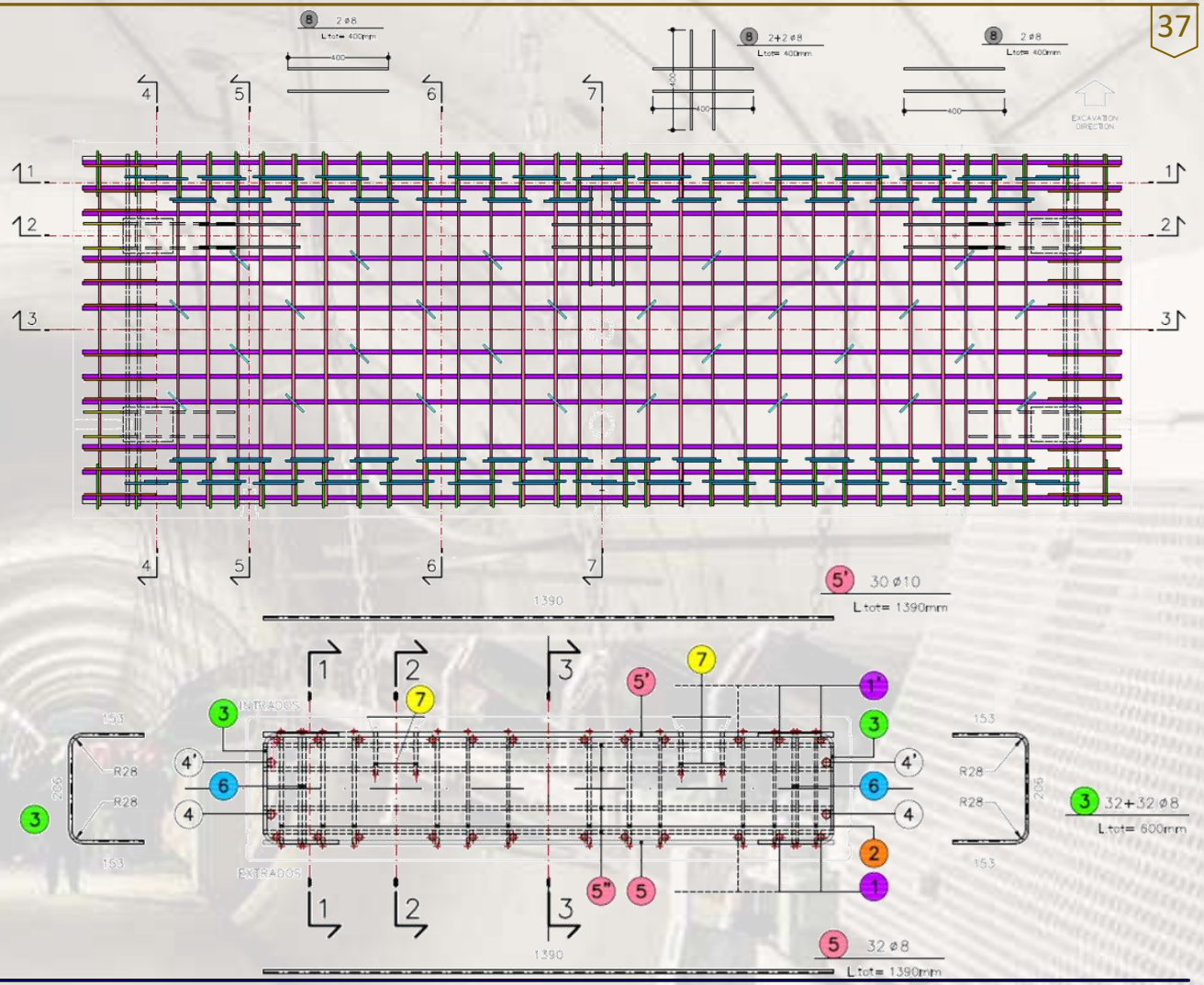
a) Principale circonferenziale (presso-flessione)

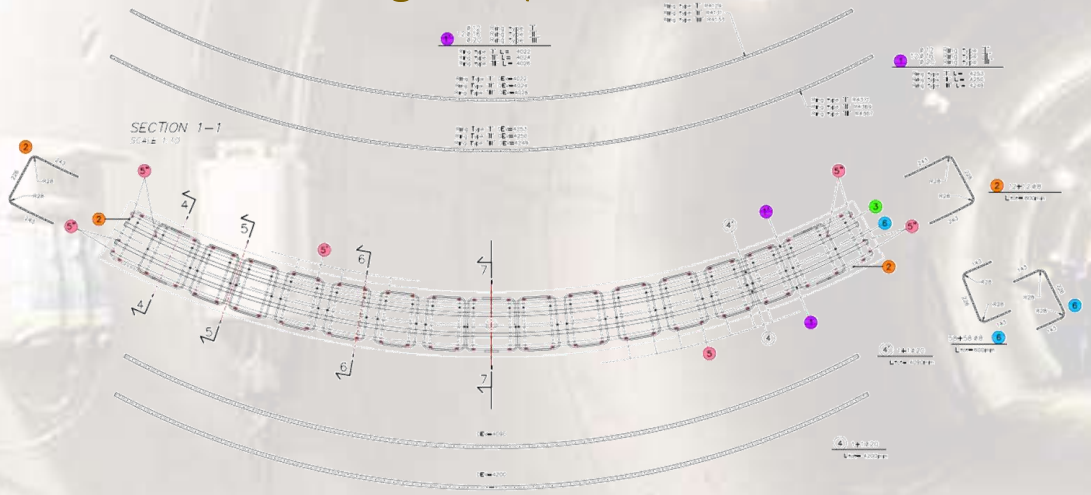
b) Ripartizione longitudinale (compressione in spinta)

c) A taglio (radiale)

d) Frettaggio (perimetro, tasche, boccole, inserti ecc.)

Incidenze 100 ÷ 180 kg/m3 (65 ÷ 80 % armature a, b, c)

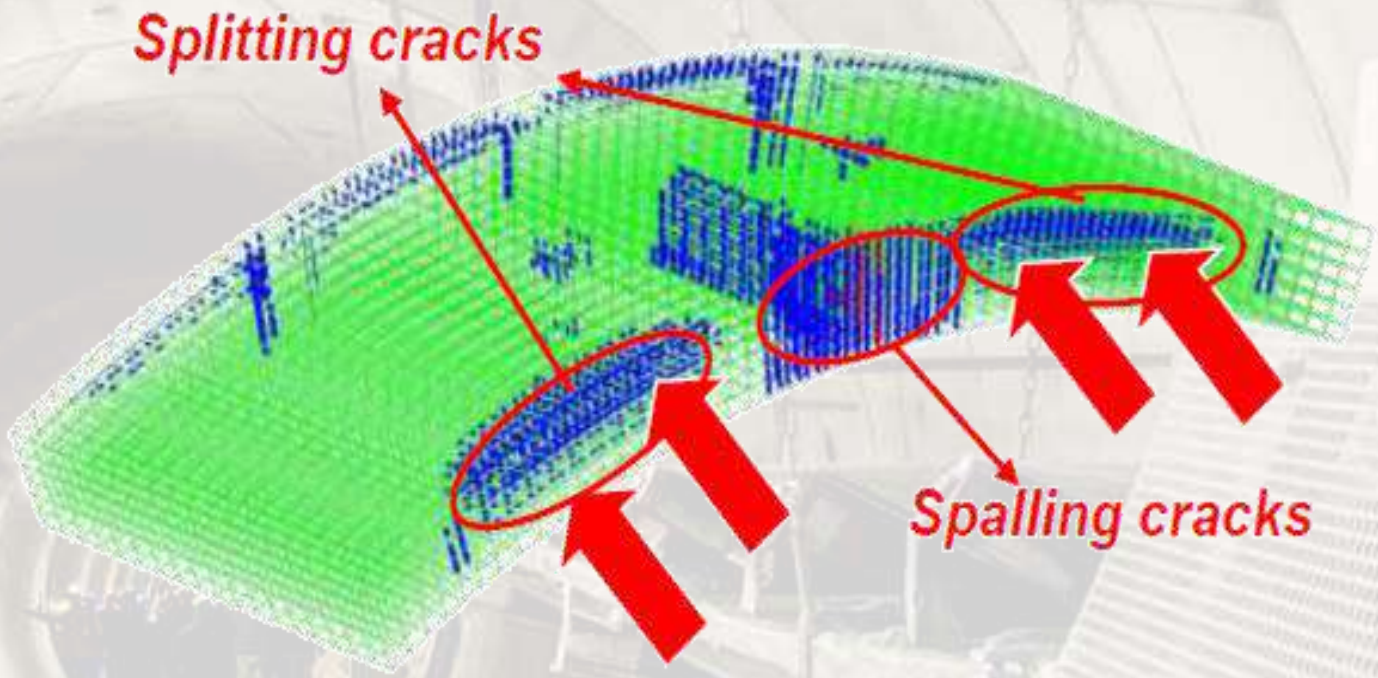




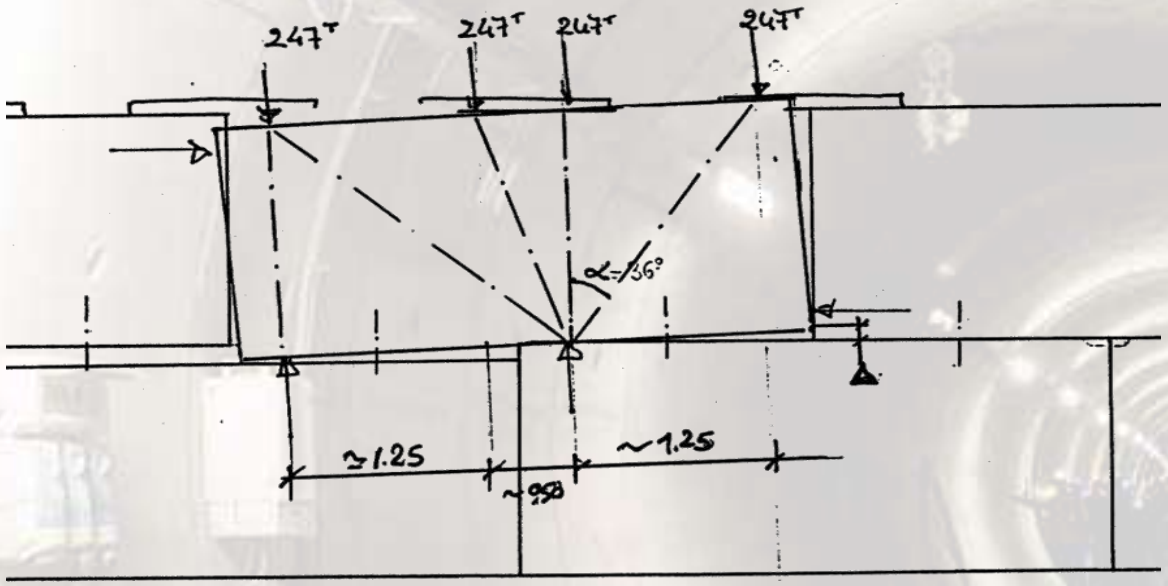
Armatura tradizionale: componente d)

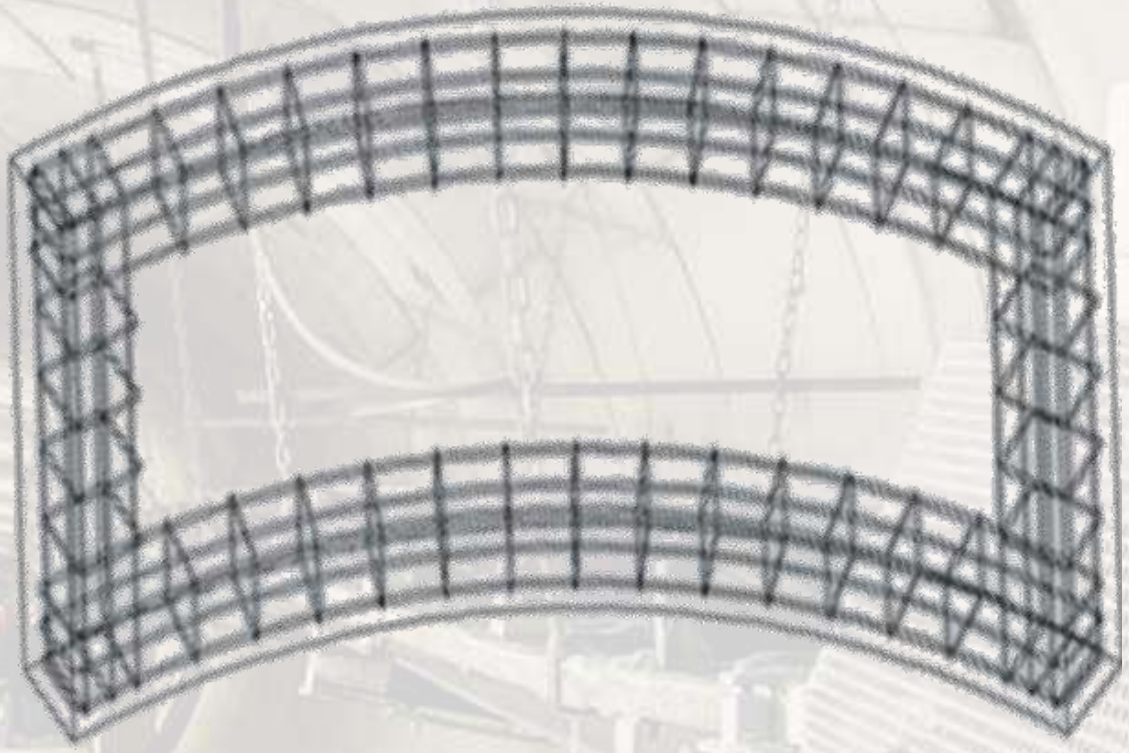
Spalling stresses :
local tensile stresses that arise in the lining in the region between the thrust jack plates (thrust shoes) because of the interaction of adjacent jacks or couple of jacks;

Splitting stresses :
local tensile stresses (also called bursting stresses) which arise during the jacks thrust in tunnel segments under their loading areas in transverse direction (perpendicular to the axis of the applied forces);



Armatura tradizionale: componente d): eccentricità di spinta e contatto e geometrie e montaggio non corretti possono causare sollecitazioni anomale sia in fase di spinta che in esercizio





Armatura

Le prime tre componenti (**principale, ripartizione, a taglio**) sono quelle deputate a far fronte agli sforzi diffusi: M, N – circonferenziale e longitudinale – T.

Le **fibre** (armature diffuse) rappresentano una buona alternativa nel caso sforzi diffusi.

L'**armatura di frettaggio** contrasta invece l'effetto degli sforzi localizzati.

Le **barre** (in acciaio o GFRP) sono la migliore armatura per sforzi localizzati.

L'armatura con sole fibre in acciaio sta prendendo sempre più piede con performances elevate (viene utilizzato un CLS maggiormente resistenze e snellezza conci < 11).

Armatura

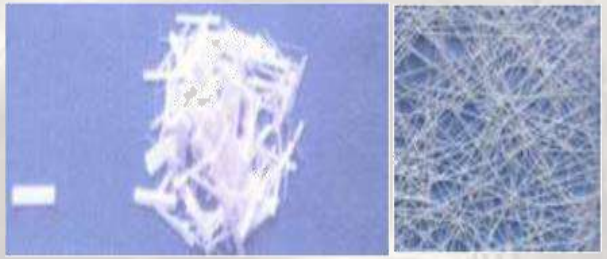
Armature alternative

Armature fibrose

Acciaio

Alluminio

Vetro



Carbonio

Polipropilene

Barre in GFRP

Armatura

ESEMPI – GFPR (soft-eye, ambienti aggressivi, protezione di bordi e spigoli)

Tolleranze, misure e controlli dimensionali

Tolleranze di Produzione

- Casseri -> elevata precisione ±0.1-0.3 mm
- Conci -> tolleranza casseri + deformazioni dovute alla temperatura e al ritiro
  -> tolleranze dettate dai requisiti per la fase di esercizio

Tolleranze Importanti:

- Spessore del concio
- Taper giunto longitudinale/deviazione di conicità
- Lunghezza arco circonferenziale del concio
- Risparmio della guarnizione

TYPE OF TOLERANCE	REFERENCE DIMENSIONS	JSCE (2007)	RIL 853 (2011)	ZTV-ING (2007)	DAUB (2013) ID <8M	DAUB (2013) ID >11M
Linear segment dimensions	Width	±1mm	±0.5mm	±0.6mm	±0.5mm	±0.7mm
	Thickness	+5mm -1mm	±3mm	±3mm	±3mm	±4mm
	Circumferential length (arc)	±1mm	±0.6mm	-	±0.6mm	±0.7mm
	Inside radius	-	±1.5mm	±1.5mm	±1.5mm	±2.5mm
	Outside radius	-	-	±2mm	-	-
	Diagonals	-	-	-	±1mm	±2mm
	Warping (Vertical spacing of fourth segment corner from plane formed by other three corners)	-	-	-	±5mm	±8mm
Joints angular deviations and flatness	Longitudinal joint deviation	-	±0.3mm (±0.04o *)	±0.3mm	±0.3mm	±0.5mm
	Longitudinal joint taper/ conicity deviation	-	±0.5mm	±0.5mm	±0.5mm	±0.7mm
	Longitudinal/ circumferential joint flatness	-	±1mm	±0.5mm	±0.3mm	±0.5mm

TYPE OF TOLERANCE	REFERENCE DIMENSIONS	JSCE (2007)	RIL 853 (2011)	ZTV-ING (2007)	DAUB (2013) ID <8M	DAUB (2013) ID >11M
Gasket, connectors, and accessories dimensions	Location of gasket groove axis	-	+0.2mm	±1.5mm	±1mm	±1mm
	Sealing groove width/ depth	-	-0mm	±0.2mm	±0.2mm	±0.2mm
	Bolt hole/ Dowel insert location	±1mm	±1mm*	-	±1mm	±1mm
	Shear cones/erector pocket location	-	±2mm*	-	±2mm	±2mm
Closed-ring dimensions	Outer diameter	±7mm (2m<ID<4m) ±10mm (4m<ID<6m) ±15mm (6m<ID<8m) ±20mm (8m<ID<12m)	±10mm	-	±10mm	±15mm
	Inner diameter	-	±10mm	-	±10mm	±15mm
	Outer circumference (to be measured in three planes)	-	±30mm	-	±30mm	±45mm
	Assembly misalignment	±7mm (2m<ID<4m) ±10mm (4m<ID<6m) ±10mm (6m<ID<8m) ±15mm (8m<ID<12m)	±10mm	-	-	-

REFERENCE DIMENSIONS	FORMWORK TOLERANCES	SEGMENT TOLERANCES
Width	±0.3mm (1/84")	±1.6mm (1/16")
Thickness	±1mm (1/25")	±3.2mm (1/8")
Circumferential length (arc)	±0.8mm (1/32")	±1.6mm (1/16")
Inside radius	±1mm (1/25")	±1.6mm (1/16")
Outside radius	±1.5mm (1/17")	±6.3mm (1/4")
Diagonals	±1.5mm (1/17")	±1.6mm (1/16")
Warping	±1.5mm (1/17")	±2mm (1/12")
Longitudinal/Radial joint deviation	±0.2mm (1/42")	±0.8mm (1/32")
Sides flatness	±0.3mm (1/84")	±0.8mm (1/32")

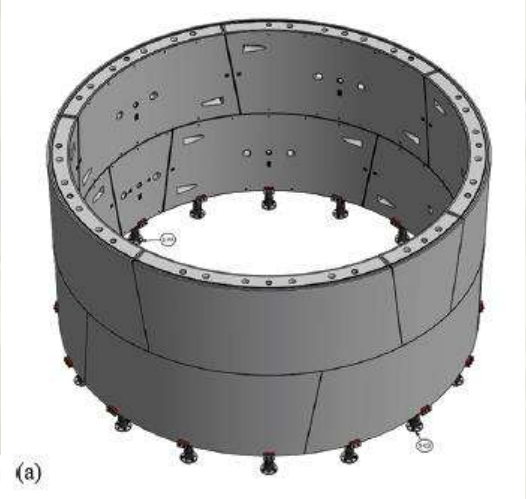
*Valori tipici per anello di medio diametro

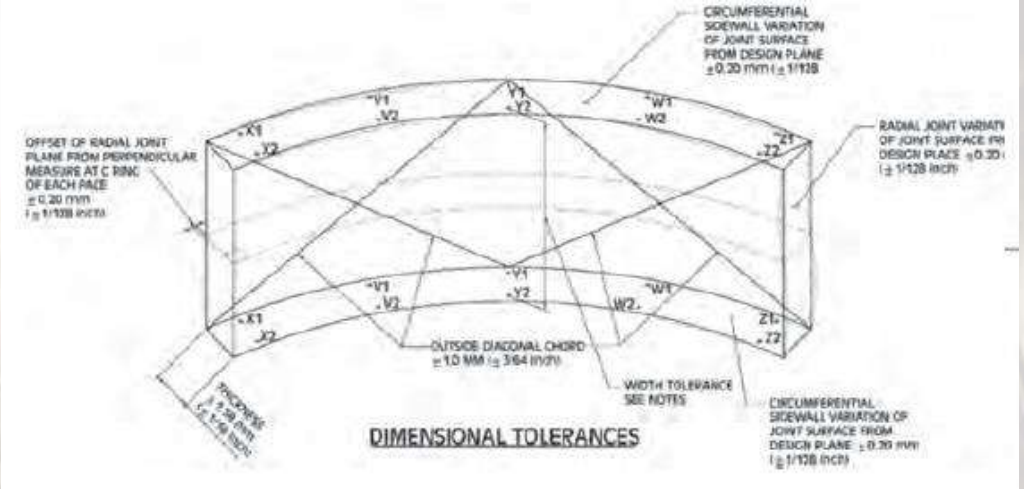
Tolleranze, misure e controlli dimensionali

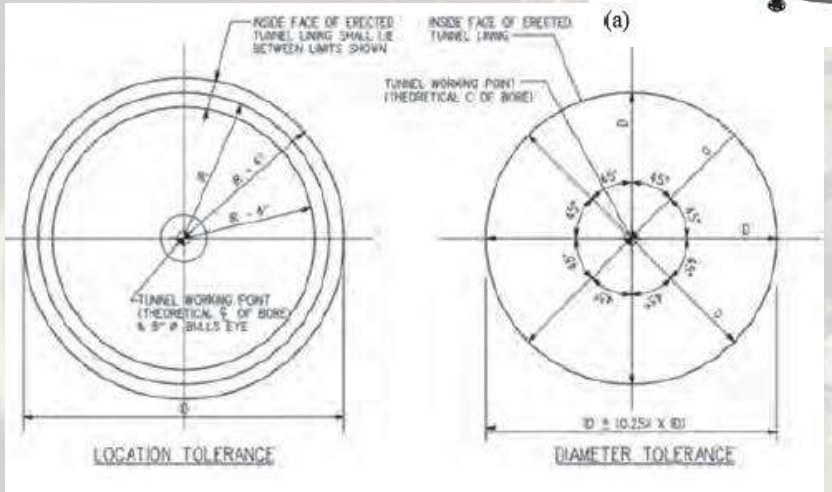
Misure e Controlli in fase di produzione

Programma QA/QC sulla produzione.
Controlli su conci, sistema anello e casseri -> confronto con tolleranze dimensionali

- Misure manuali e puntuali
- Rilievi topografici e fotogrammetrici
- 3D scan
- Anello di prova o anelli di prova per i primi check dimensionali e allineamenti delle connessioni
- Sistema 10-misure per i casseri al posto delle misure puntuali





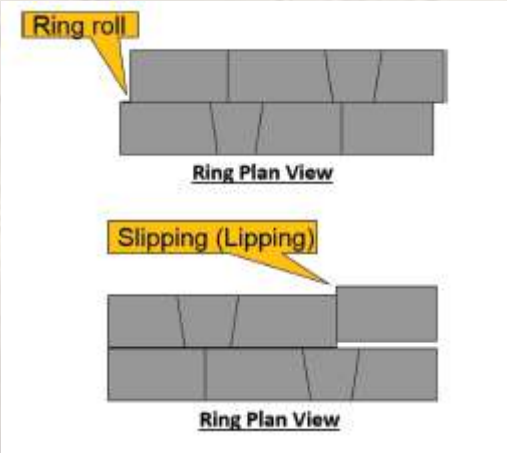


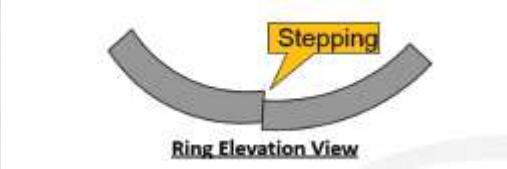
Tolleranze, misure e controlli dimensionali

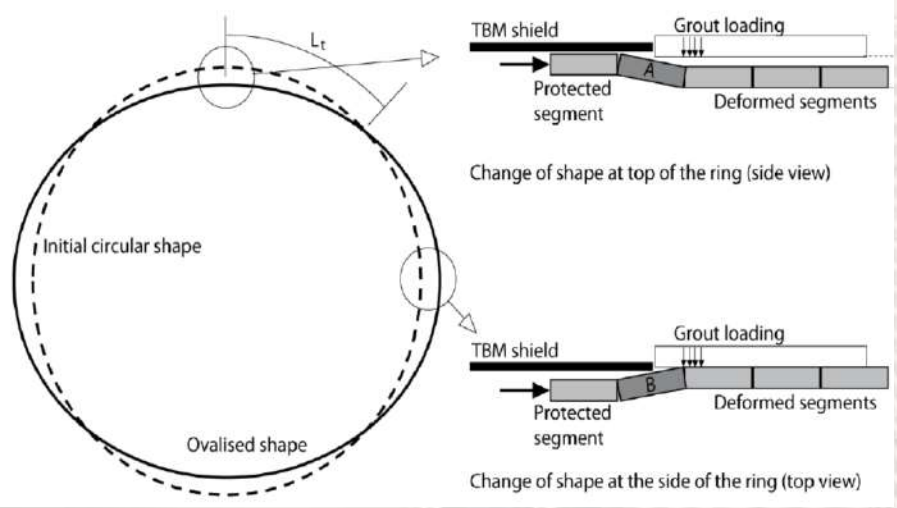
Tolleranze di Costruzione

Deviazioni dalla geometria di progetto dell'anello dovute a attività costruttive:
- Tolleranze di installazione
- Deformazioni dell'anello

Maximum ring roll	±100mm (4")
Ring shape (ovalization) on diameter	±0.25% x ID to ±0.5% x ID
Maximum relative ring roll	±10mm (0.4")
Step, slip or lip due to joint misalignment	±5mm (0.2")
Maximum gap between joint contact faces	±5mm (0.2")
Tolerances on absolute vertical position of lining invert	±75mm (3")
Planarity of the faces of the ring	±0.75mm from theoretical plane



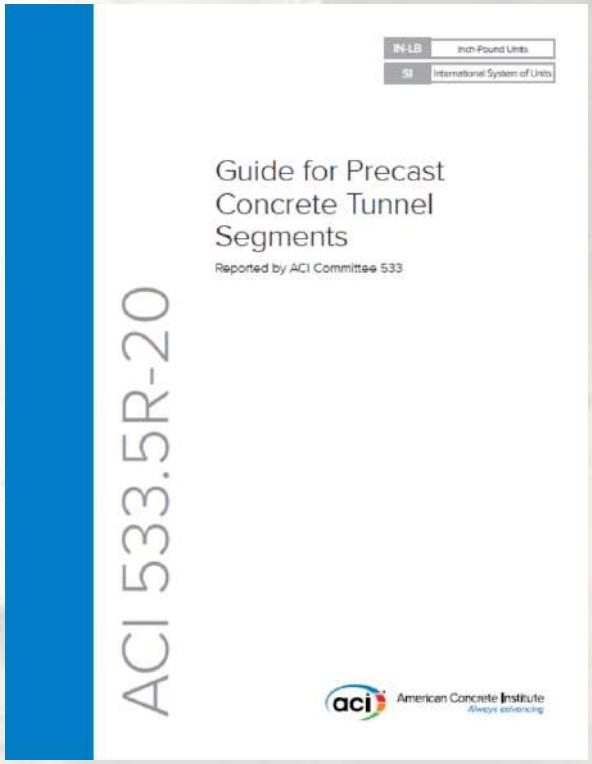




2. Normative, Linee Guida e Raccomandazioni

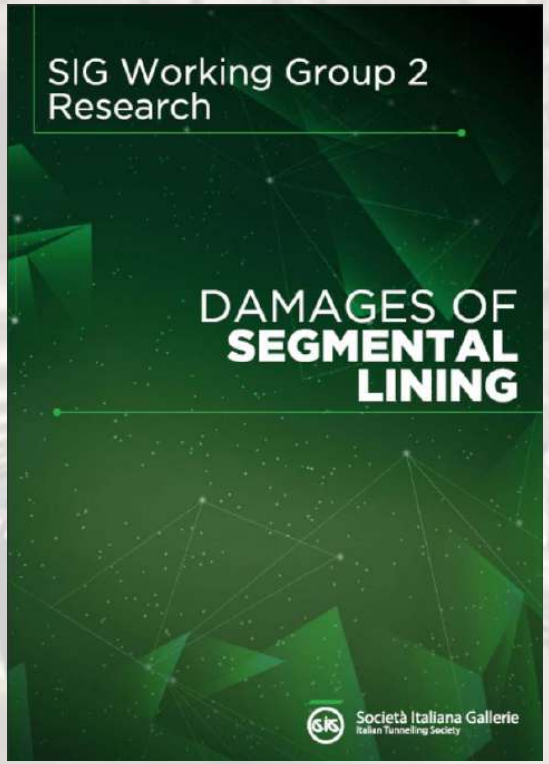
Precast concrete tunnel segments

ACI 533.5R-20/2020

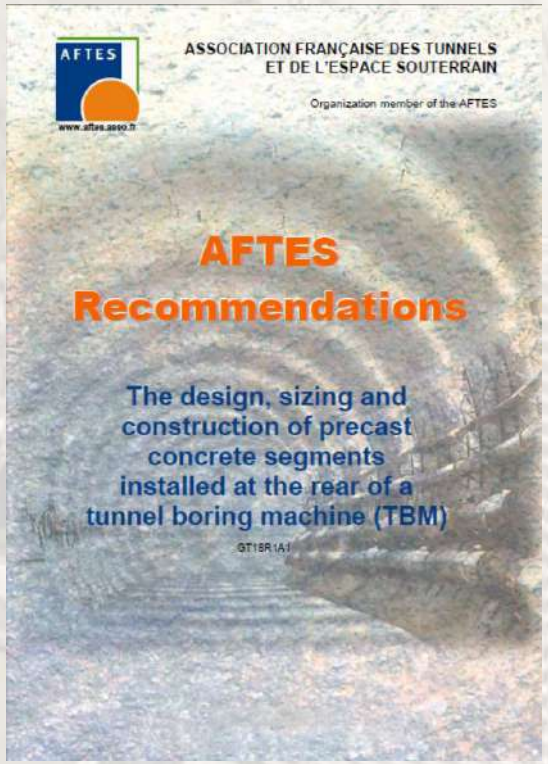


ITA WG 2 Rep. n° 22/2019

SIG WG 2 Report/2019



AFTES Rec./1998(2005 ing)



2. Normati

ACI 533

ACI 533.5R-20

CHAPTER 15—REFERENCES

Committee documents are listed first by document number and year of publication followed by authored documents listed alphabetically.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

AASHTO DCRT-1-2010—Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels—Civil Elements

American Concrete Institute (ACI)

ACI 201.2R-16—Guide to Durable Concrete

ACI 222R-01(10)—Protection of Metals in Concrete Against Corrosion

ACI 224.1R-07—Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures

ACI 318-19—Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

ACI 544.1R-96(09)—Report on Fiber Reinforced Concrete

ACI 544.7R-16—Report on Design and Construction of Fiber-Reinforced Precast Concrete Tunnel Segments

ACI 546R-16—Guide to Concrete Repair

ASTM International

ASTM A615/A615M-18—Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement

ASTM A706/A706M-16—Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement

ASTM A820/A820M-16—Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete

ASTM A1064/A1064M-18—Standard Specification for Carbon-Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete

ASTM C150/C150M-18—Standard Specification for Portland Cement

ASTM C595/C595M-19—Standard Specification for Blended Hydraulic Cements

International Tunneling Association

ITA WG2 2000—Guidelines for the design of shield tunnel lining

ASTM C1012/C1012M-18b—Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution

ASTM C1157/C1157M-17—Standard Performance Specification for Hydraulic Cement

ASTM C1218/C1218M-17—Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete

ASTM C1580-15—Standard Test Method for Water-Soluble Sulfate in Soil

ASTM C1609/C1609M-12—Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)

ASTM D412-16—Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension

ASTM D516-16—Standard Test Method for Sulfate Ion in Water

ASTM D2240-15—Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness

ASTM D4130-15—Standard Test Method for Sulfate Ion in Brackish Water, Seawater, and Brines

ASTM E119-18—Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials

Austrian Society for Concrete and Construction Technology

ÖVBB 2011—Guideline for Concrete Segmental Lining Systems

British Standards Institution (BSI)

BS EN 206-1:2013—Concrete–Specification, Performance, Production and Conformity

BS EN 1991-1-1:2002—Eurocode 1: Actions on Structures

BS EN 1992-1-1:2004—Eurocode 2: Design of Concrete Structures—Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings

BS EN 14651:2005+A1:2007—Test Method for Metallic Fibre Concrete. Measuring the Flexural Tensile Strength (Limit of Proportionality (LOP), residual)

BS EN 50122-2:2010—Railway applications - Fixed Installations – Electrical Safety, Earthing and the Return Circuit Part 2: Provisions Against the Effects of Stray Currents Caused by D.C. Traction Systems

BS PAS 8810:2016—Tunnel Design—Design of Concrete Segmental Tunnel Linings—Code of Practice

British Tunneling Society and The Institution of Civil Engineers

BTS ICE 2004—Tunnel Lining Design Guide

Concrete Society

CS TR63:2007—Guidance for the Design of Steel-Fibre-Reinforced Concrete

French Ministry for the Economy and Finance - Béton armé états limites

BAEL 91 Révisé 99:2007—Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites

French Tunneling and Underground Space Association (AFTES)

AFTES:2005—Recommendation for the Design, Sizing and Construction of Precast Concrete Segments Installed at the Rear of a Tunnel Boring Machine (TBM)

AFTES-WG7:1993—Considerations on the Usual Methods of Tunnel Lining Design

Working Group No.7—Temporary Supports and Permanent Lining

German Committee for Structural Concrete within German Institute for Standardization

DAfStB Stahlfaserbeton:2012-11—Richtlinie Stahlfaserbeton/Technical Guidelines for Steel Fiber Reinforced Concrete, Part 1-3

German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure

ZTV-ING:2007—Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Straßentunneln (ZTV-ING)—Teil 5, Tunnelbau, Abschnitt 3 Maschinelle Schildvortriebsverfahren

German Railway Standards

Ril 853:2011—Richtlinie Eisenbahntunnel planen, bauen und in Stand halten

DS 853:1993—Eisenbabntunnel planen, bauen und instandhalten

German Research Association for Underground Transportation Facilities

STUVAtec:2005—STUVA Recommendations for Testing and Application of Sealing Gaskets in Segmental Linings

German Society for Concrete and Construction Technology (DBV)

DBV:2001—Guide to Good Practice—Steel Fibre Concrete

German Tunneling Committee (DAUB)

DAUB:2005—Recommendations for Static Analysis of Shield Tunnelling Machines

DAUB:2013—Lining Segment Design: Recommendations for the Design, Production, and Installation of Segmental Rings

International Federation for Structural Concrete (fib)

MC2010—Model Code for Concrete Structures 2010

International Organization for Standardization

ISO 834-11:2014—Fire Resistance Tests — Elements of Building Construction — Part 11: Specific Requirements for the Assessment of Fire Protection to Structural Steel Elements

ISO 11346:2004—Rubber, Vulcanized or Thermoplastic—Estimation of Life-Time and Maximum Temperature of Use

ITA WG6 2004—Guidelines for structural fire resistance for road tunnels

International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM)

RILEM TC 162-TDF:2003—Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete. s–e Design Method: Final Recommendation

Italian National Research Council (CNR)

CNR DT 204/2006:2007—Guidelines for the Design, Construction and Production Control of Fibre Reinforced Concrete Structures

Italian Tunnelling Society

SIG WG N. 2:2019—Report No. 1 – Damages of Segmental Lining

Japanese Railway Technical Research Institute

RTRI 2008—Design Standards for Railway Structures and Commentary (Shield Tunnels)

Japan Society of Civil Engineers (JSCE)

JSCE 2007—Standard Specifications for Tunneling: Shield Tunnels

Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority

LACMTA 2013—Metro Rail Design Criteria—Section 5 Structural/Geotechnical

Portland Cement Association (PCA)

PCA IS536:2002—Types and Causes of Concrete Deterioration

Royal Netherlands Standardization Institute (NEN)

NEN 6720:1995—Regulations for Concrete—Structural Requirements and Calculation Methods

Singapore Land Transport Authority

LTA 2010—Civil Design Criteria for Road and Rail Transit Systems

Spanish Ministry of Public Works and Transport

EHE-08 2010—Code on Structural Concrete, ANNEX 14—Recommendations for Using Concrete with Fibres

Swiss Society of Engineers and Architects

SIA 262:2003—Concrete Structures

U.S. Army Corps of Engineers

USACE EM 1110-2-2901:1997—Tunnels and Shafts in Rock

+

Standard e Specifiche Locali, anche per FRC

Enrico Maria Pizzarotti

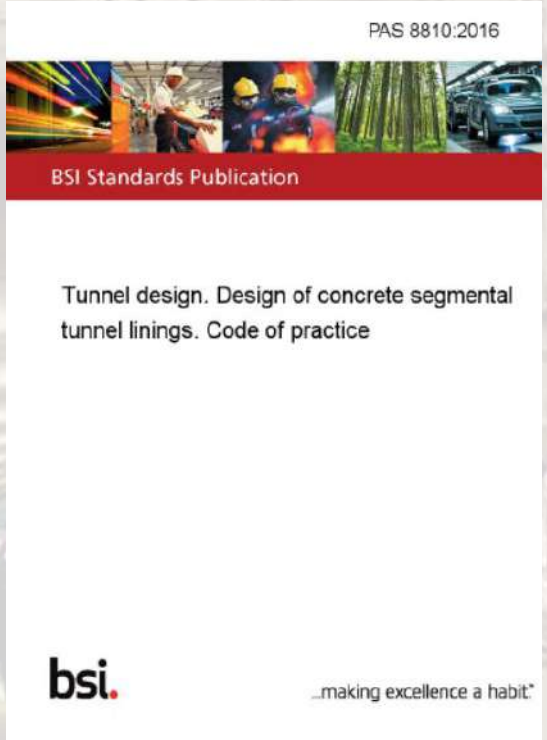
enrico.pizzarotti@proiter.it

Precast concrete tunnel segments

ÖVBB Guideline/2011

DAUB Rec./2013

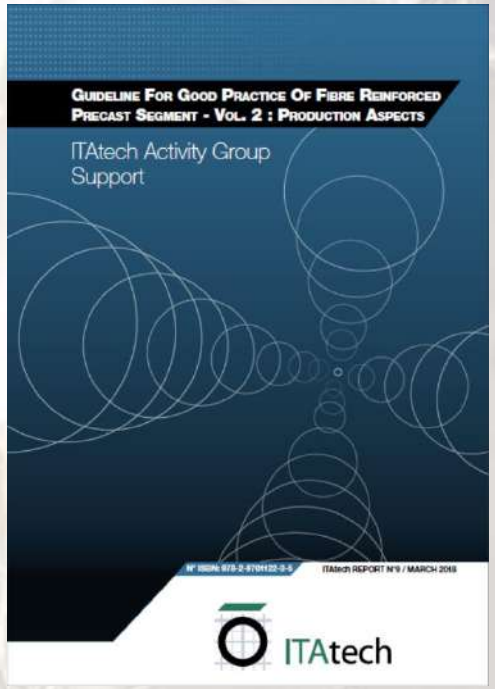
BS PAS CoP 8810:2016



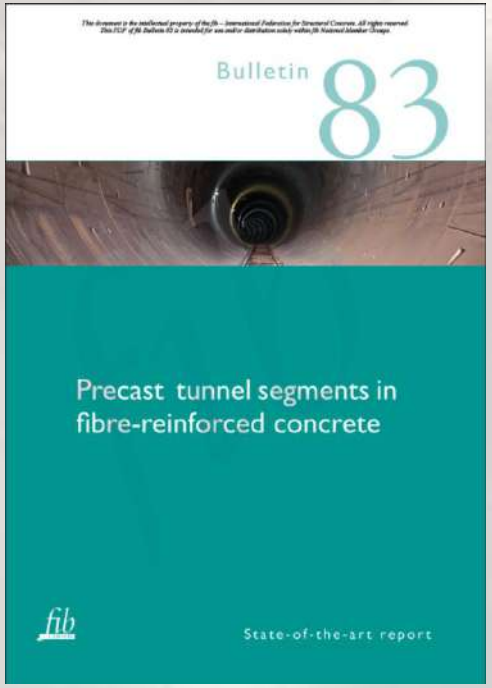
BTS/ICE Guide 2004

Precast concrete tunnel segments FRC

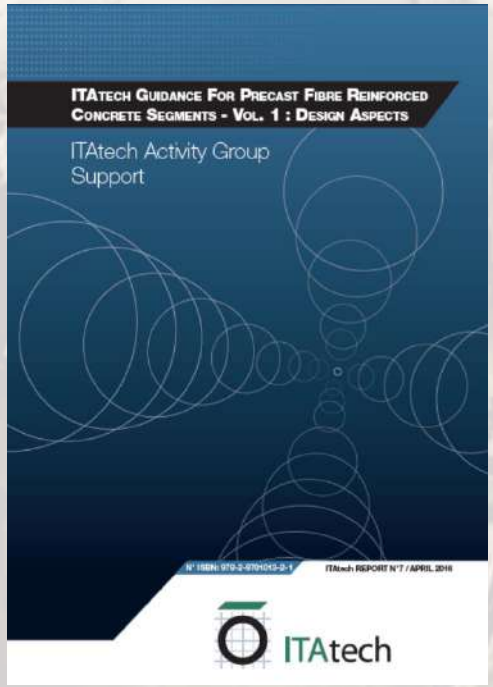
ITAtech report n° 9 / 2018



Bullettin *fib* 83 / 2017

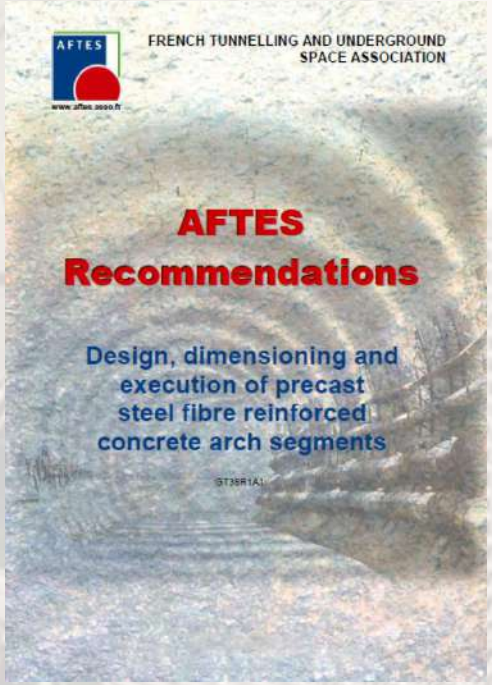


ITAtech report n° 7 / 2016



ITA report n° 16 / 2016

AFTES Rec. / 2013



Enrico Maria Pizzarotti
enrico.pizzarotti@proiter.it

FRC

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA
PARTE PRIMA Roma - Martedì, 20 febbraio 2018 SI PUBBLICA TUTTI I GIORNI NON FESTIVI
DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

11.2.12. CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO (FRC)

Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) è caratterizzato dalla presenza di fibre discontinue nella matrice cementizia; tali fibre possono essere realizzate in acciaio o materiale polimerico, e devono essere marcate CE in accordo alle norme europee armonizzate, quali la UNI EN 14889-1 ed UNI EN 14889-2 per le fibre realizzate in acciaio o materiale polimerico.

La miscela del calcestruzzo fibrorinforzato deve essere sottoposta a valutazione preliminare secondo le indicazioni riportate nel precedente § 11.2.3 con determinazione dei valori di resistenza a trazione residua f_{R1k} per lo Stato limite di esercizio e f_{R3k} per lo Stato limite Ultimo determinati secondo UNI EN 14651:2007.

Per la qualificazione del calcestruzzo fibrorinforzato e la progettazione delle strutture in FRC si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizioni emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

Linee guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione d'idoneità tecnica all'impiego ed il controllo di accettazione dei fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato FRC (Fiber Reinforced Concrete)

FRC

EN 14889-1, Fibres for concrete — Part 1: Steel fibres — Definition, specifications and conformity

EN 14889-2, Fibres for concrete — Part 2: Polymer fibres — Definition, specifications and conformity

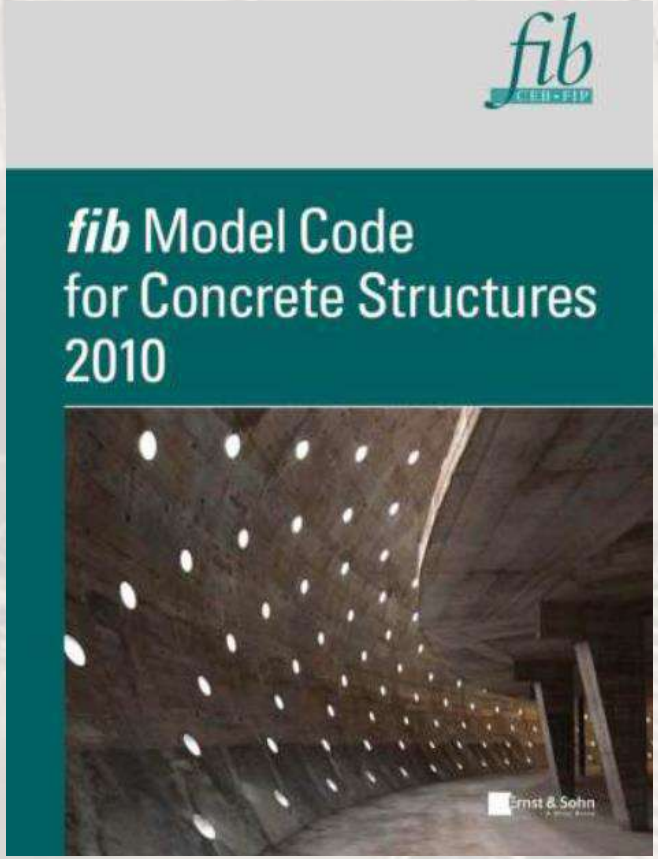
UNI 11039: Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio; (1a) Parte I: Definizioni, classificazione e designazione; (1b) Parte II: Metodi di prova.

CEN EN 14651 Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual).

EN 14721, Precast concrete products - Test method for metallic fibre concrete - Measuring the fibre content in fresh and hardened concrete.

EN 14845-1, Test methods for fibres in concrete - Part 1: Reference concretes

EN 14845-2, Test methods for fibres for concrete — Part 2 — Effect on concrete.



GFRP

GAZZETTA UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA — Roma - Martedì, 20 febbraio 2018 — SI PUBBLICA TUTTI I GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DELLO STATO PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

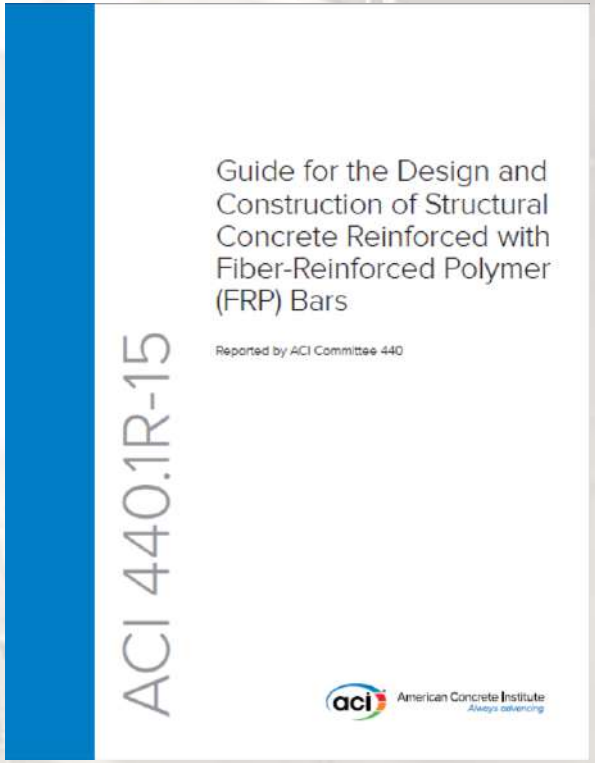
Capitolo 11 delle NTC 2018

Identificazione e qualificazione di materiali e prodotti per uso strutturale

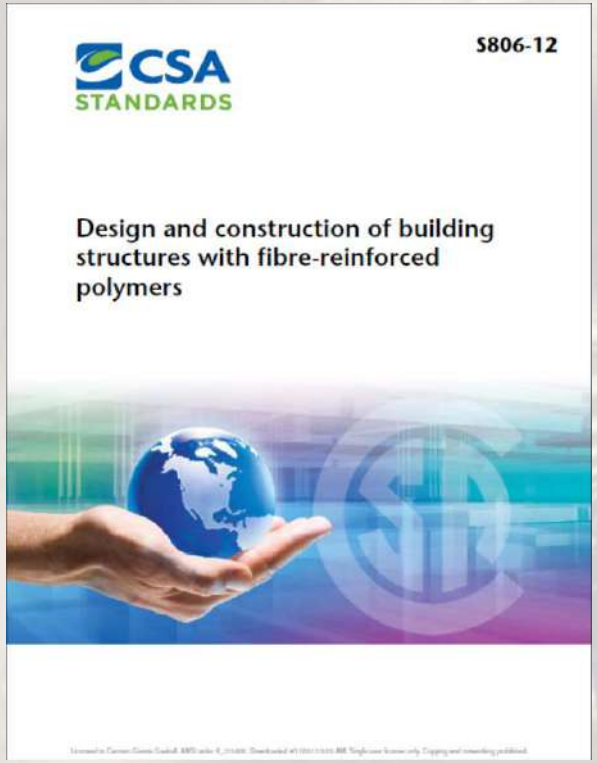
A tal fine le norme predette prevedono che **i materiali e i prodotti da costruzione per uso strutturale**, *quando non marcati CE ai sensi del Regolamento (UE) n.305/2011 o non provvisti di un ETAss (European Technical Assessment) ai sensi dell'art. 26 del Regolamento (UE) n. 305/2011*, **debbano essere in possesso di un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT)** rilasciato dal Sevizio Tecnico Centrale (STC), anche sulla base di linee guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

GFRP

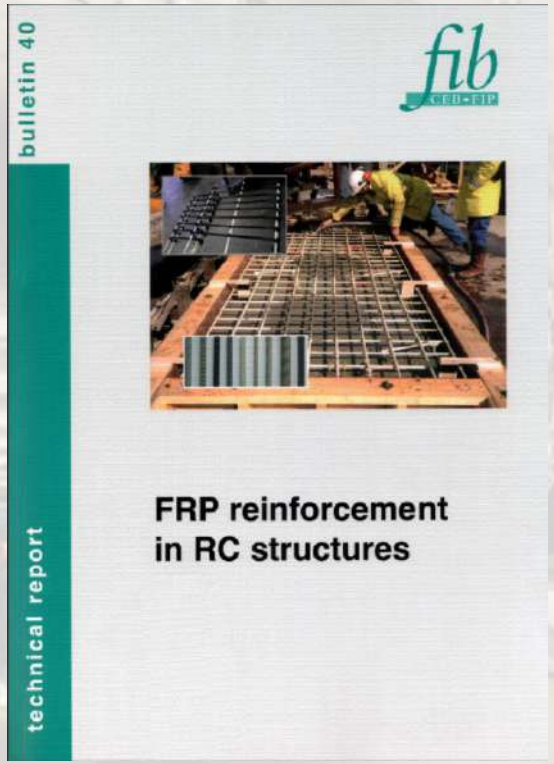
ACI 440.1R-15/2015



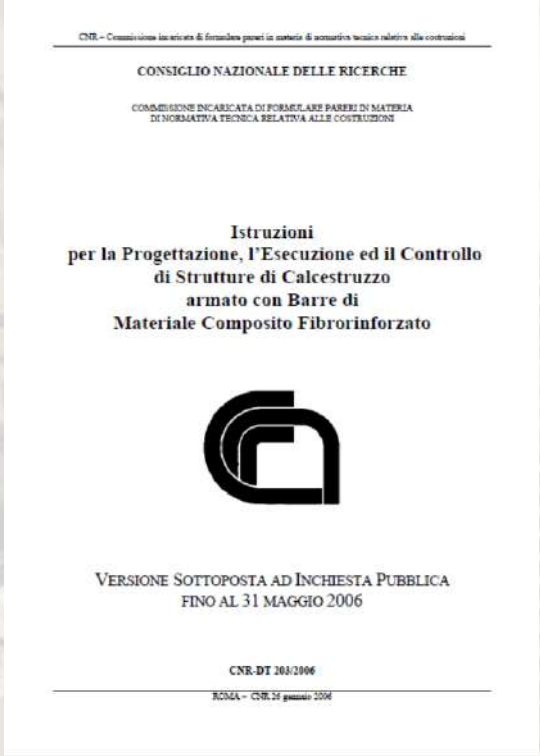
CSA Standard S806-12/2012



Bullettin fib 40/2007



Istruzioni CNR DT203/2006

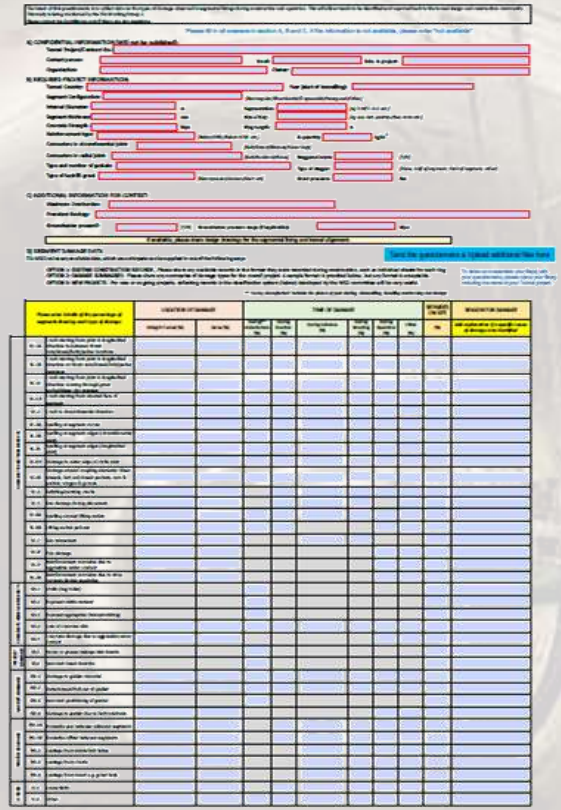


Danni ai conci: SIG WG2 Report

Danni ai conci: ITA WG 2 Report (in fase di stesura)

Segmental lining damage – classification, avoidance and repair

Sondaggio per raccolta dati



Classificazione dei Danni

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)		

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!