

Bologna, 17, 18 19 ottobre 2013

Innovazione e sperimentazione per le guarnizioni di Sparvo e di Scilla

P.I. Gustavo Bomben⁽¹⁾, Ing. Massimiliano Bringiotti⁽²⁾

⁽¹⁾ Fama S.p.A., Zoppola, Italia

⁽²⁾ GeoTunnel S.r.l., Genoa, Italia

ABSTRACT: In questo articolo vengono esaminati alcuni aspetti riguardanti le guarnizioni di sigillatura dei conci. In particolare sono considerate le premesse di carattere generale e l'evoluzione delle forme e delle tecniche applicative. La ricerca d'innovazione è stata sostenuta da una poderosa campagna sperimentale che ha consentito di mettere a punto prodotti con caratteristiche competitive e convalidate. A Sparvo (radoppio della Variante di Valico sull'autostrada A1 tra Firenze e Bologna), per la galleria a doppia canna, scavata con la TBM-EPB più grande del mondo con diametro 15,625 metri, la progettazione prevedeva una guarnizione con particolari caratteristiche prestazionali che si sono potute affrontare e risolvere grazie alle competenze acquisite. La guarnizione ancorata nel calcestruzzo a Scilla (elettrodotto a 380 kV c.a. in doppia terna “Sorgente Rizziconi” - collegamento in sotterraneo tra la località di approdo di Favazzina dei cavi marini e la verticale della stazione elettrica di Scilla) è il punto di approdo di una serie di diversi ambiti di ricerca finalizzati a migliorare l'operatività e le prestazioni.

1 Sviluppo tecnologico delle guarnizioni di sigillatura dei conci

I conci in cemento armato, per il rivestimento delle gallerie scavate con il sistema meccanizzato, formano nel loro perimetro di contatto giunti che devono essere sigillati per resistere alla massima pressione idraulica esercitata esternamente al tunnel od eventualmente, nel caso di tunnel idraulici, quella interna o entrambi contemporaneamente.

Questo obiettivo è normalmente raggiunto con l'impiego di guarnizioni elastomeriche che vengono collocate nel perimetro del conco, alloggiandole in apposite sedi nello stesso preformate chiamate “cave”.

Nell'installazione di anelli di conci in successione, per motivi tecnici, si cerca sempre di evitare il formarsi di giunti a croce preferendo giunti a “T”.

1.1 Aspetti tecnici relativi alla geometria del profilo

La dimensione, la geometria e la struttura della guarnizione sono caratteristiche fondamentali per garantire la prestazione di tenuta idraulica.

La larghezza della guarnizione misurata sul fondo della cava è contenuta normalmente fra 20 e 50 mm e la sua altezza è 1:2 della larghezza. Una altezza minore è preferibile perché riduce l'instabilità della guarnizione e ne evita il ribaltamento, con conseguenti perdite, durante il montaggio, specialmente della chiave.

La larghezza della guarnizione misurata sulla parte superiore deve assicurare la massima superficie di contatto possibile, almeno 5 o 10 mm, con il massimo disallineamento ammissibile dei conci.

La forma della guarnizione è realizzata in modo di assicurare il suo contatto con i fianchi della cava solo così può assorbire le forze della pressione idraulica che agiscono lateralmente garantendo la tenuta.

Di norma la guarnizione presenta da 3 a 5 piedini nel profilo della larghezza compresa da 2 a 4 mm. Piedini più sottili sono più instabili e influiscono negativamente sulla tenuta idraulica mentre piedini più grossi riducono le pressioni unitarie e favoriscono perdite già a pressioni idrauliche basse.

La forma della struttura di sostegno interna della guarnizione è costituita da fori o da menischi reticolari e controventature per assicurare una buona tenuta idraulica anche in presenza di disallineamenti (offset) e di divaricazioni (gap) dei giunti e per limitare le forze di reazione in compressione.

La gomma che costituisce la materia prima della guarnizione è un prodotto che presenta alte caratteristiche di flessibilità e quindi di adattabilità alle condizioni d'impiego ma deve essere tenuto conto che non è comprimibile, può cioè variare la sua forma ma non può diminuire il suo volume. E' importante tenere presente questo fatto in modo particolare quando si dimensiona la guarnizione. La sezione della stessa, infatti, deve essere sempre inferiore alla sezione della cava nella quale viene alloggiata. Uno dei parametri di verifica delle guarnizioni è rappresentato dal grado di riempimento con il quale si accerta che alla massima chiusura del giunto, e quindi alla massima compressione, della guarnizione, questa abbia un volume inferiore allo spazio libero della cava (Fig. 1).

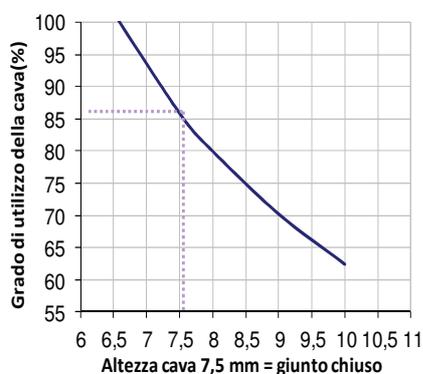


Figura 1. Esempio del grado di utilizzo della cava

1.2 Aspetti tecnici relativi alla geometria della guarnizione

Le guarnizioni sono realizzate con dimensioni longitudinali adeguate alla geometria dei conci ai quali devono essere accoppiate. Il concio può avere diverse forme regolari o irregolari: rettangolo, trapezio isoscele, trapezio rettangolo, romboidale.

Le superfici contigue radiali e longitudinali possono essere poste su angoli sghembi in particolare quelle del concio di chiave e le corrispondenti dei conci di controchiave. Tale configurazione serve per favorire l'inserimento del concio di chiave dall'intradosso fra le superfici delle controchiavi, anche con una iniziale traslazione.

La lunghezza interna delle guarnizioni viene realizzata con un pretensionamento che favorisca l'applicazione e compensi le sue tolleranze dimensionali; normalmente può essere fra l'1 ed il 3%. Il pretensionamento deve essere comunque definito in rapporto alle specifiche modalità operative di applicazione della guarnizione e deve essere stabilito fra il produttore ed il prefabbricatore.

Il tipo di colla impiegato e la metodica di applicazione utilizzata incidono fortemente sulla corretta installazione della guarnizione. Un incollaggio della guarnizione nel concio non correttamente eseguito può generare diversi difetti, quali il formarsi di rigonfiamenti o distacchi che si manifestano già in fase di immagazzinamento dei conci stessi. Un difetto subdolo e quindi più pericoloso, è rappresentato da un incollaggio insufficiente che non manifesta difetti apparenti ma non è in grado di trattenere la guarnizione nella sua sede durante le gravose operazioni di montaggio del concio in galleria. In questa circostanza si verifica l'espulsione della guarnizione dalla sua sede, in particolare nelle zone d'angolo e nei lati longitudinali causa di gravi perdite che comportano onerosi costi di riparazione.

Le guarnizioni hanno una intrinseca instabilità durante le fasi di montaggio del concio che si manifestano in tutta la loro dimensione longitudinale ed in particolare nelle zone d'angolo. L'instabilità è proporzionale all'altezza e vi è l'interesse ad avere geometrie basse inferiori al 50% della larghezza.

La possibilità di realizzare guarnizioni relativamente basse assicura una maggiore stabilità e riduce il rischio di ribaltamento durante il montaggio, minimizzando le infiltrazioni d'acqua.

L'obiettivo di realizzare guarnizioni "basse" in quanto più stabili e meno soggette a ribaltamenti ed a distorsioni degli angoli di giunzione è oggi maggiormente raggiungibile per effetto del miglioramento delle tolleranze dimensionali e di forma dei conci, oggi paragonabili a quelle utilizzate nel settore meccanico. La qualità dimensionale attualmente raggiunta nella fabbricazione dei conci, consente la previsione progettuale di guarnizioni più piccole e con altezze minori. I gap e gli offset entro i quali è previsto che queste diano le prestazioni idrauliche necessarie sono infatti relativamente bassi.

1.3 Aspetti tecnici relativi alla geometria dell'angolo

Le geometrie dei conci si sono nel tempo evolute per favorire il loro montaggio in galleria e presentano forme assimilabili al trapezio isoscele ed al quadrilatero romboidale. Le guarnizioni sono realizzate con spezzoni di profilo estruso assiemati fra di loro con la vulcanizzazione di angoli stampati. La geometria, la dimensione e la forma degli stessi influiscono in modo rilevante sulla prestazione idraulica della guarnizione e possono essere causa di danneggiamento del concio per effetto di un'alta concentrazione di sforzi. E' necessario quindi che gli angoli corrispondano a caratteristiche specifiche.

1.3.1 Comportamento degli angoli di giunzione nella compressione

E' necessario condurre dei test per controllare e misurare le forze di reazione che si generano per effetto della compressione degli angoli attigui del giunto a T.

1.3.2 Comportamento degli angoli alla tenuta idraulica

I test di tenuta idraulica mirano a verificare che nella zona del giunto a T non si verifichino perdite in conseguenza di una forza di reazione degli angoli insufficiente. E' quindi necessario che l'angolo sia un punto d'incontro tra esigenze opposte: avere una buona tenuta idraulica senza generare un eccesso di forze di reazione. E' un risultato questo particolarmente delicato e difficile da raggiungere.

1.3.3 Adattabilità dell'angolo alla geometria del concio

La alte caratteristiche di flessione della gomma hanno indotto in passato a realizzare guarnizioni con angoli generici a 90° anche in presenza di conci con angoli ottusi ed acuti. I test di tenuta idraulica dimostrano che si ottengono migliori risultati quando gli angoli nel giunto a T si accoppiano nel modo più perfetto possibile. Per questa ragione la forma degli angoli stampati è diventata molto più complessa fino ad adattarsi perfettamente alla forma geometrica del concio. Oggi gli angoli, nelle aziende all'avanguardia, hanno una geometria perfettamente aderente al concio anche quando questo ha superfici di contatto longitudinali sghembe rispetto la tangente del punto di contatto (Fig. 2). Questa caratteristica ha reso molto più complessa la fase progettuale e costruttiva della guarnizione e dei mezzi per la sua produzione. La cura di questi particolari produce effetti rilevanti nell'eliminazione delle infiltrazioni d'acqua

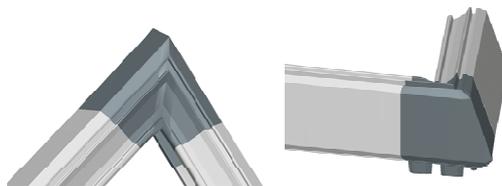


Figura 2. Esempio di angolo sghembo ed acuto

1.4 Aspetti tecnici relativi alla cava della guarnizione

L'esperienza ha dimostrato che le caratteristiche geometriche della cava influenzano pesantemente le prestazioni idrauliche della guarnizione. E' quindi necessario soffermarci ad esaminarle anche se in modo sintetico.

La cava ha lo scopo di assicurare che la guarnizione non venga espulsa dalla sua ottimale posizione durante il montaggio dei conci e di non essere scalzata dalla pressione idraulica e quindi deve corrispondere a diversi requisiti:

- a) La cava è dimensionata in relazione alle pressioni idrauliche e proporzionata alla dimensione del concio.
- b) Deve essere assicurato che le forze di reazione della guarnizione e degli angoli, per effetto della loro compressione, non provochino rotture o frantumazioni del calcestruzzo. In linea generale è bene che la sezione della guarnizione rappresenti il 95% massimo di quella della cava (in quanto l'EPDM è elastico ma non comprimibile) e che la cava stessa sia ad almeno 30 mm dal bordo del concio.
- c) La cava deve essere sbavata e priva di crateri. Questa deve essere riparata da eventuali rotture, frantumazioni in prossimità dei suoi fianchi e nel suo fondo perché pregiudicano la tenuta. Può essere necessario l'uso di una spazzola metallica e di una stuccatura, per esempio con resine epossidiche.
- d) L'area della cava deve essere asciutta e non presentare polvere e grasso che pregiudicano la tenuta dei collanti.

1.5 Aspetti tecnici relativi all'incollaggio

Per l'installazione della guarnizione devono essere utilizzati collanti adatti, conservati secondo le indicazioni del produttore ed impiegati secondo procedure ben definite.

I collanti non hanno funzione di tenuta idraulica ma di mantenere in posizione la guarnizione durante il montaggio del concio in galleria.

Per un buon incollaggio della guarnizione è fondamentale la presenza del collante sul fianco della cava (Fig. 3). E' un'operazione apparentemente facile, ma l'esperienza dimostra che non è così. Per migliorare la stesa della colla è molto importante anche l'ergonomia del posto di lavoro.

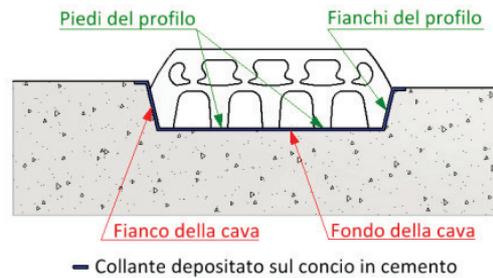


Figura 3. Esempio di incollaggio

Le guarnizioni possono essere lasciate esposte agli eventi atmosferici nei piazzali già montate sui concetti, se si utilizzano materie prima di primissima qualità; tuttavia possono insorgere problemi per la progressiva perdita delle caratteristiche adesive della colla.

L'operazione d'incollaggio è molto critica perché deve essere eseguita con la massima cura, diligenza e costanza dall'operatore. A volte, nella linea d'incollaggio, è utile l'ausilio di una pressa di mantenimento in posizione della guarnizione dopo l'incollaggio (Fig. 4).

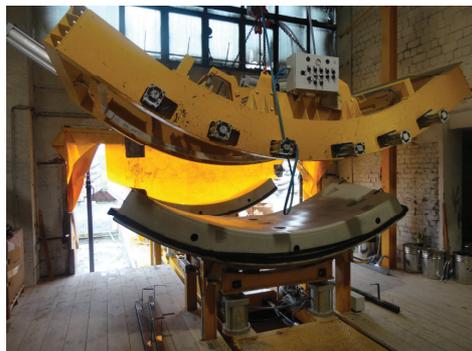


Figura 4. Esempio dell'utilizzo di una pressa per il mantenimento in posizione della guarnizione dopo l'incollaggio

1.6 Aspetti relativi all'attrito fra le guarnizioni

Durante la fase di montaggio in galleria le guarnizioni longitudinali, dei conci adiacenti, entrano in contatto fra di loro e contemporaneamente traslano per completare l'inserimento dei perni di fissaggio o di centraggio dando luogo ad elevate forze che si scaricano sulla guarnizione stessa, provocando in alcuni casi la sua espulsione dalla cava.

L'espulsione della guarnizione dalla sua cava è molto grave perché è causa di perdite idrauliche che richiedono complesse e costose operazioni di sigillatura.

Quando la sezione della guarnizione coinvolta è importante, si forma una grinza ampia che si interpone fra le facce del cono, impedendo che questo si accosti perfettamente all'elemento attiguo determinando anche uno sconfinamento delle tolleranze dimensionali del rivestimento.

Limitate espulsioni della guarnizione sono comunque problematiche, perché potrebbero essere causa di incompleta chiusura del giunto che potrebbe mettere in difficoltà anche i sistemi di connessione che non sono in grado di sopportare inserimenti diversi da quelli considerati nella definizione del profilo.

In questa circostanza, infatti, il sistema di connessione provocherebbe un'esasperata perdita di contatto allargando la pur minima dimensione iniziale di apertura del giunto.

Per limitare gli attriti fra le guarnizioni può essere utile usare degli scivolanti idonei (Fig. 5).

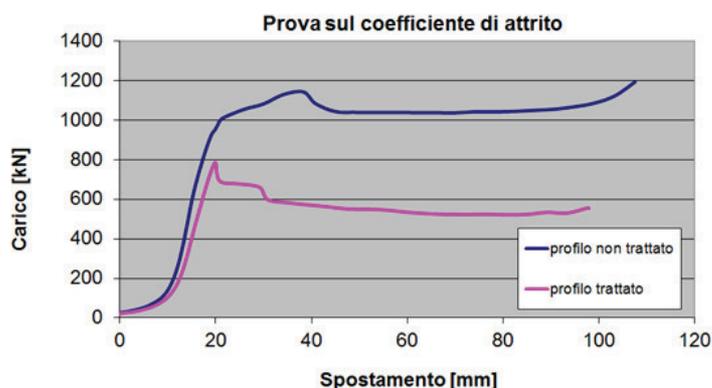


Figura 5. Il grafico dimostra come le forze di attrito si riducono sensibilmente con l'impiego di scivolanti sulle superfici delle guarnizioni

2 Aspetti tecnici relativi alle caratteristiche della gomma

Nel valutare il comportamento e le prestazioni della guarnizione è utile svolgere una riflessione sulla sua natura intrinseca.

La gomma è un insieme di polimeri e di cariche minerali. Mentre i polimeri hanno un comportamento elastico quasi perfetto, le cariche minerali sono prive di qualsiasi elasticità.

Per meglio comprendere il comportamento elastico della gomma in tensione ed in compressione, è interessante valutare il comportamento di un cilindretto di gomma, per esempio di 10 mm di altezza (Fig. 6).

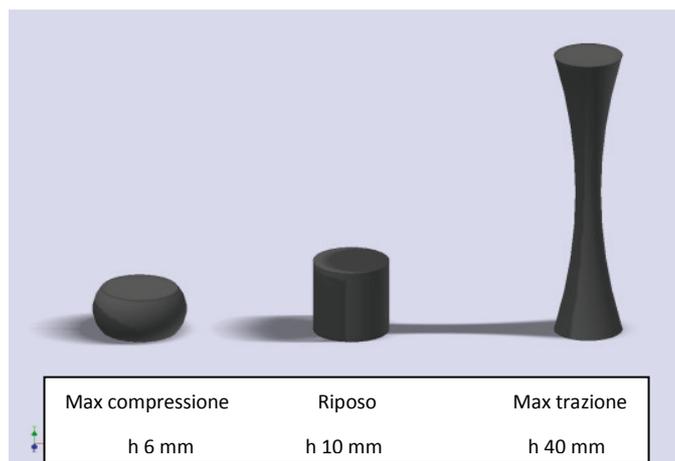


Figura 6. Esempio di compressione della gomma

E' del tutto intuibile che il cilindretto non potrà mai essere compresso fino al 100% della sua altezza perché questo comporterebbe il suo totale spappolamento e l'espulsione dal suo stesso volume. La capacità della gomma di essere deformata, di norma, permette di comprimere il cilindretto fino ad una altezza di 6 mm e quindi ridurre del 40% massimo la sua dimensione iniziale. A questo livello di deformazione in compressione, la gomma ha già raggiunto il suo massimo stress e non è in grado di sopportare un'ulteriore deformazione senza subire danni irrecuperabili alla sua struttura.

Se invece lo stesso cilindretto viene sottoposto a trazione, può allungarsi di norma fino a 40 mm secondo le sue caratteristiche; quindi può allungarsi fino al 400%.

Ai fini della valutazione di deformabilità di un oggetto in gomma, si deve quindi tenere presente che "l'escursione" disponibile è molto più grande in trazione che in compressione. E' quindi interesse tecnico cercare di deformare la guarnizione utilizzando maggiormente la propria capacità di allungarsi rispetto a quella di comprimersi.

La deformazione per trazione, sviluppandosi su escursioni più ampie, offre due risultati molto positivi:

- Avere una maggiore stabilità di reazione del profilo ed un minore rischio di portarlo nella sua soglia di stress massimo ammissibile.
- Avere una maggiore capacità di mantenere nel tempo le sue prestazioni.

Per questa ragione, nel corso del tempo, la forma delle guarnizioni di tenuta idraulica via via ha subito modifiche concettuali. Si è passati da forme che prevedevano una deformabilità in sola compressione fino a forme che utilizzano in modo sempre maggiore anche l'allungamento.

2.1 Aspetti tecnici relativi alla durabilità delle prestazioni della guarnizione

La gomma come tutti i materiali organici è sensibile agli effetti di invecchiamento di tipo ambientale. Su periodi di tempo lunghi le proprietà fisiche degli elastomeri possono variare a causa di molteplici fattori; di seguito ne riportiamo una sintesi.

2.1.1 Effetti di temperatura

Lunghi periodi di esposizione a basse temperature possono provocare la cristallizzazione in alcune formulazioni elastomeriche. Inoltre, al di sotto di una temperatura specifica, detta temperatura di transizione vetrosa gli elastomeri diventano molto rigidi ed assumono un comportamento fragile.

Temperature elevate, al contrario, possono provocare fenomeni di invecchiamento ossidativo e l'evaporazione dei componenti volatili della formulazione, con conseguente diminuzione della resistenza meccanica del materiale.

2.2.2 Effetti di natura chimica

La gomma in contatto con alcune sostanze gassose o agenti chimici quali acidi, solventi, idrocarburi ma anche acqua, incorre in fenomeni di assorbimento di tali sostanze. L'assorbimento di quantità elevate di gas o liquidi comporta una diminuzione della resistenza meccanica del materiale. La presenza di contaminanti nei terreni deve essere attentamente valutata e debbono essere condotti studi per valutare la compatibilità del materiale impiegato nella fabbricazione della guarnizione con i contaminanti stessi.

2.2.3 Effetti dovuti alla luce e all'ozono

Nel caso di prodotti in gomma la cui catena polimerica principale sia costituita da legami insaturi, la reazione UV può provocare fenomeni di variazione del colore. Inoltre, la radiazione UV con la sua capacità di trasformare l'ossigeno in ozono, può indurre la formazione di cricche superficiali su tali tipi di formulazioni elastomeriche.

I prodotti in gomma di colorazione nera sono molto meno sensibili all'azione della radiazione UV, grazie alla presenza di nero fumo che ha la capacità di assorbire la radiazione UV stessa.

La gomma EPDM è un polimero costituito da monomeri saturi, etilene e propilene, e perciò non risulta sensibile a questo tipo di fenomeno di invecchiamento.

2.2.4 Ossigeno

L'ossigeno ha la capacità di ossidare la gomma, specialmente alle alte temperature.

La resistenza all'ossidazione della gomma può essere investigata misurando la variazione nel valore di alcune proprietà fisiche in seguito ad un periodo di invecchiamento in forno.

Generalmente, per raggiungere tale obiettivo, viene studiato il rilassamento dello sforzo meccanico a temperatura ambiente ed a temperature elevate.

2.2.5 Proprietà di rilassamento

Il rilassamento è una proprietà del materiale che descrive il rapporto tra la diminuzione dello stress meccanico nel tempo rispetto a quello iniziale in un componente sollecitato tramite una deformazione fissata.

Spesso viene utilizzata la velocità di rilassamento che esprime il rapporto tra la diminuzione dello stress e l'intervallo del tempo di osservazione, sempre nella condizione di deformazione costante.

Poiché sperimentalmente si osserva una diminuzione dello stress meccanico in un materiale sottoposto ad uno stato di deformazione costante nel tempo, sia il rilassamento che la sua velocità dovrebbero essere espressi come numeri negativi. Ciò nonostante, tali proprietà sono spesso espresse in modo da dare numeri positivi.

Spesso il termine di rilassamento viene utilizzato impropriamente come sinonimo di velocità di rilassamento.

2.2.6 Gomma vulcanizzata: cause del fenomeno di rilassamento

Il rilassamento è un processo che dipende da fenomeni di natura fisica e chimica del materiale.

a) *Fenomeni di natura fisica.* I fenomeni di natura fisica sono correlati a proprietà visco-elastiche della gomma vulcanizzata. La gomma vulcanizzata, a causa della presenza di sostanze non polimeriche, e poiché spesso non è completamente reticolata (permane una frazione di legami secondari non completi), manifesta sempre un comportamento di tipo visco-elastico. Il rilassamento dovuto a fenomeni di natura fisica si attesta in genere attorno al 2%÷10%.

b) *Fenomeni di natura chimica.* Nella gomma, oltre al rilassamento dovuto a fenomeni fisici, si individua anche un rilassamento dovuto prettamente a fenomeni di natura chimica. Questi, sono fortemente dipendenti dalla temperatura e nella gomma in generale possono essere trascurati a temperatura ambiente. E' utile considerare che, se la temperatura non varia, come accade molto probabilmente nelle guarnizioni impiegate nella sigillatura per conci di gallerie, i processi di rilassamento dovuti a fenomeni chimici sono lineari nel tempo. Quando la temperatura è sufficientemente elevata, al trascorrere del tempo di osservazione, i fenomeni di rilassamento di natura chimica possono diventare più rilevanti rispetto a quelli di natura fisica.

Il rilassamento di natura chimica è provocato dalla rottura dei legami secondari a causa di processi ossidativi del materiale.

E' necessario rilevare anche che, poiché la gomma contiene componenti reattivi, nelle stesse condizioni, possono formarsi nuovi legami secondari.

I valori di rilassamento di natura chimica per la gomma EPDM sono generalmente compresi tra 0,001% e 0,02% giorno per le temperature più elevate.

2.2.7 Stima della vita operativa

Effettuando delle prove di rilassamento a temperature diverse, è possibile ottenere una stima della vita operativa di una formulazione elastomerica.

La metodologia di stima è descritta nel metodo di test standard internazionale ISO 11346.

L'esecuzione di una campagna di test su una formulazione EPDM ha permesso di rilevare una vita utile del materiale pari a 10^8 ore, ad una temperatura di 20°C con un valore di soglia del 40% di stress residuo.

2.2.8 Tempo di vita EPDM superiore a 200 anni

Questi test dimostrano che la gomma EPDM non è sensibile ai processi ossidativi e può avere una vita utile molto superiore ai 200 anni quando la temperatura del componente si mantiene tra i 5°C e i 20°C. Tale range rappresenta il valore delle temperature molto probabilmente presenti nella maggior parte di tunnel.

3. Sviluppo delle forme e geometrie della guarnizione

Le guarnizioni nel corso degli anni si sono fortemente ingegnerizzate rispetto alle prime forme elementari.

Vi è stata una continua ricerca di nuove soluzioni, di nuove geometrie, che hanno consentito di generare prodotti di alte prestazioni idrauliche, con un mantenimento nel tempo delle migliori caratteristiche fisiche del manufatto, di facile applicazione e che non provochino rotture o frantumazioni nel concio ed inoltre non richiedano organi di connessione con prestazioni molto alte.

3.1 Forma di prima generazione: a compressione strutturale

Nel precedente punto 2 è stato illustrato il comportamento della gomma sottoposto a compressione.

Qui si riassumono in estrema sintesi:

- a) La gomma può deformarsi a compressione limitatamente senza subire danni irreversibili.
- b) La quantità di deformazione è limitata, mai il 100% della sua dimensione.
- c) La deformazione massima in compressione non può superare il 40-50% della sua dimensione a riposo.
- d) La deformazione in compressione comporta il raggiungimento immediato del massimo stress sopportabile dalla gomma.
- e) Le forze di reazione della guarnizione generate dalla loro compressione sono fortemente influenzate dalla durezza ShA che è un parametro tecnologico a larga tolleranza.
- f) Le forze di reazione della guarnizione a giunto chiuso tendono ad essere alte e per evitare ciò è necessario ridurre la durezza e conseguentemente si hanno forze troppo basse nei gap nevalgici di 4 o 5 mm.
- g) Con questa tipologia di guarnizioni, le forze di reazione a giunto chiuso sono normalmente alte e possono risultare critiche sia per le capacità meccaniche del calcestruzzo che per quelle strutturali dei dispositivi di connessione.

Durante la compressione della guarnizione si verificano dei collassamenti delle forze di reazione in corrispondenza dei gap nevalgici che ne compromettono la tenuta idraulica. La tenuta idraulica è raggiunta con un impiego significativo di gomma (Fig. 7).

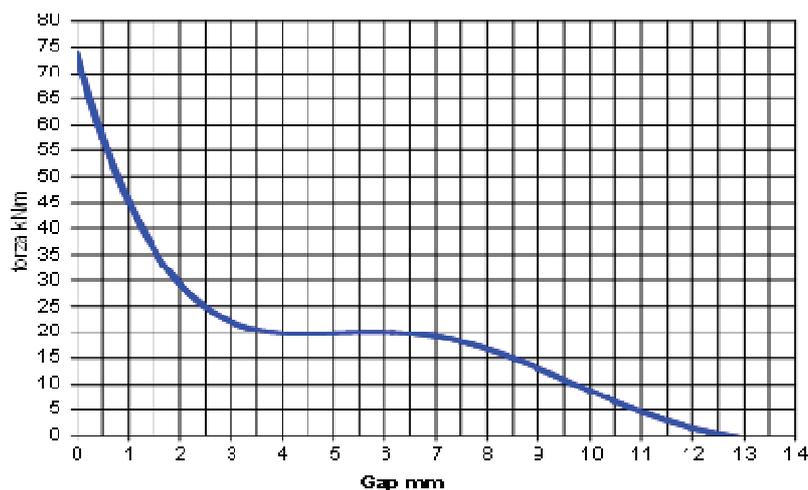
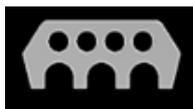


Figura 7. Esempio di guarnizione e grafico di compressione della guarnizione di prima generazione

3.2 Forma di seconda generazione: a flessione di setti

La guarnizione a setti ha una modalità di deformazione diversa rispetto alla guarnizione di prima generazione.

Nella deformazione della guarnizione, parti di essa subiscono una compressione mentre la parte a "setti" e controventature si flette. Come noto, in fase di flessione vi è la presenza della componente di compressione e di quella di tensione. In questo modo si è coinvolta, nella deformazione della guarnizione, la caratteristica di migliore adattabilità e sopportazione al tensionamento.

Tale profilo presenta una buona tendenza alla deformazione senza sottoporre l'elastomero a stress limite e quindi ha una risposta migliore al rilassamento da compressione. La sua prestazione idraulica è mantenuta più a lungo e meglio nel tempo.

Ha una forza di reazione alla completa chiusura del giunto relativamente bassa e quindi non genera forze di reazione che possano fratturare il calcestruzzo e richiede organi di connessione con prestazioni non proibitive.

La controindicazione di questa tipologia di guarnizione è rappresentata dal fatto che avendo una curva di carico "lenta" (Fig. 8) è necessario realizzare guarnizioni con un'altezza relativamente alta a parità di prestazione idraulica.

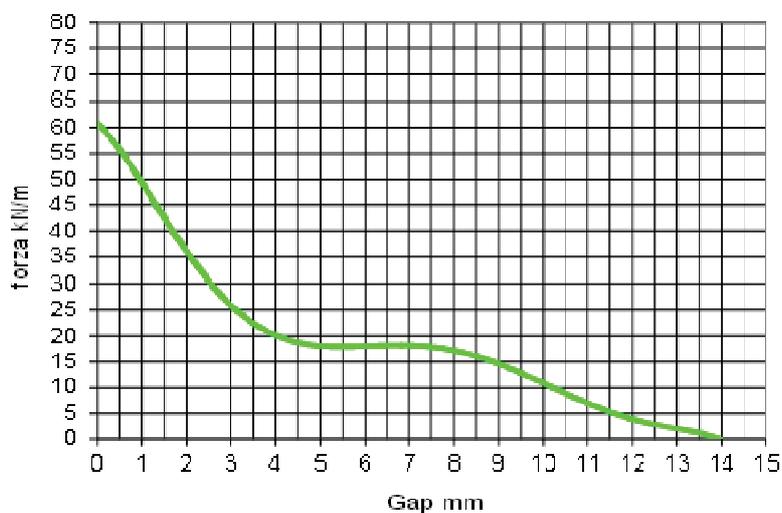


Figura 8. Esempio di guarnizione e grafico di compressione della guarnizione di seconda generazione

3.3 Forma di terza generazione: a tensione

E' una guarnizione che si comprime essenzialmente mediante la tensione provocata dai puntoni a clessidra sul menisco fra i piedini (Fig. 9); tale profilo è brevettato da Fama S.p.A..

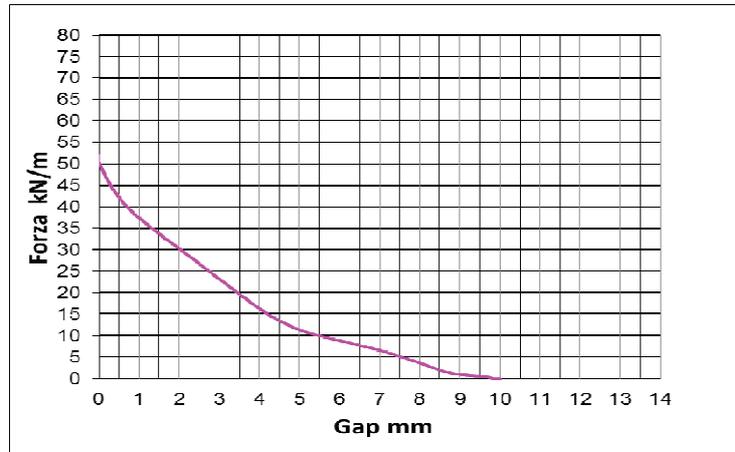
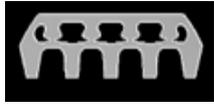


Figura 9. Esempio di guarnizione e grafico di compressione della guarnizione di terza generazione

- Presenta un'ottima tendenza alla deformazione senza sottoporre l'elastomero a stress limite e di conseguenza ha una risposta migliore al rilassamento da compressione ed una prestazione idraulica mantenuta più a lungo e meglio nel tempo.
- Genera una forza di reazione da compressione a giunto chiuso bassa. Il calcestruzzo viene sottoposto a minori sforzi con minori pericoli di generazione di rotture e non richiede organi di connessione con prestazioni limite.
- La forza di reazione tende a salire linearmente. Ai gap nevralgici (4÷5 mm) presenta sufficienti forze di reazioni per garantire un'ottima tenuta idraulica.

Il grafico di Fig. 10 mette a confronto le guarnizioni delle differenti generazioni. Si potrà osservare che ai gap nevralgici di verifica di tenuta idraulica 4 e 5 mm hanno una forza di reazione leggermente diversa. Tuttavia le prestazioni idrauliche sono simili ma presentano una notevole differenza di comportamento a giunto chiuso con forze di reazione molto più contenute. Ciò ha una notevole influenza sui sistemi di connessione che non richiedono particolari prestazioni a vantaggio del mantenimento di gap bassi in fase di estensione del giunto.

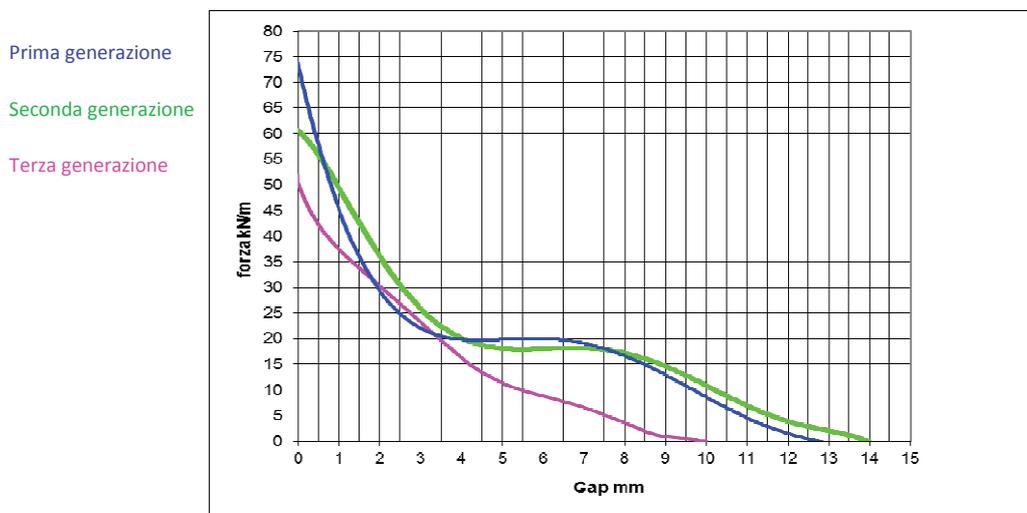


Figura 10. Grafico di confronto delle guarnizioni di differenti generazioni

4. Guarnizione galleria Sparvo

Lo studio e l'analisi ha consentito di raccogliere le competenze ed il know how per affrontare sfide importanti come ad esempio la realizzazione di un prodotto con particolari caratteristiche di tenuta idraulica ed ai gas.

A Sparvo, la galleria scavata con la TBM più grande al mondo, la progettazione ha previsto una guarnizione particolarmente prestazionale e di dimensioni considerevoli. Per raggiungere i limiti di capitolato e' stata studiata una nuova guarnizione appartenente alla seconda generazione. Le prestazioni richieste sono: 20 bar a gap = 4 mm con offset 20.

La guarnizione proposta, anche per tenere conto della perdita di prestazione del tempo di vita a 200 anni, garantisce una prestazione idraulica di 40 bar (Fig. 11).

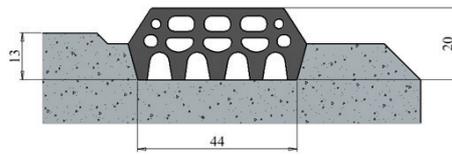


Figura 11. Guarnizione Sparvo e prova idraulica sulla stessa

5. Forma di quarta generazione: ancorata

La guarnizione ancorata applicata a conci prefabbricati offre notevoli vantaggi tecnico - economici in quanto riduce il personale ed il tempo di montaggio della stessa eliminando l'uso della colla, con chiari vantaggi procedurali e ambientali, il miglioramento dell'accoppiamento guarnizione/calcestruzzo e l'eliminazione delle infiltrazioni causate dall'espulsione della guarnizione dalla sua cava.

Il sistema di aggancio nel cassero è semplice ed assicura il mantenimento in posizione della guarnizione durante le lavorazioni (Fig. 12) senza creare problemi allo "scasseramento" e garantendo la non infiltrazione di malta

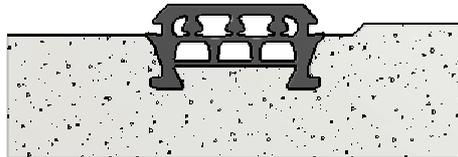


Figura 12. Esempio di guarnizione di quarta generazione (brevetto Fama S.p.A.)

A Scilla, la guarnizione integrata è stata applicata per la prima volta in Italia con ampia soddisfazione del cantiere e del committente. In figura 13 è visibile un coniglio "urtato meccanicamente" facente parte della culla di invert della TBM; si noti il perfetto aggrappo della guarnizione anche in una situazione limite di tale tipo.



Figura 13. Perfetto aggrappo della guarnizione nel calcestruzzo

5.1 Vantaggi della guarnizione ancorata

I vantaggi della guarnizione ancorata Fama sono:

a) Economici:

- Riduzione del tempo di montaggio della guarnizione e del personale necessario a questa operazione (Fig. 14).
- Eliminazione del costo della colla.

b) Qualitativi:

- Viene garantito l'aggrappaggio della guarnizione sul calcestruzzo.
- Riduzione di infiltrazioni per mancata espulsione della guarnizione e traslazione o perdita di geometria dell'angolo.

c) Ambientali:

- Nessun inquinamento ambientale dovuto ai solventi della colla.



Figura 14: Esempio di montaggio della guarnizione ancorata e vista del prodotto finito

6. Conclusione

L'analisi sull'evoluzione delle forme consente un approccio scientifico-comparativo dei prodotti presenti nel mercato. L'esame deve estendersi in futuro sulle interazioni con i sistemi di connessione e sulla revisione della modalità di verifica idraulica in rapporto alle effettive risultanze applicative.

7. Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione il Prof. Alberto Meda dell'Università Tor Vergata di Roma, il Prof. Luca Fambri dell'Università degli Studi di Trento, l'Ing. Paolo Romualdi della SELI di Roma, il Dott. Alberto Morassutti del Polo Tecnologico di Pordenone, il P.I. Paolo Bomben per la ricerca e lo sviluppo e l'Ing. Valter Giugni per gli aspetti brevettuali.

8. Bibliografia

STUVA, Recommendations for the Use of Gaskets for sealing segmental Lining, 2005
ISO STANDARD 11346, Rubber, vulcanized or thermoplastic. Estimation of life-time and maximum temperature of use, 2004.