



Training & Education

ESA



# La sicurezza dei Sistemi di Tenuta

## Guarnizioni e Tenute

Parte 1:  
Guidelines  
per la Manutenzione  
e la Progettazione



Questo documento viene pubblicato congiuntamente dalla European Sealing Association (ESA) e dalla Fluid Sealing Association (FSA). La pubblicazione è promossa dalla divisione “Guarnizioni delle flange” dell’ESA e dalle divisioni “Guarnizioni metalliche/Guarnizioni non metalliche” dell’FSA per conto dei membri di entrambe le Associazioni. L’European Sealing Association (ESA) è un’organizzazione paneuropea fondata nel 1992, e attualmente rappresenta più dell’85% del mercato delle tenute per fluidi in Europa. I suoi membri operano nella produzione, fornitura e utilizzo dei materiali di tenuta, componenti cruciali del sicuro contenimento dei fluidi durante il processo e l’utilizzo. La Fluid Sealing Association (FSA) è un’associazione commerciale internazionale fondata nel 1933. I membri operano nella produzione e nel marketing di quasi tutte le soluzioni di tenuta disponibili sul mercato odierno. Tra i membri dell’FSA vi sono un buon numero di società europee e dell’America centrale e meridionale, ma la maggior parte delle partecipazioni è concentrata in Nord America. I membri della FSA coprono quasi il 90% della capacità produttiva di soluzioni di tenuta del mercato NASFTA.

#### **RINGRAZIAMENTI**

*L’ESA e la FSA sono felici di ringraziare i propri membri e altre società per la collaborazione offerta alla preparazione di questo documento. Senza il loro contributo, questo documento non sarebbe stato pubblicato.*

*Le persone che hanno contribuito in modo particolarmente significativo a questa pubblicazione sono:*

<i>Wolfgang Abt</i>	<i>Frenzelit Werke GmbH &amp; Co. KG</i>
<i>Ivan Borovnicar</i>	<i>Donit Tesnit d.d.</i>
<i>Frans Borsboom</i>	<i>Lapinus Fibres B.V.</i>
<i>Fred M. Burgess</i>	<i>Armstrong Industrial Specialties Inc.</i>
<i>Rod Corbett</i>	<i>Rotabolt Ltd.</i>
<i>Jim Drago</i>	<i>Garlock Sealing Technologies</i>
<i>David Edwin-Scott</i>	<i>James Walker &amp; Co. Ltd.</i>
<i>Brian S. Ellis</i>	<i>European Sealing Association</i>
<i>Andreas Graudus</i>	<i>Du Pont de Nemours International S.A.</i>
<i>Doug Guimond</i>	<i>Hollingsworth &amp; Vose Company</i>
<i>Jan Kasprzyk</i>	<i>Spetech Sp. z.o.o.</i>
<i>Gary L. Milne</i>	<i>Hedley Purvis Ltd.</i>
<i>Joost F.A. Nas</i>	<i>Du Pont Dow Elastomers</i>
<i>Roy Nelson</i>	<i>W.L. Gore &amp; Associates Ltd.</i>
<i>John R. Hoyes</i>	<i>Flexitallc Ltd</i>
<i>Jörg Latte</i>	<i>Klinger Administration AG</i>
<i>Francisco J. Montero</i>	<i>Fibras y Elastomeros S.A.</i>
<i>Pete Petrunich</i>	<i>Fluid Sealing Association</i>
<i>Jim A. Reynolds</i>	<i>Latty International Ltd</i>
<i>Gavin Smith</i>	<i>Klinger Ltd</i>
<i>Michael Werner</i>	<i>Teadit International Produktions GmbH</i>

Questo documento fornisce delle indicazioni ad uso esclusivamente consultivo. L’ESA e la FSA hanno compiuto ogni possibile sforzo per assicurarsi che le raccomandazioni qui presentate siano tecnicamente valide, ma non garantiscono – né espressamente, né indirettamente – l’accuratezza o la completezza delle informazioni qui contenute, né si assumono la responsabilità di eventuali inconvenienti che possono verificarsi dopo aver seguito i suggerimenti qui esposti. Le società devono accertare l’idoneità di prodotti e procedure alle specifiche applicazioni facendo riferimento ai produttori. Infine, questo documento non va in alcun modo inteso come punto di riferimento per eventuali requisiti di conformità richiesti a un particolare settore industriale: le società devono consultare le appropriate normative locali, regionali o statali per una precisa conformità ai requisiti specifici.

## Sommaro

<b>1. Schema del documento</b>	8
<b>2. Introduzione</b>	9
2.1 Background sulla legislazione ambientale	9
2.2 La moderna sfida alle capacità di tenuta	10
<b>3. Assieme flangia/ elemento di fissaggio/guarnizione</b>	12
<b>4. Disposizione di flange e guarnizioni</b>	15
4.1 Sistemi più comuni	15
4.2 Finitura superficiale della flangia	17
4.3 Elementi di fissaggio	18
4.4 Dadi	23
4.5 Rondelle	23
4.6 Carichi mobili	24
4.7 Sistemi di protezione della flangia	25
<b>5. Selezione delle guarnizioni</b>	26
5.1 Selezione del materiale	26
5.2 Tipi di guarnizione	30
5.3 Selezione dello spessore	35
5.4 Taglio di guarnizioni morbide	36
5.5 Immagazzinaggio di guarnizioni e materiali di tenuta	36
5.6 Modalità di trattamento delle guarnizioni e dei materiali di tenuta	36
5.7 Riutilizzo di guarnizioni, dadi, bulloni e prigionieri	37
<b>6. Procedure d'installazione</b>	38
6.1 Attrezzatura richiesta	38
6.2 Pulizia	38
6.3 Ispezione visiva	38
6.4 Lubrificazione	39
6.5 Installazione e centraggio delle guarnizioni	40
6.6 Calcolo della coppia	40
6.7 Schema di serraggio di dadi e bulloni	41
6.8 Etichettatura	43
6.9 Serraggi successivi	44
<b>7. Procedure di smontaggio</b>	45
7.1 Composti per la rimozione	46
<b>8. Raccomandazioni chiave</b>	47

---

<b>9.</b>	<b>Suggerimenti per minimizzare i problemi alla connessione</b>	50
9.1	Inconvenienti dovuti a dadi, bulloni e prigionieri	50
9.2	Inconvenienti dovuti alla guarnizione	50
9.3	Inconvenienti dovuti alla flangia	51
9.4	Minimizzare le possibilità di problemi alla connessione	51
<b>10.</b>	<b>Aspetti legati alla sicurezza e alla salute</b>	53
<b>11.</b>	<b>Sommario schematico</b>	55
<b>12.</b>	<b>Panoramica</b>	56
<b>13.</b>	<b>Riferimenti</b>	57

Aziende associate alla sezione Guarnizioni per Flange dell'ESA  
 Akzo Nobel Faser AG Wuppertal, Deutschland  
 Armstrong Industrial Specialties Ltd Uxbridge, United Kingdom  
 Donit Tesnit d.d. Medvode, Slovenia  
 Du Pont de Nemours International S.A. Le Grand Saconnex, Schweiz  
 Econosto Ltd Cleckheaton, United Kingdom  
 Federal Mogul Sealing Systems Europe Slough, United Kingdom  
 Feodor Burgmann Dichtungswerke GmbH & Co. Wolftratshausen, Deutschland  
 Ferd. Jagenberg & Söhne GmbH & Co. KG Altenkirchen, Deutschland  
 Fibras y Elastomeros S.A. Bilbao, España  
 Flexitallic Ltd Rochdale, United Kingdom  
 Frenzelit Werke GmbH & Co. KG Bad Berneck, Deutschland  
 Garlock GmbH, Sealing Technologies Neuss, Deutschland  
 Hollingsworth & Vose Co. s.r.l. Garesio, Italia  
 James Walker & Co. Ltd Woking, United Kingdom  
 Klinger Administration AG Egliswil, Schweiz  
 Lapinus Fibres B.V. Roermond, Nederland  
 Latty International s.a. Orsay, France  
 RM Engineered Products, Inc. N. Charleston, USA  
 Reinz Dichtungs GmbH Neu-Ulm, Deutschland  
 SGL Technik GmbH Meitingen, Deutschland  
 Siem Supranite Paris, France  
 Spetech Sp. z o.o. Bielsko-Biala, Polska  
 Teadit International Produktions GmbH Kirchdorf, Österreich  
 Tecnotrex S.p.A. Sarnico, Italia  
 W L Gore & Associates GmbH Putzbrunn, Deutschland

Aziende associate alla sezione Guarnizioni non metalliche dell'FSA  
 Du Pont – AFS Richmond, VA  
 Du Pont Dow Elastomers Elkton, MD  
 Durabla Canada Ltd Belleville, ON, Canada  
 Econosto Ltd Cleckheaton, United Kingdom  
 Flexitallic Group Houston, TX  
 Garlock Sealing Technologies Palmyra, NY  
 JM Clipper Corporation Denver, CO  
 John Crane Mechanical Seals Morton Grove, IL  
 Lapinus Fibres B.V. Roermond, Nederland  
 Latty International s.a. Orsay, France  
 Marine and Petroleum Mfg. Co. Orange, TX  
 RM Engineered Products, Inc. N. Charleston, SC  
 Pyramid Technologies Pheonix, AZ  
 Robco, Inc. Ville LaSalle, PQ, Canada  
 SGL Technic, Inc. Polycarbon Division Valencia, CA  
 Sterling Fibres Ramsey, NJ  
 Teadit Industria E. Comercio Ltda Rio de Janeiro, Brazil  
 Teadit N.A. Inc. Houston, TX  
 Thermodyne Corp. Sylvania, OH  
 Thermosteal, Inc. Sidney, OH

---

UCAR Carbon Co., Inc.  
WL Gore & Associates, Inc.  
YMT / Inertech, Inc.

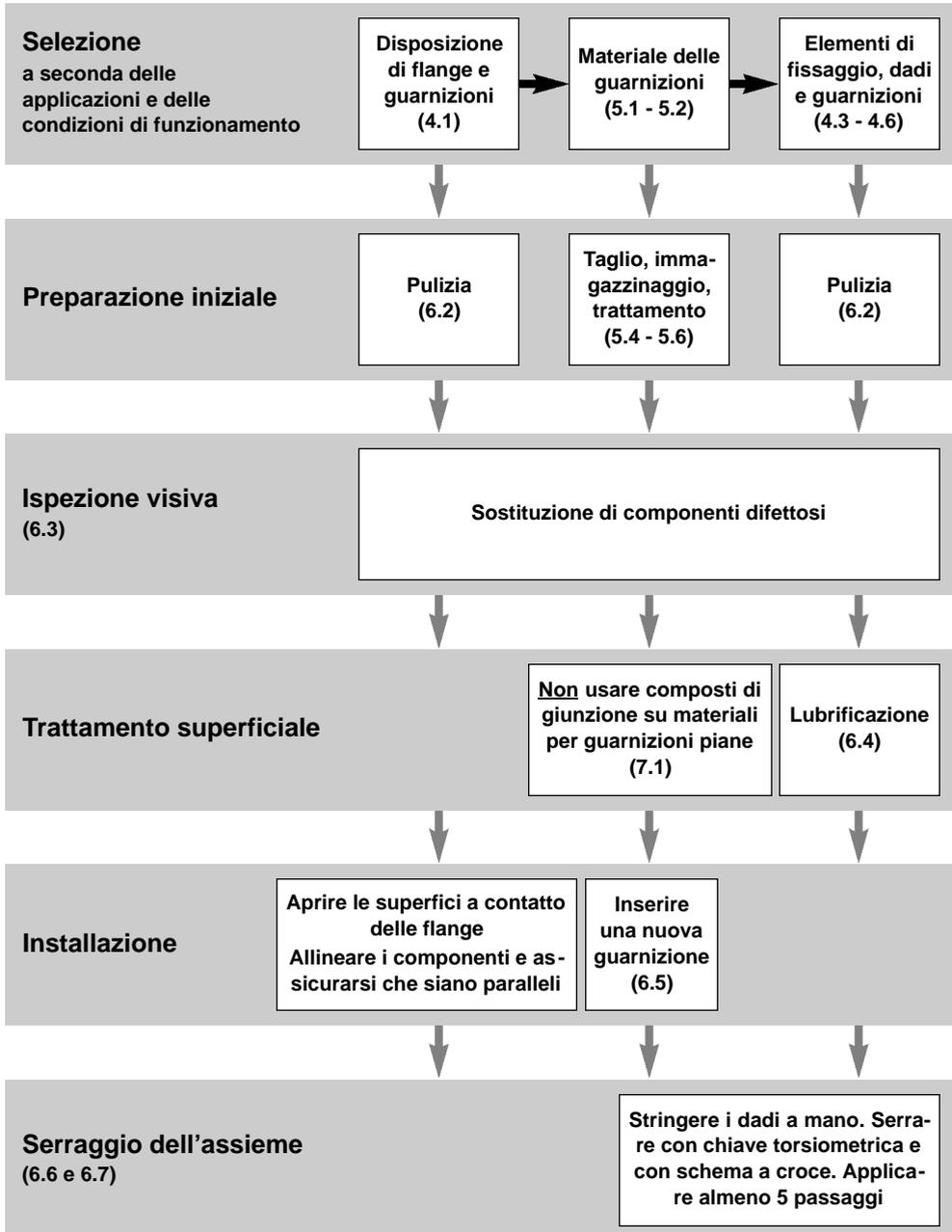
Humble, TX  
Elkton, MD  
Monterey Park, CA

Aziende associate alla sezione Guarnizioni metalliche dell'FSA

A R Thomson Ltd	Surrey, BC, Canada
Chicago-Wilcox Mfg. Co.	S. Holland, IL
Econosto Ltd.	Cleckheaton, United Kingdom
Empak, Mex. S.A.	Zinacantepec, Mexico
Flexitallic Group	Houston, TX
Garlock Sealing Technologies	Palmyra, NY
Gasket Engineering	Richmond, CA
JM Clipper Corporation	Denver, CO
Lamons Gasket Co.	Houston, TX
Latty International s.a.	Orsay, France
Leader Gasket, Inc., Division of JM Clipper Corp.	Baton Rouge, LA
Marine & Petroleum Mfg. Co.	Orange, TX
Metallo Gasket Co.	New Brunswick, NJ
Pyramid Technologies	Pheonix, AZ
Rowe Metals, L.P.	Dallas, TX
SGL Technic, Inc. Polycarbon Division	Valencia, CA
Teadit Industria E. Comercio Ltda.	Rio de Janeiro, Brazil
Thermodyn Corp.	Sylvania, OH
YMT / Inertech, Inc.	Monterey Park, CA

## 1. Schema del documento

Il grafico sottostante presenta i paragrafi di questo documento suddivisi per argomenti:



## 2. Introduzione

Questo documento è stato preparato per i produttori di macchinari e attrezzature, per i subappaltatori di servizi ingegneristici e per gli utilizzatori finali, e si concentra sulle soluzioni adottate dagli addetti alla manutenzione e dagli installatori per risolvere i tipici problemi legati all'assemblaggio di tubazioni e macchinari tramite l'impiego di flange e guarnizioni. Il suo obiettivo è di fornire al lettore una serie di indicazioni per il sicuro contenimento dei fluidi, in modo da assicurare delle prestazioni ottimali alle guarnizioni durante il servizio. Nel testo, le raccomandazioni più importanti vengono così rappresentate:

- *Raccomandazione.* Lo scopo principale di una tenuta è il contenimento dei fluidi, in modo da proteggere l'ambiente circostante dalle contaminazioni e viceversa. Per quanto riguarda la loro nocività, le perdite dei fluidi hanno ovviamente un significato diverso a seconda che riguardino un fluido innocuo (come acqua o vapore acqueo) o fluidi maleodoranti, tossici o pericolosi. Nel primo caso, la perdita di un fluido innocuo comporterà principalmente una perdita di efficienza dell'impianto, anche se queste perdite possono a loro volta presentare dei pericoli (p.es. se riguardano sistemi di convogliamento ad alta pressione di vapore o acqua). Per contro, la perdita di fluidi tossico/ nocivi non solo risulta economicamente svantaggiosa, ma pone il serio problema della difesa della salute degli addetti all'impianto e della popolazione, oltre alla salvaguardia dell'ambiente nel suo complesso. Di conseguenza, la selezione e l'utilizzo dell'appropriata tecnologia di tenuta per l'applicazione specifica fa parte degli obblighi ambientali del responsabile d'impianto.

### 2.1 Background sulla legislazione ambientale

Se l'attuale società vuole proseguire il suo cammino verso lo sviluppo globale, l'industria deve ridurre il suo impatto sull'ambiente abbracciando l'opzione del cosiddetto «sviluppo sostenibile». Uno dei principali obiettivi di questo tipo di sviluppo è la significativa riduzione delle emissioni industriali, promossa dalle pressioni dell'opinione pubblica ma anche dall'obiettiva necessità di preservare il valore della produzione e l'efficienza degli impianti. Le moderne legislazioni ambientali cercano di sintetizzare queste esigenze. Tuttavia, un'ampia percentuale delle emissioni nell'atmosfera è rappresentata dai prodotti della combustione (soprattutto monossidi di carbonio, azoto e zolfo), insieme alle perdite conosciute di idrocarburi volatili e di vapore. In generale, queste emissioni sono previste nel processo industriale e sono sotto il diretto controllo del responsabile d'impianto. Pertanto non verranno trattate in questo documento.

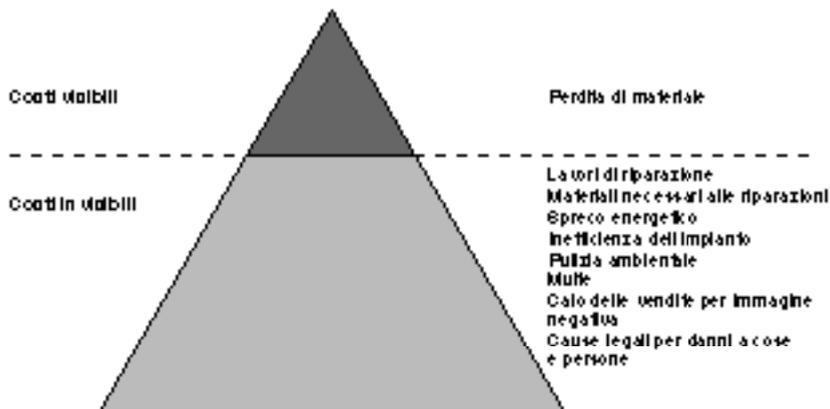
Per contro, una parte significativa delle restanti emissioni si deve a perdite spurie e imprevedibili dai sistemi di processo. Queste perdite vengono generalmente definite «fugitive emissions», e in questo campo l'industria delle tenute gioca un ruolo vitale tramite lo sviluppo e l'applicazione di innovative tecnologie di contenimento in grado di soddisfare le richieste di riduzione o di azzeramento delle emissioni. La corretta selezione, installazione e impiego dei materiali di contenimento risulta ugualmente importante per assicurare delle prestazioni affidabili alle tenute nell'arco della loro durata. Per quanto riguarda le guarnizioni, questo costituisce un argomento centrale tra quelli qui trattati. Per inquadrare correttamente la portata della sfida, si stima che le fugitive emissions da valvole, pompe e flange negli Usa superino le 300.000 tonnellate all'anno, pari cioè a circa 1/3 di tutte le perdite di composti organici dagli impianti chimici, e questo dato viene inevitabilmente confermato in Europa. A prescindere dal suo forte impatto ambientale, si tratta di un peso finanziario

enorme per l'industria perché rappresenta un'enorme perdita di materiale di valore ed è causa di molte inefficienze degli impianti. Tuttavia, in molti casi il suo impatto sull'industria viene sottovalutato, poiché molti dei costi associati alle fugitive emissions sono invisibili.

Le perdite dalle valvole sono spesso il maggior capro espiatorio, in quanto costituiscono più del 50% di tutte le fugitive emissions dell'industria chimica e petrolchimica; tuttavia, le perdite dalle pompe e dalle flange – seppur inferiori – rappresentano a loro volta delle percentuali significative. Lo sviluppo delle leggi per il controllo delle fugitive emissions è stato descritto a fondo sia per il mercato americano<sup>1</sup> che per quello europeo.<sup>2</sup> Nonostante i primi passi siano stati compiuti negli Usa, la UE sta rapidamente colmando la differenza, e gli sforzi si fanno via via congiunti. Le recenti leggi approvate negli Usa e in Europa puntano a ridurre gli inquinanti specifici da operazioni specifiche. Tuttavia, nonostante l'ampia serie di approcci, non esiste una legislazione veramente europea e armonizzata sul problema del controllo delle fugitive emissions. Piuttosto, gli stati membri dell'Ue stanno implementando delle misure di controllo nell'ambito dei propri sistemi legislativi nazionali. I limiti proposti diventeranno inevitabilmente più severi, e le buone prestazioni delle guarnizioni giocheranno un ruolo sempre più importante per assicurare un efficiente funzionamento degli impianti e un buon controllo delle emissioni.

## 2.2 La moderna sfida alle capacità di tenuta

Storicamente, i fogli di fibre compresse di amianto hanno rappresentato il materiale d'elezione per le guarnizioni «morbide». Erano facili da usare e tolleravano bene qualsiasi trattamento, e questo li rendeva estremamente adattabili. Di conseguenza, l'amianto veniva impiegato in quasi tutte le normali applicazioni, fornendo in genere delle prestazioni ragionevoli. In molti anni d'utilizzo, clienti e fornitori avevano acquisito una grande esperienza sul suo impiego grazie all'elaborazione di un'ampia casistica. Per questo motivo, le specifiche di prova per guarnizioni morbide composte da materiali tradizionali riguardavano materiali a base di amianto, poiché le molte esperienze sul campo li indicavano come materiali dalle prestazioni soddisfacenti a condizione che le guarnizioni fossero prodotte con un appropriato livello di controllo qualità. Poche delle proprietà rilevate da quelle prove di controllo qualità avevano un'importanza funzionale diretta: piuttosto, erano tese ad assicurare che la composizione dei materiali costruttivi fosse simile a quella dei materiali pre-



cedenti, e che di conseguenza potesse fornire le stesse prestazioni. Più recentemente, la tendenza all'abbandono delle fibre di amianto ha spinto l'industria delle guarnizioni a sviluppare una nuova generazione di materiali sostitutivi. Questo ha generato una sfida enorme, poiché l'esperienza pratica su questi materiali è alquanto limitata. Molti dei nuovi materiali forniscono delle prestazioni migliori, ma sono in genere più legati all'applicazione delle fibre di amianto. Inoltre, i nuovi materiali sono meno «tolleranti». Tutto sommato, i nuovi materiali possono rendere di più dei loro equivalenti in amianto, ma sono meno adattabili e gli utilizzatori devono prestare maggior attenzione alla selezione del materiale giusto per l'applicazione e all'assemblaggio della guarnizione. Gli utilizzatori hanno dunque un'urgente necessità di indicazioni e suggerimenti su questi materiali, e questo ha sollecitato la pubblicazione del presente documento. La speranza è che questo documento venga fatto proprio dalle società interessate, in modo da costituire la base per schemi di addestramento operativi sulla manutenzione.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati dei nuovi sistemi di contenimento, specialmente per le condizioni di servizio più difficili. Si tratta di sistemi che prevedono l'impiego di guarnizioni «rigide», realizzate principalmente in materiali metallici o semi-metallici. Questi sistemi offrono agli utilizzatori ancora più scelta nella selezione della tecnologia di tenuta più adatta all'applicazione, ma ampliano la necessità di note indicative. La stessa sfida è stata osservata nei metodi di prova e nella determinazione degli standard. L'attenzione è andata sempre più all'elaborazione di prove con maggior rilevanza funzionale, con cambiamenti significativi del tipo di prove effettuate. Le specifiche di prova nazionali e internazionali includeranno sempre più test d'importanza funzionale di lunga durata che simulano le condizioni di servizio, contrariamente alle prove di breve durata tese a determinare la continuità del prodotto. A complicare ancor più la situazione vi è la differenza tra le procedure sviluppate per le specifiche nazionali in Europa e quelle sviluppate negli Usa. Nonostante vi siano molti metodi di prova paralleli, le differenze nella gestione dei protocolli e dei risultati riflettono la varietà storica degli approcci. Fortunatamente, i recenti progressi nelle specifiche di prova tendono a colmare queste differenze, e questo va incoraggiato per armonizzare le procedure di standardizzazione ovunque possibile.

Maggiori informazioni sui metodi di prova e sugli standard sono presenti in una recente pubblicazione ESA,<sup>3</sup> il Glossario dei termini di tenuta (Flange e guarnizioni). Questo documento fornisce inoltre informazioni su:

- Unità e fattori di conversione
- Standard pertinenti
- Enti ed organizzazioni di emissione degli standard
- Abbreviazioni più comuni.

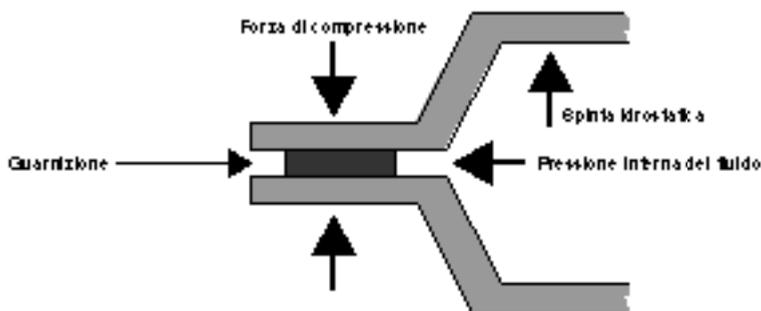
Per rispondere alle sfide lanciate dalle pressanti richieste di riduzione delle emissioni industriali, dalla presenza di nuove tecnologie e dallo sviluppo di nuovi materiali di tenuta che richiedono una maggior attenzione nella scelta, nel trattamento e nell'installazione, è necessario crescere: questo documento vuole fornire alcune utili indicazioni ai responsabili d'impianto, agli addetti alla manutenzione, agli installatori e a chiunque voglia affrontare il problema del contenimento dei fluidi in modo sicuro e consapevole.

### 3. Assieme flangia/elemento di fissaggio/guarnizione

In un impianto operativo, le guarnizioni servono per creare e mantenere una tenuta stazionaria tra le flange di connessione dei vari assiemi meccanici che convogliano o contengono fluidi diversi a seconda della funzione dell'impianto. Lo scopo di queste tenute stazionarie è di opporre una barriera fisica alla fuoriuscita dei fluidi convogliati dal sistema, bloccando quindi ogni possibile percorso di trafileamento. Per risultare efficaci, le guarnizioni devono coprire e riempire ogni irregolarità delle superfici a contatto ed essere al contempo abbastanza resilienti da resistere l'estrusione e la deformazione viscosa durante il servizio. La capacità di tenuta viene influenzata dalla forza di compressione esercitata sulla guarnizione, che la costringe a riempire le irregolarità superficiali. La combinazione tra pressione di contatto tra guarnizione e flange e addensamento del materiale della guarnizione previene la fuoriuscita dall'assieme del fluido tenuto. Per questo motivo le guarnizioni piane svolgono un ruolo fondamentale per il buon funzionamento di un'ampia gamma di attrezzature industriali. Una volta installata, una guarnizione piana deve poter compensare le leggere imperfezioni delle flange e dell'allineamento, come:

- flange non parallele
- scanalature e concavità da distorsione
- ondulazioni superficiali
- escoriazioni superficiali
- altre imperfezioni delle superfici.

Dopo l'assemblaggio, la guarnizione piana è compressa tra le facce delle flange con una pressione ottenuta in genere tramite bulloni sotto carico. Per garantire una tenuta soddisfacente per tutta la durata dell'assieme, è necessario mantenere una pressione sulla superficie della guarnizione abbastanza elevata da prevenire le perdite. Durante il funzionamento, questa pressione verrà attenuata dalla spinta idrostatica, cioè dalla forza prodotta dalla pressione interna che tende a separare le flange. La stessa guarnizione è soggetta a un carico laterale generato dalla pressione interna del fluido, che tende a estrarla attraverso il gioco presente tra le flange. Per mantenere l'integrità della tenuta, la pressione effettiva sulla guarnizione (cioè il carico di assemblaggio meno la spinta idrostatica) dev'essere maggiore della pressione interna di qualche multiplo, a seconda del tipo di guarnizione, del processo produttivo e del livello di tenuta richiesto. Per le guarnizioni morbide, dev'esserci anche un adeguato livello di frizione tra la guarnizione e le facce delle flange per aiutare a prevenire l'estrusione (espulsione) della guarnizione dall'assieme. Per consentire il rilassamento della forza di compressione sulla guarnizione, che normalmente è inevitabile, si raccomanda in genere un fattore di almeno due tra la forza di compressio-

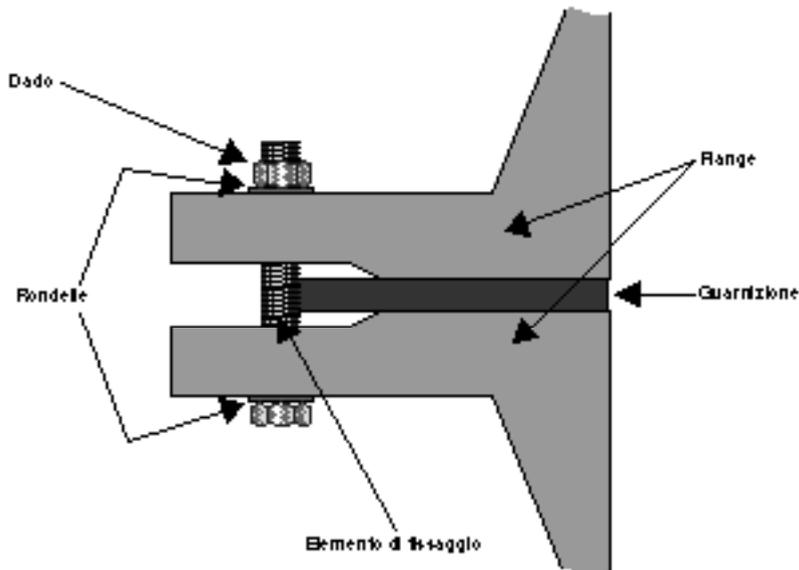


ne sull'assieme e quello richiesto per mantenere la tenuta. Per maggiori particolari sull'interazione tra flange e guarnizioni, consultare le pubblicazioni <sup>3, 4, 5 e 6</sup>.

Pertanto, la funzione primaria di una guarnizione è di creare e mantenere una tenuta tra due flange in condizioni che possono variare notevolmente da assieme ad assieme in base alla natura e al tipo di applicazione. Per offrire delle prestazioni soddisfacenti in tutte le condizioni è stato sviluppato un certo numero di assiami «flange-guarnizione-elementi di fissaggio», e molti fattori vanno considerati per selezionare l'assieme più appropriato, tra cui:

<b>Applicazione</b>	<b>Disposizione delle flange</b>	<b>Guarnizione</b>
Pressione del fluido	Configurazione/tipo	Resistenza all'estrusione
Temperatura del fluido	Finitura superficiale	Resistenza alla deformazione
Reattività chimica del fluido	Materiale	Rilassamento sotto sforzo
Natura corrosiva	Carico disponibile sui dadi	Capacità di recupero/elasticità
Capacità trafilamento fluido	Probabilità corrosione/erosione	Durata di servizio prevista
Viscosità	Resistenza/rigidità della flangia	Costo comparato
pH del fluido (acidità)	Tolleranza d'allineamento	Compatibilità chimica
Concentrazione		Facilità di trattamento/installazione/rimozione
		Capacità ignifuga
		Capacità di tenuta
		Resistenza alla combinazione di pressione/temperatura

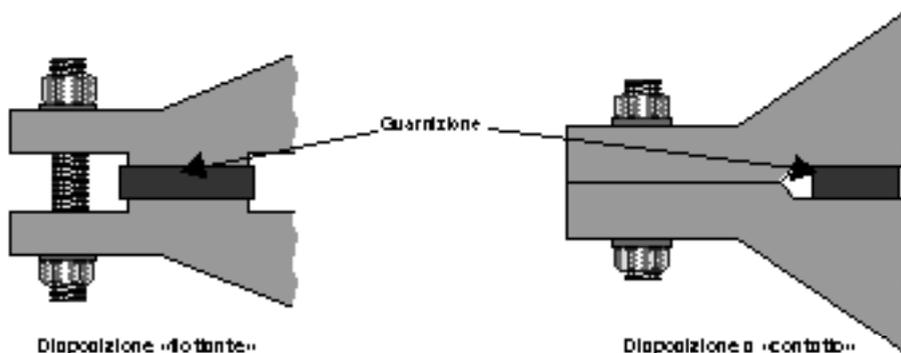
È importante notare che, per qualsiasi sistema, le prestazioni della guarnizione dipendono dall'interazione tra i vari elementi dell'assieme:



Una guarnizione offre delle buone prestazioni per un periodo di tempo ragionevole solo se tutti i componenti del sistema operano armonicamente insieme. L'integrità di un sicuro contenimento dipende da:

- selezione di componenti corretti e appropriati per l'applicazione
- preparazione, pulizia e assemblaggio eseguiti in modo scrupoloso
- corretto serraggio e carico dei bulloni.

Il comportamento in condizioni d'esercizio di una connessione flangiata dipende strettamente dalla capacità o meno della tensione creata negli elementi di fissaggio di unire l'assieme dei componenti con forza sufficiente ad evitare il deterioramento della capacità di tenuta, ma controllata al punto da non danneggiare gli elementi di fissaggio, i componenti dell'assieme, la guarnizione, eccetera. Il carico di chiusura dell'assieme è creato all'assemblaggio, quando si stringono i dadi. Questo crea una tensione nei bulloni (spesso definita «precarico»<sup>5</sup>). Nonostante possa verificarsi una deformazione plastica di parte della filettatura quando un dado viene stretto – specialmente la prima volta – la maggior parte dei componenti dell'assieme reagiscono in modo elastico al serraggio dei dadi. In effetti l'intero assieme funziona come una molla, con gli elementi di fissaggio che si tendono e gli altri componenti che vengono compressi. Sono gli assiami a deteriorarsi, e non solo le guarnizioni! Basse coppie di serraggio, carichi eccessivi sui bulloni, materiali dei bulloni poco resistenti, lubrificazione inadeguata dell'assieme dado/bullone/rondella, materiali o progettazioni delle flange inadeguati, taglio o immagazzinaggio errati della guarnizione, procedure improprie d'installazione: tutto questo può contribuire al malfunzionamento dell'assieme, anche in presenza di materiali della guarnizione correttamente specificati. Questa pubblicazione si propone di contribuire a trovare le migliori soluzioni per i problemi sopra citati. Va comunque sottolineato che questo documento si rivolge agli addetti alla manutenzione, agli installatori e agli operatori meccanici, per cui contiene delle informazioni limitate sulle flange e sulle procedure progettuali. Per ulteriori particolari invitiamo i lettori a consultare altri documenti, p.es. BS5500 e ASME sezione 8.

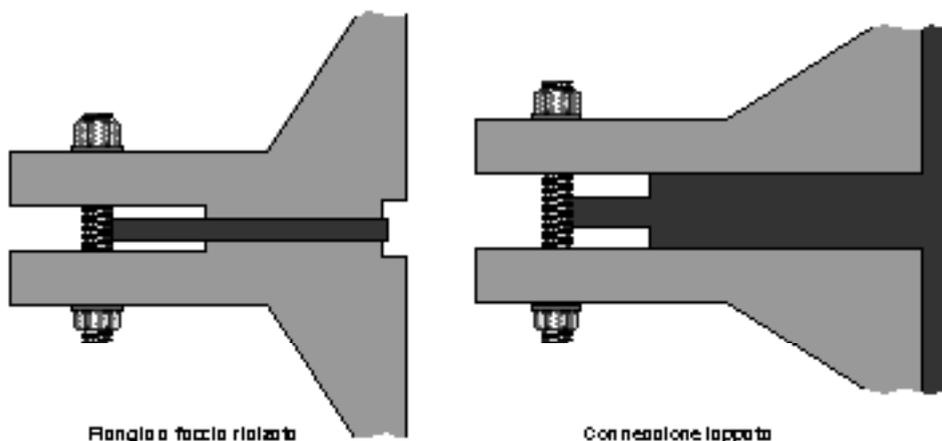


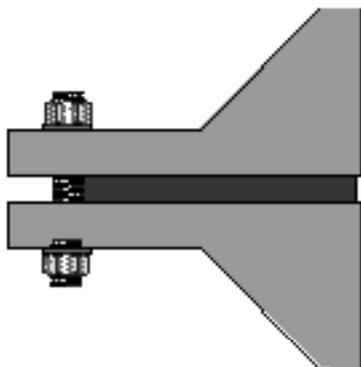
#### 4. Disposizione di flange e guarnizioni

Attualmente si utilizzano molteplici disposizioni per gli assieme di flange e guarnizioni.<sup>4,5</sup> Anche se una dettagliata discussione sulla progettazione delle flange va al di là dei propositi di questo documento, è opportuno presentare i tipi di flange più comunemente utilizzate nelle installazioni industriali. La maggior parte delle flange è composta da materiali metallici, ma alcune applicazioni richiedono l'utilizzo di flange non metalliche come le flange in plastica rinforzata, in vetro o in acciaio rivestito vetro. Le flange non metalliche tendono ad essere utilizzate in applicazioni che richiedono una maggior inerzia chimica. In genere, queste flange sono meno robuste e richiedono delle guarnizioni in materiale morbido per un'installazione con minor compressione. Anche le temperature e le pressioni d'esercizio sono in genere meno severe. Le disposizioni di queste flange sono in genere di tipo «flottante» o a «contatto».

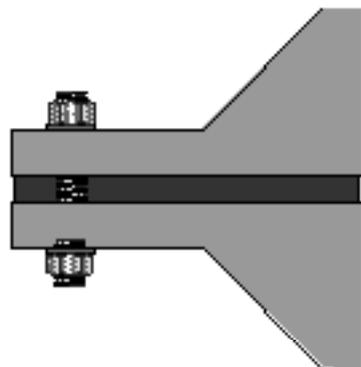
##### 4.1 Sistemi più comuni

Nei normali sistemi di tubazioni trovano largo impiego le disposizioni con flange a facce rialzate e guarnizione non alloggiata. In genere, il diametro esterno della guarnizione equivale al diametro del cerchio di dadi/bulloni, meno il diametro dei bulloni. Si tratta della cosiddetta «guarnizione interna ai bulloni» (IBC), definita anche «ring gasket» negli Usa. In questo caso i bulloni servono a centrare la guarnizione, facilitandone l'installazione e la rimozione senza separare completamente l'assieme delle flange. Un sistema simile è l'assieme con facce lappate. Questa connessione viene utilizzata quando il pro-



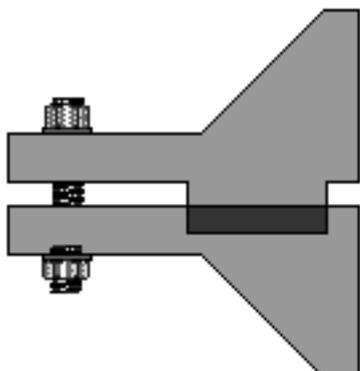


Flangia piana con guarnizione IBC

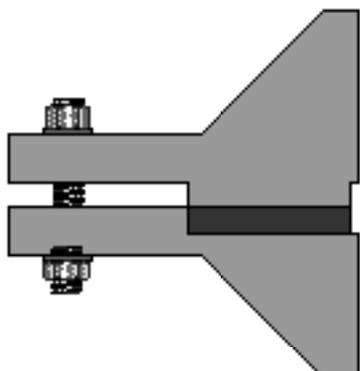


Flangia piana con guarnizione completa

cesso richiede un sistema di tubazioni maggiormente inerte (in genere composto di leghe, plastica o vetro), ma con le flange composte di materiali non speciali. Le flange piane sono in genere composte di materiali relativamente fragili. In questo caso, la guarnizione non è racchiusa ed è relativamente facile da installare e rimuovere.

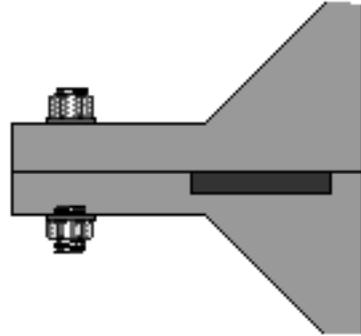


*Flange a gradino e cava* con guarnizione totalmente alloggiata. La profondità della cava è uguale o maggiore dell'altezza del gradino. Normalmente, la guarnizione è larga quanto il gradino. In questo assieme è necessario separare completamente le flange per sostituire la guarnizione; inoltre, la flangia maschio esercita una forte pressione sulla guarnizione, per cui questa soluzione non è generalmente raccomandata per le guarnizioni morbide.

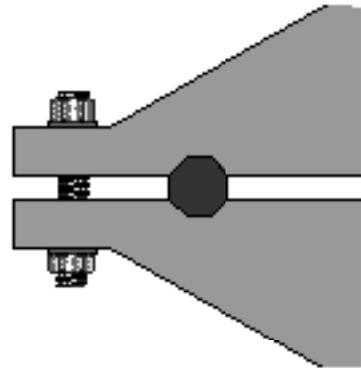


*Flange maschio-femmina* (conosciute anche come *flange a contatto*). La guarnizione è semi-alloggiata, e questa connessione può presentarsi con una varietà di forme. La profondità della flangia femmina è uguale o inferiore all'altezza della flangia maschio, allo scopo di prevenire la possibilità di un contatto diretto tra le facce delle flange quando la guarnizione viene compressa. La sostituzione della guarnizione richiede anche in questo caso la completa separazione delle flange.

*Flangia piana su flangia con cava*, con guarnizione completamente alloggiata. La faccia esterna di una delle flange è piana, mentre l'altra presenta una cava che alloggia la guarnizione. Questa progettazione viene utilizzata in applicazioni che impongono una precisa distanza tra le flange. In genere, una volta compressa la guarnizione, le facce delle flange entrano in contatto. Questa connessione richiede l'impiego di guarnizioni resilienti.



*Flange a connessione anulare*, conosciute anche come *flange API*, in cui entrambe le flange hanno delle scanalature per il posizionamento di una guarnizione ad anello composta in genere di metallo pieno. Queste guarnizioni vengono in genere definite guarnizioni RTJ.



#### 4.2 Finitura superficiale delle flange

La finitura ideale per i vari tipi di guarnizioni è un argomento che solleva accorate discussioni. Vi sono diversi studi sugli effetti delle finiture superficiali delle flange, e generalmente i produttori forniscono alcune raccomandazioni sulle finiture superficiali più appropriate per i diversi materiali che compongono le guarnizioni. Le superfici metalliche delle flange possono variare da una fusione più o meno grezza a una raffinata lappatura, e ogni tipo di superficie influenza la capacità di tenuta. Le superfici delle flange per tubazioni con guarnizioni non metalliche presentano spesso delle configurazioni concentriche chiuse o a spirale chiusa (fonografiche). Per loro natura, le flange metalliche sono in grado di sopportare delle pressioni sulle guarnizioni più elevate, e pertanto sono assolutamente necessarie in presenza di condizioni di servizio difficili. Ecco alcune delle regole generali applicabili alla finitura superficiale delle flange:

- la superficie della flangia ha un preciso effetto sulla capacità e la sicurezza della tenuta
- per costringere il materiale della guarnizione a riempire le irregolarità superficiali della flangia è necessaria una determinata compressione. La pressione necessaria per raggiungere la compressione richiesta è direttamente proporzionale all'area di contatto tra la guarnizione e la flangia. La forza di serraggio può essere ridotta limitando l'area della guarnizione o l'area di contatto della flangia

- più i rilievi di una finitura concentrica chiusa sono vicini, oppure meno profonde sono le scanalature, e più la superficie della flangia ricorda una superficie piana con il relativo aumento dell'area a contatto. Questo obbliga ad aumentare il carico sui bulloni per comprimere efficacemente la guarnizione. L'effetto opposto si ha con l'aumento dell'intervallo tra i rilievi

- una flangia con la superficie assolutamente liscia offre un livello di frizione ridotto, per cui la sua capacità di trattenere la tenuta impedendone l'estrusione sotto la spinta del fluido tenuto diminuisce di conseguenza

- una finitura a spirale chiusa è più difficile da sigillare di una finitura concentrica chiusa, poiché la guarnizione deve riempire le scanalature fino in fondo per evitare il trafilamento del fluido da un'estremità all'altra della spirale

- le finiture concentriche e a spirale sono spesso associate alle flange di connessione delle tubazioni, mentre le finiture smerigliate commerciali riguardano più le connessioni flangiate che le flange di connessione delle tubazioni. Prestare attenzione alle finiture realizzate con fresatrici, poiché potrebbero presentare dei percorsi di trafilamento addizionali se la fresatura non è sufficientemente piana.

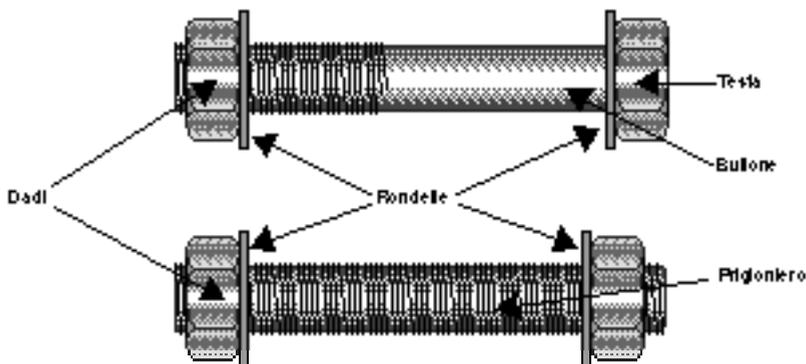
☑ Dato che i materiali delle guarnizioni variano per durezza o resistenza allo scorrimento, la selezione del materiale per guarnizioni più appropriato in relazione alla finitura della flangia e all'applicazione assume un'importanza decisiva.

- Esempio:
- per alte temperature e/o pressioni, utilizzare flange con una finitura superficiale grezza ma controllata e guarnizioni con una buona resistenza allo scorrimento.
  - per basse temperature e/o pressioni, una finitura liscia è tollerabile, specialmente in presenza di guarnizioni morbide.
  - per flange deboli o fragili, utilizzare guarnizioni morbide.

### 4.3 Elementi di fissaggio

Nella maggior parte delle connessioni con flange e guarnizioni, gli elementi di fissaggio che forniscono la forza di compressione sulle flange (e tramite le flange, sulle guarnizioni) sono normalmente bulloni e prigionieri sotto tensione (5). In termini meccanici, un bullone è un elemento di fissaggio filettato da utilizzare con un dado, mentre un prigioniero è ugualmente filettato ma va utilizzato con due bulloni (e in alcuni casi con un gambo interamente filettato).

La funzione di un elemento di fissaggio è di serrare la connessione con forza sufficiente a prevenire perdite o scorrimenti, e pertanto dev'essere abbastanza resistente da sopportare la tensione indotta dal serraggio iniziale unitamente ai carichi ad-



dizionali presenti durante il servizio (in conseguenza di pressione, temperatura e cicli). Nella determinazione delle capacità di un elemento di fissaggio è importante considerare un certo numero di variabili,<sup>5</sup> tra cui la resistenza alla trazione, le possibilità di spanatura dei filetti, l'affaticamento e la formazione di cricche per corrosione sotto sforzo (SCC).

La reazione degli elementi di fissaggio al rilassamento sotto sforzo dipende dai materiali costruttivi. Tuttavia, il rilassamento sotto sforzo ha un marcato effetto sul carico di compressione generato sull'assieme flange/guarnizione in condizioni di servizio. Di conseguenza, durante la selezione degli elementi di fissaggio da utilizzare per una particolare applicazione è importante considerare le variazioni di temperatura presenti durante il servizio.

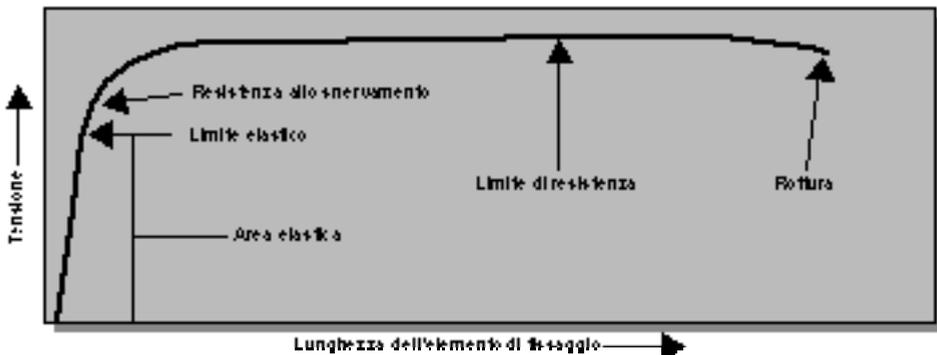
#### Temperature d'esercizio raccomandate per bulloni e prigionieri

Materiale	Temperature in °C (°F)	
	Minimo	Massimo
Acciaio al carbonio	-20 (-4)	300 (572)
B7, L7	-100 (-148)	400 (752)
B6	0 (32)	500 (932)
B8	-250 (-418)	575 (1067)
B16	0 (32)	520 (968)
B17B	-250 (-418)	650 (1202)
B80A	-250 (-418)	750 (1382)

Nella maggior parte degli assiemi flangiati, la pressione sulla guarnizione non è distribuita uniformemente in tutti i punti. Per esempio, due bulloni di largo diametro possono fornire lo stesso carico complessivo di 12 bulloni di diametro minore, ma questo carico è distribuito in modo radicalmente diverso. L'area della guarnizione immediatamente circostante ai bulloni o ai prigionieri sopporta una pressione maggiore di quella presente a metà tra due bulloni/prigionieri, per via dell'inarcamento della flangia. Pertanto, allo scopo di distribuire la pressione sulla guarnizione in modo più uniforme possibile è importante utilizzare il numero più elevato possibile di bulloni o prigionieri opportunamente distanziati. Una raccomandazione importante:

☑ Mai utilizzare un numero di elementi di fissaggio inferiore a quello progettato per la flangia.

Quando gli elementi di fissaggio e i componenti della connessione vengono posti sotto tensione stringendo i dadi (inducendo quindi un carico sulla guarnizione), gli



elementi e i componenti della connessione si deformano. Bulloni e prigionieri aumentano di lunghezza man mano che cresce la tensione al loro interno.

La deformazione iniziale degli elementi di fissaggio rientra nell'area elastica, nella quale non si avrà una deformazione permanente anche applicando e allentando il carico più volte. La forza di trazione più elevata che può essere sopportata senza deformazione permanente è nota come limite elastico (definito anche carico di prova). Gli elementi di fissaggio offrono le migliori prestazioni nell'ambito della loro area elastica.

I carichi di tensione superiori al limite elastico produrranno qualche tipo di deformazione permanente; l'elemento di fissaggio non tornerà più alla sua lunghezza originale, e la sua efficacia come tensionatore elastico risulterà compromessa. Lo sforzo di trazione che genera una deformazione permanente specificata è definito limite di elasticità convenzionale (spesso chiamato resistenza allo snervamento), e per i metalli viene comunemente usata una deformazione dello 0,2%. Lo sforzo di trazione che genera una deformazione di questa entità viene spesso definita intercetta della retta pratica di elasticità oppure limite apparente di elasticità dello 0,2%. Alla soglia massima, il limite di resistenza dell'elemento di fissaggio viene anche definito «resistenza alla trazione».

Quando una specifica comprende il test del carico di prova (spesso definito tensione sotto il carico di prova) su un elemento di fissaggio completo, il valore misurato e confermato può essere utilizzato per stabilire la massima capacità di carico. In ogni caso, alcune specifiche forniscono un limite di elasticità convenzionale dello 0,2% come indicazione del limite elastico. Notare che si tratta di un valore arbitrario, basato su una curva sforzo-deformazione ottenuta da un campione di prova lavorato dallo stock di barre in lega (pertanto, non su un elemento di fissaggio completo). In realtà, il vero limite elastico di molti elementi di fissaggio in lega può essere notevolmente inferiore al limite di elasticità convenzionale dello 0,2%. Questa discrepanza non costituisce alcun problema nei casi in cui il carico progettuale non utilizza appieno la presunta resistenza dell'elemento di fissaggio; tuttavia, il rischio di snervamento o di rottura del bullone/prigioniero aumenta se viene utilizzata un'alta percentuale dello sforzo di snervamento presunto, che dipende principalmente dal materiale e dal metodo costruttivo dell'elemento di fissaggio. Per esempio, la seguente tabella (adattata da EN 20898-1 del 1991) indica le proprietà meccaniche di alcuni elementi di fissaggio a temperatura ambiente, e mostra i diversi valori per il carico di prova e per il limite di elasticità convenzionale dello 0,2%.

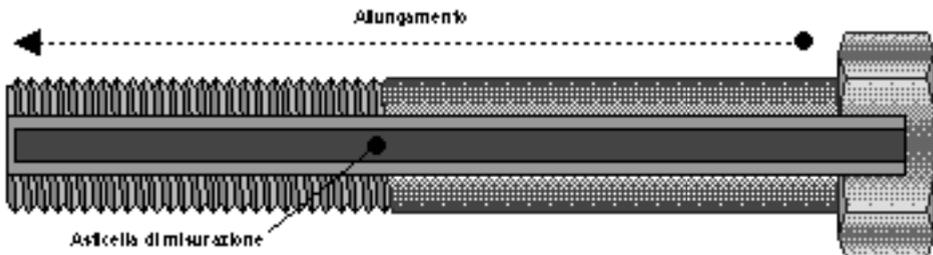
	4,6	6,8	Classe di proprietà		10,9	12,9
			8,8 d<16 mm	8,8 d>16 mm		
Resistenza alla trazione, MPa [ksi]	400 [58]	600 [87]	800 [116]	830 [120]	1040 [151]	1220 [177]
Tensione sotto carico di prova, MPa [ksi]	225 [33]	440 [64]	580 [84]	600 [87]	830 [120]	970 [141]
Limite di elasticità convenzionale 0,2% MPa [ksi]	–	–	640 [93]	680 [99]	940 [136]	1100 [160]

Per elementi di fissaggio di classe 8,8 con diametri  $d < 16$  mm, esiste un maggior rischio di spanatura del dado in caso di un serraggio eccessivo in grado di indurre un carico superiore al carico di prova (raccomandazione: riferirsi a ISO 898-2). I lettori devono inoltre tener presente che gli elementi di fissaggio possono avere dei rivestimenti anticorrosione, oppure essere galvanizzati. Notare che le tabelle di questo paragrafo si riferiscono esclusivamente a elementi di fissaggio non trattati. La tabella sottostante (adattata da ASTM A 193/A 193M) indica dei requisiti meccanici a temperatura ambiente molto simili:

	<b>B6</b>		<b>B7</b> (Cr-Mo)		<b>B16</b> (Cr-Mo-V)			<b>Classe 1</b> B8 ecc.	<b>Classe 2</b> B8 ecc.		
Diametro (pollici)	fino a 4 incl.	fino a 2 1/2 incl.	>2 1/2-4 incl.	>4-7 incl.	fino a 2 1/2 incl.	>2 1/2-4 incl.	>4-7 incl.	Tutti	fino a 3/4 incl.	>3/4-1 incl.	>1-1 1/4 incl.
Diametro (mm)	fino a 100 incl.	fino a 65 incluso	>65-100 incl.	>100-180 incl.	fino a 65 incl.	>65-100 incl.	>100-180 incl.	Tutti	fino a 20 incl.	>20-25 incl.	>25-32 incl.
Resistenza alla trazione, ksi [MPa]	110 [760]	125 [860]	115 [795]	100 [690]	125 [860]	110 [760]	100 [690]	75 [515]	125 [860]	115 [795]	105 [725]
Resistenza allo snervamento 0,2%, ksi [MPa]	85 [585]	105 [720]	95 [655]	75 [515]	105 [725]	95 [655]	85 [586]	30 [205]	100 [690]	80 [550]	65 [450]

Di conseguenza, il modulo di elasticità dell'elemento di fissaggio è un parametro importante. L'allungamento del bullone/prigioniero può essere misurato in diversi modi, p.es. con un'asticella di misurazione sistemata in un foro eseguito lungo l'asse del bullone. L'asticella è collegata alla testa del bullone, ma è libera lungo l'asse. Questo significa che quando il bullone è sotto carico è possibile misurarne la variazione di lunghezza (allungamento) con un micrometro di profondità.

La misurazione dell'allungamento del bullone tramite un micrometro richiede tempo, e può non fornire un controllo del precarico abbastanza accurato. L'impiego degli ultrasuoni consente di evitare molti inconvenienti, offrendo un metodo più ac-



curato per la determinazione dell'allungamento del bullone.<sup>5</sup> Tuttavia, questo metodo non è sempre opportuno, e richiede un'elevata abilità da parte dell'operatore. L'allungamento degli elementi di fissaggio può essere monitorato anche con i dispositivi a controllo di tensione, che sono pre-impostati sul carico richiesto. Ovviamente, qualsiasi elemento di fissaggio aumenta la propria lunghezza per effetto del calore, riducendo quindi il carico sulla guarnizione. Ma anche prima, il progressivo riscaldamento del sistema verso la temperatura d'esercizio provoca l'espansione della flangia. Pertanto, il coefficiente d'espansione dei componenti del sistema della flangia va tenuto presente durante la progettazione della connessione.

La prestazione della tenuta dipende strettamente dal corretto livello di tensione nell'elemento di fissaggio. Senza apparente motivo, si raccomanda spesso che la tensione sull'elemento di fissaggio si avvicini al «massimo livello di tensione», che naturalmente deve rientrare nell'area elastica dell'elemento in oggetto. Tuttavia, se questi deve operare in modo efficace e affidabile nell'ambito della sua regione elastica per l'intera durata di servizio della connessione, è necessario mantenere un margine di sicurezza. Questo dipende dal materiale, dal metodo costruttivo e dalle dimensioni dell'elemento, oltre che dal metodo di serraggio. La seguente tabella può servire da guida prudenziale ai carichi massimi applicabili a bulloni o prigionieri a temperatura ambiente.

Specifica dell'elemento di fissaggio	Carico di prova come % dello 0,2% della tensione di prova	Max. carico sul bullone come % del carico di prova	
		con coppia	con tensionatore
ISO 898, BS 1768, SAE J429	vedere specifiche	85%	90%
B7, L7, B16 fino a M36 (1 1/2")	88%	85%	90%
> M36 (1 1/2")	80%	85%	90%
Leghe non ferrose, cuprometalli, acciaio inox duplex, nimonico	70%	85%	90%
Acciaio inox austenitico, B8	60%	85%	90%

Per fare un esempio, se si pensa di utilizzare degli elementi di fissaggio in acciaio austenitico e stringerli con una chiave torsionometrica, utilizzare al massimo l'85% del 60% della tensione di prova dello 0,2% stabilita per il materiale. Questo garantirà un adeguato margine di sicurezza. Tuttavia, per specifiche raccomandazioni sui carichi massimi applicabili agli elementi di fissaggio, riferirsi sempre al loro costruttore. La selezione di elementi di fissaggio di grado e dimensioni tali da garantire una resistenza elastica sufficiente a mantenere la tensione di progetto nei limiti elastici è di vitale importanza. Pertanto, quando si selezionano dei bulloni o dei prigionieri:

- accertarsi che abbiano una resistenza allo snervamento sufficiente ad assicurare il rispetto dei limiti elastici al carico richiesto
- selezionarli in modo che abbiano lo stesso modulo di elasticità
- assicurarsi della loro resistenza alla corrosione, che può influenzare le prestazioni in modo significativo
- per assicurarsi il rispetto delle raccomandazioni sopra elencate, mai riutilizzarli.

#### 4.4 Dadi

La tensione degli elementi di fissaggio (e da qui la compressione della tenuta) viene generata stringendo uno o più dadi sulla filettatura dei bulloni/prigionieri. La filettatura gioca pertanto un ruolo fondamentale nell'operazione di serraggio, ed è importante mantenerne l'integrità. I singoli filetti si deteriorano quando le forze assiali che agiscono sull'elemento di fissaggio superano la resistenza al taglio dei filetti. I fattori principali che determinano la spanatura sono:

- dimensioni dell'elemento di fissaggio
- lunghezza della presa dei filetti
- forza dei materiali costruttivi dell'elemento di fissaggio e del dado.

I filetti di un elemento di fissaggio di grandi dimensioni sono più «lunghi» e hanno radici più spesse dei filetti di un elemento di dimensioni minori. Questo significa che l'area da tagliare per ciascun filetto prima di provocarne la spanatura è maggiore per gli elementi di grandi dimensioni, e questo comporta una maggior capacità di presa. Aumentare la lunghezza della presa tra i filetti accresce l'area trasversale del materiale da tagliare per spanare i filetti.

Le filettature si spanano più facilmente quando i materiali costruttivi del dado e dell'elemento di fissaggio hanno una forza uguale. Per una sicurezza ottimale, utilizzare un dado che abbia un carico di prova specificato maggiore del 20% del limite di resistenza dell'elemento di fissaggio. In questo modo, l'elemento si romperà prima di spanare la filettatura del dado. Tener presente che un bullone spezzato è decisamente più facile da scoprire di un dado spanato.

Un'altra cosa da tener presente è l'effetto dello «stiramento», cioè della saldatura a freddo (totale o parziale) di una superficie sottoposta a carico su un'altra. Si verifica quando le superfici aderiscono una all'altra così strettamente da creare dei legami molecolari tra le parti a contatto, per esempio tra dado e bullone.

Questo avviene tra superfici che subiscono un carico molto severo, oppure quando la filettatura è molto stretta, quando non vi è più lubrificante per essiccamento o rimozione e quando la filettatura è danneggiata.

Il fenomeno si aggrava ad alte temperature di esercizio o in presenza di corrosione. Lo stiramento è difficile da eliminare.

Quanto segue può aiutare:

- utilizzare filettature grezze, piuttosto che filettature fini
- impiegare il corretto lubrificante
- selezionare dei materiali per gli elementi di fissaggio e i dadi che offrano in combinazione tra loro una buona resistenza allo stiramento, p.es. acciaio AISI 316 trafilato a freddo sul medesimo materiale, dadi in acciaio AISI 400 su elementi in acciaio AISI 316, eccetera.

Quando si selezionano i dadi:

selezionarli con un carico di prova specificato superiore del 20% al limite di resistenza alla trazione dei bulloni/prigionieri.

#### 4.5 Rondelle

Nel disegno del par. 4.3, i bulloni/prigionieri sono dotati di rondelle. Le rondelle sono importanti, non solo perché distribuiscono il peso in modo più uniforme, ma anche perché contribuiscono al processo di serraggio consentendo un serraggio torsionometrico più lineare del dado lungo la filettatura. Rondelle piatte e indurite vanno sempre utilizzate con gli elementi di fissaggio, poiché offrono un buon numero di vantaggi. Le rondelle infatti possono:

- ridurre in modo significativo la frizione durante il serraggio tra il dado e i componenti della connessione. Questo migliora la linearità del serraggio torsionometrico, e quindi la precisione e la ripetibilità, riducendo al contempo la coppia necessaria
  - ridurre i problemi generati dall'affaticamento grazie alla miglior distribuzione del carico esercitato sulla connessione dall'elemento di fissaggio
  - rendere più uniformi le forze di interfacciamento tra i componenti del giunto e migliorare quindi le prestazioni della guarnizione
  - chiudere le slottature e i fori troppo grandi, facilitando l'assemblaggio di componenti diversi
  - prevenire i danneggiamenti alle superfici della connessione
  - ridurre l'inclusione tra i componenti della connessione, riducendo quindi il rilassamento dopo il serraggio
- utilizzare sempre le rondelle!
  - utilizzare rondelle dello stesso materiale dei dadi.

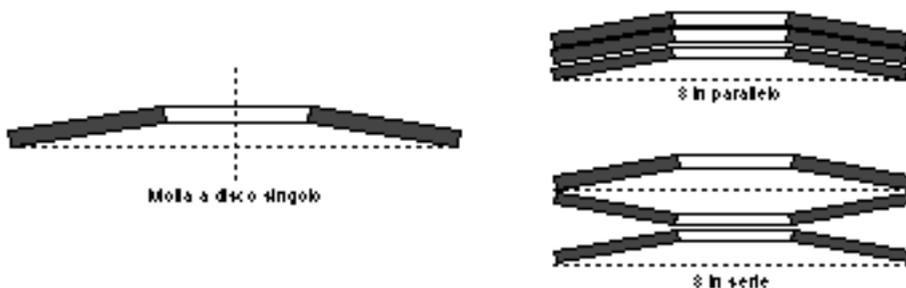
#### 4.6 Carichi mobili

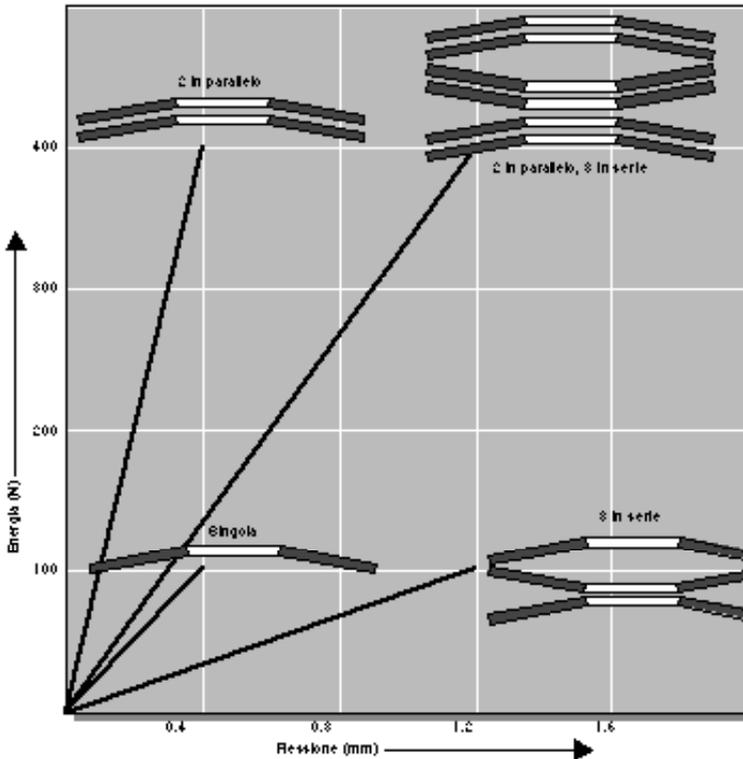
Nel corso della durata di servizio di una guarnizione piana inclusa in un assieme flangiato, il carico di compressione sulla guarnizione varierà nel tempo per diverse cause, tra cui il rilassamento dei materiali della guarnizione e dei bulloni, la temperatura e i cicli termici, le vibrazioni, eccetera. Per compensare queste alterazioni vengono talvolta usati dei sistemi in grado di fornire un carico più costante nel tempo modificando l'elasticità dell'assieme.

A questo proposito si utilizzano degli elementi di fissaggio più lunghi (con spaziatori), o dei carichi mobili. Questi ultimi sono generalmente dotati di molle a dischi metallici (chiamate spesso «rondelle Belleville») attentamente progettate, selezionate e disposte in modo da fornire un carico conosciuto, limitando quindi la forza di serraggio del sistema.

In effetti, le molle a disco vengono compresse fino a raggiungere una specifica flessione di carico in piano. Questo offre una sorta di riserva d'energia come carico mobile, che viene quindi convertita in un carico di compressione sulla flangia e quindi sulla guarnizione. L'ammontare del carico applicato va valutato con attenzione, dato che potrebbe generare una pressione eccessiva sulla flangia e sulla guarnizione. Se operano sovrapposte, la progettazione prevede in genere una massima flessione del disco pari al 75% di compressione della molla non compressa (cioè, la molla trattiene il 25% della sua forma non compressa).

Alcune applicazioni possono prevedere delle molle a disco in serie e sovrapposte, oppure in parallelo o addirittura una combinazione di entrambe. Ogni combinazione fornisce un diverso livello di riserve di energia sotto flessione, in genere:





A prescindere dalla configurazione, la serie di molle a disco necessita di una guida, che può trovarsi sul diametro esterno o su quello interno, per prevenire i movimenti laterali una volta sotto carico. Se viene utilizzato un involucro esterno, questi può proteggere il sistema dalla corrosione ambientale e presenta l'ulteriore vantaggio di mantenere costante la lubrificazione fornita da un ingrassatore ad alta pressione. L'allineamento delle molle a disco e la lubrificazione minimizzano la frizione tra le superfici a contatto. Mentre agisce da mezzo di contenimento, l'involucro esterno può anche offrire una chiusura di sicurezza per prevenire l'uso errato o l'alterazione della progettazione originale, contribuendo alla sicurezza dell'impianto durante il funzionamento. Notare però che il grado di acciaio utilizzato può limitare la massima temperatura d'esercizio del sistema di carico mobile.

#### 4.7 Sistemi di protezione delle flange

Le nuove flange vengono in genere consegnate con un rivestimento di plastica per proteggerle prima dell'uso. Questo rivestimento va rimosso dall'area a contatto con la guarnizione, poiché quando si scalda, il rivestimento tende a diventare morbido e a ridurre la frizione tra la guarnizione e le superfici della flangia. Questo, in presenza di guarnizioni morbide, può provocare il deterioramento della connessione a causa dell'eccessivo scorrimento plastico indotto dal basso livello di frizione (vd. anche il paragrafo sui «Composti di giunzione»).

## 5. Selezione delle guarnizioni

Questo documento si rivolge ai tecnici della manutenzione e agli installatori, mentre la selezione dei materiali spetta anzitutto al responsabile o al progettista dell'impianto. L'addetto alla manutenzione gode in genere di scarse possibilità per quanto riguarda la scelta del materiale delle guarnizioni. Di conseguenza, questo paragrafo fornisce solo alcune informazioni di base sulla maggior parte dei materiali disponibili. La selezione va effettuata principalmente su:

- compatibilità con il fluido di processo
- temperatura e pressione d'esercizio
- variazioni delle condizioni di servizio (p. es. durante il cambio di ciclo)
- tipo di connessione.

Una parola di avvertimento: nonostante molti materiali siano simili, le proprietà e le prestazioni delle guarnizioni variano da un prodotto all'altro. Raccomandiamo quindi di consultare sempre il produttore per istruzioni più dettagliate sul prodotto specifico.

☑ importante: utilizzare sempre delle guarnizioni di buona qualità acquistate da un fornitore conosciuto, poiché il costo di una guarnizione è insignificante a confronto del costo di un arresto non preventivato o delle conseguenze di un mancato rispetto delle norme di sicurezza.

### 5.1. Selezione del materiale

Le guarnizioni piane possono essere realizzate in un'ampia varietà di materiali. Questo capitolo si propone di fornire una breve panoramica dei materiali di uso più comune. Per semplicità, è stato diviso in 5 parti:

- materiali elastomerici
- materiali fibrosi
- altri materiali
- equivalenti europei dei materiali in acciaio inox
- materiali metallici.

► *Materiali elastomerici.* Spesso, questi materiali costituiscono «l'iniziazione» ai prodotti di tenuta in fogli. Più comunemente, agiscono da legante quando vengono miscelati con varie fibre e riempitivi. Le composizioni (e quindi le prestazioni) possono variare, per cui raccomandiamo di consultare sempre il produttore.

*Gomma butile*  
(IIR, anche  
conosciuta come  
*isobutilene*,  
*isoprene*)

Materiale elastomerico dotato di buona resistenza all'ozono e alla permeazione da gas. Idoneo per acidi leggeri, alcali ed esteri, ma offre poca resistenza a oli e combustibili.

*Polietilene  
clorosulfonato*

Elastomero con eccellente resistenza chimica ad acidi e alcali. Buona resistenza agli oli. Ottime proprietà ignifughe.

*Termopolimero  
etilene-propilene*  
(EPDM)

Elastomero dotato di buona resistenza all'ozono, al vapore, agli acidi forti e agli alcali. Non adatto ai solventi e agli idrocarburi aromatici.

<i>Fluoroelastomero</i>	Idrocarburo fluorinato che offre un'eccellente resistenza agli acidi, agli idrocarburi alifatici, agli oli e a molte applicazioni corrosive. Non adatto alle ammine, agli esteri, ai chetoni e al vapore.
<i>Gomma naturale</i> (NR)	Eccellenti proprietà di recupero. Buona resistenza alla maggior parte dei sali inorganici, agli acidi leggeri e agli alcali. Non raccomandata per oli e solventi, o nei casi in cui l'esposizione all'ozono, all'ossigeno o alla luce del sole è significativa.
<i>Neoprene</i> ( <i>cloroprene</i> , CR)	Eccellente resistenza agli oli, all'ozono e ai fattori ambientali. Adatto per acidi leggeri, alcali, soluzioni saline, petrolio, solventi, oli e combustibili. Non raccomandato per acidi forti o idrocarburi.
<i>Nitrile</i> (NBR)	Miglior resistenza chimica e alle temperature rispetto al neoprene. Buona resistenza agli oli e agli idrocarburi. Non adatto agli idrocarburi clorurati, esteri, chetoni e agli agenti fortemente ossidanti.
<i>Silicone</i>	Eccellente resistenza alle temperature. Non viene influenzato dall'ozono o dalla luce solare. Non adatto a molti idrocarburi e al vapore.
<i>Stirene butadiene</i> (SBR)	Adatto ad acidi organici e prodotti chimici leggeri. Non adatto agli acidi forti, alla maggior parte degli idrocarburi e all'ozono.
► <i>Materiali fibrosi</i>	
<i>Aramide</i>	Fibra aromatica di ammido. Offre una grande resistenza e stabilità ed è adatta alle medie temperature. Le fibre grezze possono fibrillare.
<i>Amianto</i>	Grazie alle sue efficienti capacità di tenuta in un'ampia gamma di condizioni di servizio, l'amianto è stato il materiale più comunemente utilizzato per la tenuta delle connessioni flangiate fin dalla fine del secolo scorso. Oggi, viene sempre più sostituito da materiali privi di amianto (obbligatori in molti Paesi).
<i>Filamenti di carbonio</i>	La loro elevata conduttività termica assicura una rapida dissipazione del calore, consentendo un'ottima resistenza alle alte temperature (tranne in atmosfere ossidanti). Offrono un'ampia resistenza chimica, e possono essere utilizzate con pH da 0 a 14. Come già detto, non vanno utilizzate in ambienti ossidanti.

<i>Cellulosa</i>	Fibra naturale adatta per applicazioni con basse temperature e/o medie pressioni. Le fibre grezze possono fibrillare.
<i>Fibre di vetro</i>	Complesso inorganico di silicati metallici, offre una buona resistenza tranne che in presenza di prodotti chimici. Adatto per applicazioni con temperature medie e alte. Le fibre non fibrillano.
<i>Fibre minerali artificiali</i> (MMMMF)	Conosciute anche come «Lane minerali», si tratta di fibre inorganiche composte da silicati metallici con un'ampia gamma di diametri. Adatte per applicazioni a media e alta temperatura. Le fibre non fibrillano.
► <i>Altri materiali</i>	
<i>Grafite flessibile</i>	Come conseguenza del processo nella sua forma espansa, questo materiale è essenzialmente grafite pura costituita in genere al 95% o più da carbonio elementare. Ne consegue un materiale con un'ampia resistenza chimica, anche se il suo impiego in ambienti ossidanti è sconsigliato. Viene fornita in genere con un peso specifico apparente di $1,1 \text{ Mg.m}^{-3}$ ( $70 \text{ lb.ft}^{-3}$ ), che equivale a circa il 50% del massimo teorico ed è l'ideale per la maggior parte delle applicazioni industriali. Questo materiale può essere fornito con densità maggiori (per applicazioni con alte pressioni del fluido) o minori (per applicazioni in cui i carichi di tenuta sono relativamente bassi o che richiedono una buona conformabilità).
<i>Mica</i> ( <i>Vermiculite</i> )	Materiale reperibile in natura e costituito da silicati complessi di alluminio, è caratterizzato da una morfologia laminare e da una sfaldatura basale quasi perfetta. La struttura possiede un alto grado di flessibilità, di elasticità e di resistenza. Eccellente stabilità termica e resistenza chimica.
<i>PTFE</i>	Caratteristiche di resistenza chimica estremamente ampie (il PTFE è attaccato solo da metalli alcalini fusi e dai gas di fluoro), con eccellenti proprietà antiadesive e dielettriche. Questo materiale possiede un'alta comprimibilità, che gli consente un ottimo adattamento alle superfici irregolari delle flange, ed è facile da maneggiare. È tuttavia soggetto a degrado per radiazioni.

► *Equivalenti europei ai materiali in acciaio inox*

<b>Usa</b> AISI	<b>Germania</b> DIN/W.-Nr	<b>Spagna</b> UNE	<b>Francia</b> AFNOR	<b>Italia</b> UNI	<b>Svezia</b> SS	<b>GB</b> BS
304	X5CrNi 18 9 /1.4301	X5CrNi 18 10	Z6CN 18.09	X5CrNi 18 10	2332	304 S 15
304L	X2CrNi 18 9 /1.4306	X2CrNi 19 10	Z2CN 18.10	X2CrNi 18 11	2352	304 S 12
316	X5CrNiMo 18 10 /1.4401	X5CrNiMo 17 12	Z6CND 17.11	X5CrNiMo 17 12	2347	316 S 16
316L	X2CrNiMo 18 10 /1.4404	X2CrNiMo 17 12	Z2CND 18.13	X2CrNiMo 17 12	2348	316 S 11 316 S 12
321	X100CrNiTi 18 19 /1.4541	X7CrNiTi 18 11	Z6CNT 18.10	X6CrTi 18 11	2337	321 S 12
347	X100CrNiNb 18 9 /1.4550	X7CrNiNb 18 11	Z6CNNb 18.10	X6CrNiNb 18 11	2338	304 S 17
410	X100 Cr 13 /1.4006	X12 Cr 13	Z12 C 13	X12 Cr 13	2302	410 S 21

► *Materiali metallici*

<b>Nome</b>	<b>Materiale commerciale</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Commenti</b>
Acciaio al carbonio		Foglio forgiato o laminato (ferro dolce)	Solo per applicazioni generali.
316		Acciaio inox austenitico 18-12 Cr/Ni con Mo	Eccellente resistenza alla corrosione, ma ma soggetto a formazione di cricche per corrosione sotto sforzo (SCC) e a corrosione intergranulare con certi fluidi.
316L		Variante di 316 con ridotto contenuto di carbonio.	SCC e corrosione intergranulare ridotti.
304		Acciaio inox austenitico 18-8 Cr/Ni	Eccellente resistenza alla corrosione, ma soggetto a SCC ad alte temperature.
304L		Variante di 304 con ridotto contenuto di carbonio.	SCC e corrosione intergranulare ridotti.
321		Acciaio inox 18-10 Cr/Ni con Ti.	Soggetto a SCC ma con ridotta corrosione intergranulare.
347		Variante dell'acciaio inox 18-10 Cr/Ni	Soggetto a SCC ma con ridotta corrosione intergranulare. Idoneo per alte temperature.

410		Acciaio inox ferritico 12-9 Cr/Ni	Eccellente idoneità alle alte temperature, buona resistenza alla corrosione.
Titanio			Eccellente resistenza alla corrosione da alte temperature, ottimo per fluidi ossidanti.
Alloy 600	Inconel 600 <sup>®</sup>	Lega al 70%Ni, 15%Cr, 8% Fe.	Eccellente resistenza alla corrosione da alte temperature
Alloy 625	Inconel 625 <sup>®</sup>	Lega Ni/Cr con Mo e Nb	Ottima resistenza alla corrosione per un'ampia gamma di fluidi acidi e alcalini
Alloy 800	Incoloy 800 <sup>®</sup>	Acciaio legato al 32% Ni, 20% Cr e 46% Fe.	Eccellente resistenza alla corrosione da alte temperature.
Alloy 825	Incoloy 825 <sup>®</sup>	Acciaio legato con Ni, Cr, Fe, Mo, Cu.	Buona resistenza agli acidi caldi ed eccellente resistenza a SCC.
Alloy 200	Nickel 200 <sup>®</sup>	99,6% di Ni puddellato	Molto resistente a fluidi riducenti e agli alcali.
Alloy 400	Monel <sup>®</sup> 400	Acciaio legato al 67% Ni, 30% Cu.	Molto resistente all'acido fluoridrico.
Alloy B2	Hastelloy B2 <sup>®</sup>	Acciaio legato Ni/Mo	Eccellente resistenza all'acido acetico, cloridrico, fosforico e solforico.
Alloy C276	HastelloyC276 <sup>®</sup>	Acciaio legato Ni/Cr/Mo	Eccellente resistenza alla corrosione da fluidi riducenti e ossidanti.
Alloy 20	Carpenter 20	Acciaio legato Fe/Ni/Cr	Sviluppato per applicazioni che richiedono una buona resistenza all'acido solforico.
Alloy x-750	Inconel <sup>®</sup> x-750	Acciaio legato Ni/Cr/Fe	Acciaio ad alta resistenza indurito per precipitazione.
Alluminio			Eccellente duttilità e malleabilità.
Rame			Resistente alla corrosione in genere.

## 5.2 Tipi di guarnizione

Le guarnizioni si suddividono in 3 categorie principali:

- guarnizioni morbide (non metalliche)
- guarnizioni semi metalliche
- guarnizioni metalliche.

Le caratteristiche meccaniche e il livello di prestazioni di ogni categoria varia notevolmente a seconda del tipo di guarnizione e dei materiali costruttivi. Ovvia-

mente le proprietà meccaniche rappresentano un parametro importante quando si valuta la progettazione della guarnizione, ma in genere la selezione si basa soprattutto su:

- temperatura e pressione del fluido di processo
- natura chimica del fluido di processo
- carico meccanico sulla guarnizione.

► *Guarnizioni morbide (non metalliche)* Realizzate spesso con materiali compositi in foglio, idonee per un'ampia gamma di applicazioni generali e applicazioni chimiche corrosive, sono in genere raccomandate per medie e basse pressioni. Tra i materiali costruttivi, segnaliamo le fibre compresse di amianto (CAF), i materiali fibrosi senza amianto, la grafite e il PTFE.

► *Guarnizioni semi metalliche* Guarnizioni composite realizzate in materiali metallici e non metallici, con il metallo che in genere fornisce resistenza ed elasticità alla guarnizione. Adatte per ogni temperatura e pressione. Tra le guarnizioni semi metalliche vi sono le guarnizioni morbide con profilo a camma, a occhiello metallico, incamiciate e con rinforzo metallico (tra cui le guarnizioni di grafite con codolo (tanged graphite) e materiali «it» con filo di rinforzo), le guarnizioni metalliche corrugate e le guarnizioni avvolte a spirale.

► *Guarnizioni metalliche* Questo tipo di guarnizioni può essere composto da un solo metallo o da una combinazione di materiali metallici e presenta una certa varietà di forme e dimensioni. Sono idonee per molte applicazioni con pressione e temperatura elevate. Per sistemare la guarnizione sono necessari carichi elevati. Tra le guarnizioni metalliche segnaliamo i tipi con anelli a lente (lens rings), a connessione anulare (ring type joints) e le guarnizioni saldate.

Le guarnizioni devono risultare chimicamente compatibili con il fluido di processo e offrire una buona resistenza al deterioramento da questi generato. Per le guarnizioni metalliche va inoltre considerata la corrosione elettrochimica (o «galvanica»), che può essere minimizzata selezionando dei materiali per flangia e guarnizione vicini tra loro per serie elettrochimiche (in alternativa, la guarnizione può essere «sacrificabile» per minimizzare i danneggiamenti alla flangia).

Questo tipo di corrosione nasce da un processo elettrochimico generato dalla presenza di un fluido ionoconduttore, che può essere una soluzione acquosa resa conduttiva dalla presenza di ioni dissolti.

L'elemento di base è dissolto in un processo redox, nei quali gli elettroni emessi dall'elemento di base (anodo) sono assorbiti nella soluzione e depositati sull'elemento nobile (catodo).

## ► Serie elettrochimiche di alcuni metalli e leghe commerciali (in acqua di mare)

Anodo (base)	Magnesio Zinco Ghisa Acciaio al carbonio Acciaio inox 304 (attivo) Acciaio inox 410 (attivo) Rame Acciaio inox 316 (attivo) Inconel Acciaio inox 410 (passivo) Titanio Acciaio inox 304 (passivo) Monel Acciaio inox 316 (passivo) Oro
Catodo (nobile)	Platino

Riportiamo qui una guida sintetica alle guarnizioni e ai materiali costruttivi principalmente utilizzati per assicurare delle soluzioni di tenuta sicure e affidabili. Se si rende necessario l'impiego di speciali rivestimenti per facilitare la rimozione della guarnizione dalla flangia dopo il servizio, utilizzare materiali con rivestimento antiaderente applicato dal costruttore (vd. «Composti di giunzione»). Va comunque tenuto presente che la guida qui proposta riporta dei limiti di funzionamento esclusivamente a scopo indicativo. Molte guarnizioni sono composite e contengono una varietà di leganti, riempitivi, eccetera, che possono modificare le prestazioni complessive. I limiti di funzionamento e il grado di idoneità possono variare in modo significativo a seconda dei materiali costruttivi e delle specifiche condizioni di servizio. In queste circostanze, i suggerimenti del produttore sono importantissimi! Pertanto, fare sempre riferimento al produttore per stabilire l'idoneità della guarnizione alle specifiche applicazioni e ai valori minimi e massimi raggiungibili in particolari condizioni di servizio. Prima di selezionare un tipo di guarnizione o un determinato materiale costruttivo, assicurarsi che sia il più idoneo alla specifica applicazione!

*Tipo di guarnizione  
o di materiale*

*Commento*

Miscela di paste

Grazie al processo di aggiunta per paste, è possibile amalgamare un'ampia varietà di fibre, riempitivi e leganti. I prodotti vengono quindi realizzati utilizzando un processo produttivo simile a quello della carta, che generalmente implica la calandratura, per ottenere dei materiali con un'ampia gamma di prestazioni.

Fibre di amianto

Prodotte con il processo di calandratura «it» (vd. fondo pagina), nel compresse (CAF) quale la miscela viene pressata tra due cilindri sotto carico. I materiali di amianto in fogli presentano spesso un alto contenuto di fibre e possono essere formulati con un'ampia varietà di

	<p>riempitivi e leganti. Vengono considerati un materiale molto «tollerante», con una gamma di applicazioni molto ampia.</p>
Fibre compresse senza amianto	<p>Tramite il processo «it», è possibile amalgamare un'ampia varietà di fibre, riempitivi e leganti. Pertanto, i materiali per guarnizioni in fibre compresse possono essere progettati per operare su un'ampia varietà di fluidi, pressioni e temperature. In genere, questi materiali possono eguagliare o superare le prestazioni delle fibre di amianto, anche se richiedono un approccio diverso per quanto riguarda la selezione, le modalità di trattamento e l'installazione.</p>
Volume costante	<p>Guarnizioni con l'elemento di tenuta racchiuso sia sul diametro esterno che su quello interno da anelli metallici, in modo che una volta compressa appieno la guarnizione vi sia un contatto metallo su metallo tra le superfici delle flange e gli anelli metallici. Questo consente di mantenere costante il volume dell'elemento di tenuta e la sollecitazione su di esso a prescindere dal carico in eccesso sopportato. L'elemento di tenuta può essere composto da qualsiasi materiale idoneo all'applicazione (p.es. grafite).</p>
Composti di sughero	<p>Economico e generalmente idoneo per connessioni leggere e condizioni di servizio relativamente semplici. Ideale per le flange facili da danneggiare (p.es. vetro o ceramica), ma raccomandate solo per servizi «light duty».</p>
Composti di sughero e gomma	<p>Possiede le caratteristiche desiderabili del sughero unite ai vantaggi della gomma sintetica. Più semplice da maneggiare e più durevole sugli scaffali del semplice sughero, può offrire anche una miglior resistenza chimica (a seconda del legante della gomma). Può anche essere rinforzato con fibre per una miglior sopportazione del carico. Ideale per applicazioni «light duty».</p>
Metalliche corrugate	<p>Guarnizioni metalliche che contengono un materiale riempitivo sulle rughe. La tenuta viene creata dal contatto tra i vertici delle rughe e la superficie della flangia.</p>
Involucro	<p>Usato principalmente insieme a componenti anticorrosione in vetro, metallo rivestito vetro, ecc. L'involucro, generalmente in PTFE, funge da strato resistente ai prodotti chimici, mentre i materiali d'inserto forniscono compressione e resilienza.</p>

Occhiello	Guarnizione morbida rinforzata da un anello metallico sulla circonferenza interna per fornire una miglior resistenza all'estrusione e ridurre il deterioramento chimico. In genere, questo accorgimento migliora la capacità di tenuta.
Grafite flessibile	Fornita in genere con uno strato di rinforzo metallico per irrobustire la struttura, facilitando quindi l'immagazzinaggio e l'installazione. In genere viene utilizzato un nucleo meccanico (con codolo), anche se l'applicazione con adesivo chimico sul metallo liscio facilita le operazioni di taglio.
Incamicciata	Tradizionale guarnizione per gli scambiatori di calore, consiste di un nucleo di materiale resiliente avvolto in un rivestimento metallico. Può avere uno strato superficiale morbido di grafite per migliorare le capacità di tenuta.
Profilo a camme	Guarnizione metallica con superfici scanalate, con o senza strato resiliente di tenuta sulle superfici.
PTFE (semplice)	Realizzata con una lavorazione minima in PTFE puro, questa guarnizione offre una resistenza ai prodotti chimici molto ampia, ma soffre di scorrimento plastico a freddo e deformazione viscosa una volta compressa. Spesso viene tagliata con asportazione del truciolo, oppure modellata.

Nota: «it» deriva dalle ultime lettere delle due parole gummy asbest (dal tedesco), che significa foglio di fibre di amianto compresse o CAF.

<i>Tipo di guarnizione o di materiale</i>	<i>Commento</i>
Fillosilicato	Materiale per guarnizioni adatto alle alte temperature basato su componenti della famiglia della mica, disponibile in fogli, con o senza rinforzi metallici.
PTFE processato	Offre una buona resistenza a un'ampia gamma di prodotti chimici, unitamente a un'elevata comprimibilità e a significativi miglioramenti nella sopportazione dello scorrimento plastico e della deformazione viscosa. La varietà di opzioni di processo, di riempitivi e di progettazioni consentono un'ampia gamma di prestazioni a seconda del tipo di PTFE (p.es. PTFE espanso, PTFE fillerizzato e PTFE a orientamento biassiale).
Connessione ad anello	Guarnizioni metalliche prodotte con una varietà di leghe e di metalli, generalmente di sezione ovale od ottagonale

e utilizzate insieme a flange con connessione ad anello. Possono sopportare delle pressioni estremamente elevate (in genere fino a 100 MPa o 14.500 lbf.in<sup>-2</sup>), mentre la temperatura massima si limita in genere alla max. temperatura sopportata dal metallo.

- Gomma** Oggi sono disponibili numerosi tipi di gomma per soddisfare un'ampia varietà di condizioni di servizio per elastomeri. Le proprietà possono essere concentrate in un singolo prodotto per soddisfare le necessità di prestazioni specifiche. Resta tuttavia essenziale un'attenta selezione della qualità più appropriata per le prestazioni richieste.
- Spirometallica** Versatile guarnizione semi metallica che consiste in genere di strati alterni di strisce metalliche con sezione a V e di un riempitivo, il tutto avvolto a forma di spirale. I componenti metallici possono essere in acciaio inox, Monel, Inconel, eccetera, mentre il riempitivo può essere amianto o altre fibre, PTFE, grafite, ceramica, eccetera, come più richiesto dall'applicazione. Trova impiego con un'ampia gamma di temperature e pressioni.
- PTFE espanso a nastro o corda** Fornito in genere come bobina o rotolo, questo materiale ad alta compressione è molto flessibile e presenta talvolta dell'adesivo su un lato per facilitare l'installazione. La sua resistenza allo scorrimento plastico e alla deformazione viscosa è migliore di quella offerta da altri tipi di PTFE. Può essere srotolato sulle superfici a contatto delle flange, tagliato, sovrapposto e compresso tra le flange. Pertanto, viene spesso definito «adattabile sul posto», un materiale per guarnizioni «fai-da-te» ideale per facili installazioni sul posto. In genere viene utilizzato per pressioni e temperature poco impegnative, specialmente nei casi in cui le flange subiscono un carico leggero o sono di costruzione relativamente fragile.

### 5.3 Selezione dello spessore

Per le guarnizioni tagliate da fogli, utilizzare sempre il materiale più sottile consentito dalla progettazione dell'assieme, tenendo tuttavia presente che la guarnizione dev'essere abbastanza spessa da compensare le irregolarità superficiali delle flange, le asimmetrie del parallelismo, le carenze della finitura e della rigidità superficiale, eccetera. In ogni caso, più sottile è la guarnizione e maggiore è il carico di compressione che questa può sopportare, con la conseguente diminuzione della perdita di tensione dei bulloni generata dal rilassamento. Anche l'area della guarnizione esposta agli attacchi della pressione e dei fluidi aggressivi sarà minore

pertanto, assicurarsi che la guarnizione sia il più sottile possibile.

### 5.4 Taglio delle guarnizioni morbide

Le prestazioni di una guarnizione morbida possono essere significativamente influenzate dal modo in cui vengono tagliate nella forma richiesta.

- ☑ Usare un buon taglierino per tagliare le guarnizioni nella forma desiderata.
- ☑ mai percuotere il materiale sulla flangia per tagliare una guarnizione. Oltre alla possibilità di danneggiare la flangia, questa procedura ridurrà certamente le prestazioni della guarnizione.
- ☑ assicurarsi che la guarnizione abbia le dimensioni specificate, per evitare la corrosione delle superfici esposte della flangia e minimizzare la spinta idrostatica.
- ☑ per assicurare un posizionamento appropriato, tagliare i fori dei bulloni leggermente più larghi del diametro dei bulloni.
- ☑ assicurarsi che il diametro interno della guarnizione sia almeno pari a quello della tubazione di processo, per evitare possibili ostruzioni.

### 5.5 Immagazzinaggio di guarnizioni e materiali per guarnizioni

Anche se molti materiali per guarnizioni possono essere usati con sicurezza dopo un immagazzinaggio di molti anni, l'invecchiamento avrà un effetto significativo sulle prestazioni di alcuni materiali a causa del decadimento chimico generato dal tempo. In genere, questo riguarda soprattutto i materiali legati con elastomeri, il cui impiego è sconsigliato dopo 4 anni dalla data di produzione. I materiali con leganti elastomerici si deteriorano inevitabilmente con il tempo, e il processo di deterioramento accelera alle alte temperature ambientali. Il decadimento chimico viene anche catalizzato dall'intensa luce solare. Questo processo non riguarda le guarnizioni metalliche, ma sicuramente influenza le guarnizioni semi metalliche – soprattutto quelle realizzate con materiali a leganti elastomerici. La grafite e il PTFE, per contro, non contengono leganti, per cui i fogli e le guarnizioni di questi materiali hanno una durata virtualmente indefinita sugli scaffali. In generale:

- ☑ durante l'immagazzinaggio, le guarnizioni non vanno assoggettate a caldo intenso o a forte umidità e vanno conservate in un luogo fresco e asciutto al riparo dalla luce solare, dall'acqua, dall'olio e dai prodotti chimici
- ☑ i fogli vanno immagazzinati distesi
- ☑ evitare di appendere le guarnizioni poiché potrebbero deformarsi. Le guarnizioni morbide vanno immagazzinate in piano (distese). Le guarnizioni spirometalliche di grandi dimensioni vanno trattenute nei loro supporti
- ☑ le guarnizioni devono essere pulite e prive di danneggiamenti meccanici (per una protezione di massimo livello, immagazzinarle in buste di polietilene chiuse).

Gli effetti dell'immagazzinaggio e dell'invecchiamento dipendono anche dal materiale. Pertanto, consultare sempre il produttore per specifiche raccomandazioni sull'immagazzinaggio dei prodotti.

### 5.6 Trattamento di guarnizioni e materiali per guarnizioni

Le condizioni di una guarnizione giocano un ruolo importante sul livello delle sue prestazioni. Alcuni materiali per guarnizioni sono relativamente robusti (p.es. i materiali metallici), altri sono ragionevolmente «tolleranti», p.es. l'amianto o il PTFE, ma molti possono essere fragili o inclini alla fessurazione. Di conseguenza, è meglio trattare tutte le guarnizioni e i materiali per guarnizioni con la stessa cura e attenzione. Una guarnizione danneggiata in qualsiasi modo perderà presto le sue capacità di tenuta! Se si opera sul posto, trasportare con cura le guarnizioni già tagliate usando possibilmente un involucro protettivo. Anche se tenere in tasca le guarnizioni di

piccole dimensioni è pratica comune, è meglio evitarlo! Se bisogna chinarsi per qualsiasi motivo, la guarnizione potrebbe danneggiarsi, e la presenza di polvere o altri oggetti nelle tasche potrebbe graffiarle.

- Trasportare con cura le guarnizioni già tagliate usando un involucro protettivo
- non piegarle o deformarle
- evitare di danneggiarne la superficie
- trasportare le guarnizioni metalliche e semi metalliche di grande diametro nelle loro confezioni.

### **5.7 Riutilizzo di guarnizioni ed elementi di fissaggio**

Una guarnizione non va mai riutilizzata, in quanto le condizioni di servizio potrebbero averne modificato la struttura. Anche se la guarnizione sembra a posto, non ne vale la pena! Il costo di una nuova guarnizione è insignificante a confronto del costo di un arresto non preventivato causato da una perdita o dall'estrusione della guarnizione, e ancora di più rispetto al rischio di conseguenze sulla sicurezza o sull'ambiente. Allo stesso modo non vanno mai riutilizzati gli elementi di fissaggio o i dadi, poiché potrebbero esser stati danneggiati dalla corrosione o aver perso duttilità per un serraggio che ha superato il loro limite di resistenza; in ogni caso, non vale la pena rischiare!

- Mai riutilizzare le guarnizioni e gli elementi di fissaggio.

## 6. Procedure d'installazione

Il corretto assemblaggio della connessione è essenziale per far sì che la guarnizione offra le prestazioni previste. L'assemblaggio è un processo soggetto a un gran numero di variabili, tra cui le condizioni di tutti i componenti, l'uniformità delle superfici, la loro durezza e scivolosità, la calibratura degli attrezzi, l'accessibilità dei bulloni/prigionieri, l'ambiente in cui devono operare i tecnici, ecc. La cosa più importante, comunque, è la coerenza. Se le pratiche finora utilizzate si sono provate efficaci, non cambiarle! L'obbiettivo dovrebbe essere di mantenere al minimo il numero di variabili. Se possibile, utilizzare sempre lo stesso attrezzo nello stesso modo.

### 6.1 Attrezzatura necessaria

Gli attrezzi serviranno a pulire la flangia e a stringere i dadi sugli elementi di fissaggio. Gli utensili per il serraggio vanno calibrati a intervalli regolari e comprendono chiavi torsionometriche, chiavi idrauliche, eccetera. Gli strumenti per misurare la tensione comprendono i micrometri e i dispositivi a ultrasuoni. L'installazione può rivelarsi un compito alquanto difficile, e quindi saranno necessari degli indumenti appropriati (o indumenti protettivi laddove richiesto) oltre al casco di sicurezza, agli occhiali protettivi, ai guanti, eccetera.

### 6.2 Pulizia

Per assicurare una buona prestazione della guarnizione, tutte le superfici soggette a carichi devono essere pulite.

- ▶ Elementi di fissaggio, dadi, rondelle
- ▶ Assieme della flangia
- pulire con una spazzola metallica (possibilmente ottone) per rimuovere le impurità nella filettatura.
- pulire le superfici a contatto della guarnizione con attrezzi e prodotti idonei (vd. sotto).

La rimozione della vecchia guarnizione lascia spesso delle contaminazioni sulle facce delle flange, che vanno rimosse prima di installare con sicurezza la nuova guarnizione. Tra gli attrezzi più adatti per rimuovere queste contaminazioni vi sono le spazzole metalliche (utilizzare sempre delle setole in acciaio inox su componenti in lega). In ogni caso, per minimizzare le possibilità di usura è necessario spazzolare sempre nella direzione delle cave, piuttosto che in senso perpendicolare. Inevitabilmente, l'uso di una spazzola metallica genera usura sulle superfici dopo un po' di tempo. Per questo motivo sono stati sviluppati degli appositi utensili come il punteruolo di ottone, che previene il danneggiamento della flangia tramite l'impiego di un materiale meno duro (l'ottone) di quello delle facce delle flange (in genere acciaio). Un punteruolo adatto può essere realizzato da una lastra di ottone di spessore pari a 5 mm. (0,2") e larga 50 mm (2"), che viene limata e formata in un punteruolo di 45° lungo l'ampiezza. Per rimuovere le impurità, inserire il punteruolo nelle cave e colpire leggermente con un martelletto.

### 6.3 Ispezione visiva

Tutte le superfici soggette a carico devono essere prive di difetti significativi. Anche la guarnizione meglio concepita potrà far poco se una flangia è danneggiata o curva.

- ▶ Elementi di fissaggio, dadi, rondelle
- ▶ Assieme della flangia
- esaminare dopo la pulizia per assicurarsi che non presentino difetti come intagli o cricature.
- ispezionare le facce delle flange per accertarsi che non vi siano difetti, p.es. graffi in senso radiale, o che non siano imbarcate

- ▶ Guarnizioni
  - assicurarsi inoltre che le superfici siano sufficientemente piane e parallele.
  - accertarsi che sia disponibile la corretta guarnizione (idonea al servizio e con corrette dimensioni e spessore).
  - esaminare la guarnizione prima dell'installazione per assicurarsi che non presenti alcun difetto.

Se vengono osservati dei difetti, non correre rischi!

- sostituire i componenti difettosi con le alternative più indicate. In caso di dubbio, non esitare a chiedere!

Notare che per le guarnizioni a spirale, la planarità e il parallelismo delle flange assumono particolare importanza per il livello di prestazioni della tenuta.

- Per le superfici delle flange a contatto della guarnizione, la massima variazione di planarità tollerabile è pari a 0,2 mm.
- il mancato parallelismo tra le superfici delle flange dovrebbe essere inferiore a 0,4 mm. in tutta la flangia.

#### 6.4 Lubrificazione

Secondo studi effettuati, in alcuni casi l'assenza di idonea lubrificazione obbliga a utilizzare più del 50% della coppia applicata per vincere la frizione. Questo significa che la stessa coppia applicata a bulloni lubrificati e a bulloni non lubrificati produce dei risultati notevolmente diversi. Pertanto, la lubrificazione svolge un ruolo di primaria importanza quando si utilizza la coppia per regolare la tensione di una connessione flangiata. Quando si seleziona un lubrificante, vanno considerati i seguenti fattori:

- ▶ Proprietà lubrificante
  - migliore è il lubrificante e minore sarà l'effetto della frizione.
- ▶ Compatibilità
  - il lubrificante dev'essere compatibile con i materiali dei dadi, delle rondelle e dei bulloni/prigionieri, e idealmente anche con il fluido di processo. Per esempio, i lubrificanti a base di rame possono contaminare il fluido di processo, mentre i cloruri, i fluoruri e i solfati possono contribuire alla corrosione di dadi, rondelle, bulloni e prigionieri.
- ▶ Temperatura
  - assicurarsi che le temperature di processo non superino le temperature d'esercizio raccomandate per i lubrificanti.

Si raccomandano le seguenti procedure:

- lubrificare le filettature e tutte le superfici soggette a carichi (facce a contatto dei bulloni, dei dadi e delle rondelle)
- utilizzare esclusivamente dei lubrificanti approvati per l'impiego specifico
- applicare il lubrificante in modo omogeneo, creando una pellicola sottile e uniforme ed evitando grumi di lubrificante che possono ridurre l'efficienza
- assicurarsi che il lubrificante non contamini le superfici a contatto delle flange o la guarnizione
- evitare la contaminazione dei lubrificanti immagazzinandoli in un contenitore chiuso (evitando così anche la possibile contaminazione della guarnizione).  
Dopo l'uso, conservare il lubrificante in un'area «pulita».

### 6.5 Installazione e centraggio della guarnizione

Prima dell'installazione, assicurarsi che i componenti della flangia siano correttamente assemblati e che le facce a contatto delle flange siano parallele.

- inserire con cautela la guarnizione tra le flange prestando attenzione a non danneggiarla
- per guarnizioni a spirale di grande diametro, posizionare la guarnizione sulla flangia mantenendola nel suo supporto, rimuovere le cinghie di sicurezza, quindi spostare la guarnizione dal suo supporto alla flangia con un numero di persone appropriato per evitare di danneggiarla
- assicurarsi che la guarnizione sia posizionata centralmente sulla flangia
- non utilizzare nastro adesivo per assicurare la guarnizione sulla flangia. Se necessario per l'installazione, applicare piuttosto un leggero spruzzo di spray adesivo (p.es. tipo 3M 77)
- non utilizzare composti di giunzione o agenti per la rimozione
- allineare i componenti della connessione (tra cui le flange e la guarnizione) ed ispezionarli visivamente per accertarsi che siano posizionati a dovere
- quando si uniscono le flange, prestare attenzione a non «pizzicare» o danneggiare altrimenti la guarnizione.

### 6.6 Calcolo della coppia

Nonostante gli sviluppi tesi a migliorare la riproducibilità del fissaggio delle connessioni flangiate (p.es. elementi di fissaggio con controllo della tensione, tensionatori idraulici, analisi ultrasonica degli elementi di fissaggio e metodi simultanei coppia/avvitamento), la coppia resta il sistema più comune per controllare il serraggio delle connessioni. Quando si impiegano metodi di serraggio basati sulla coppia, vi sono 3 fattori principali da tenere in considerazione per assicurarsi che vengano generate le forze richieste:

<i>Fattore 1</i>	+	<i>Fattore 2</i>	+	<i>Fattore 3</i>
(coppia applicata per sottoporre a carico l'elemento di fissaggio)		(coppia applicata per vincere la frizione della filettatura)		(coppia applicata per vincere la frizione al dado)

Questi fattori comprendono il precarico sulla lamatura dell'elemento di fissaggio. I fattori 1 e 2 comprendono la dimensione della filettatura, e il fattore 3 comprende le dimensioni del dado. I fattori 2 e 3 comprendono anche il coefficiente di frizione tra queste superfici, che dipende dal tipo di lubrificante utilizzato.

È necessario sottolineare che la frizione contribuisce in modo significativo alla coppia da applicare (vd. par. 6.4), e quindi l'impiego di lubrificanti idonei è cruciale per un buon controllo della coppia. I valori per il coefficiente di frizione forniti dal lubrificante devono essere noti per stabilire accuratamente il carico sull'elemento di fissaggio. Sia in unità metriche che in unità imperiali, la coppia può essere definita come:

$$T = W \frac{P}{2} + \frac{R_e \mu}{\cos} + R_s \mu$$

2	piano inclinato (costante)
cos	frizione della filettatura al raggio effettivo (variabile)
$R_s \mu$	frizione del dado al raggio medio della lamatura (variabile)

in cui:

- T = coppia
- W = forza
- P = passo della filettatura  
= 1/2 angolo incluso della filettatura
- $R_e$  = raggio effettivo della filettatura
- $R_s$  = raggio medio della lamatura del dado
- $\mu$  = coefficiente di frizione.

In forma semplificata, per elementi di fissaggio, dadi, rondelle, ecc., lubrificati (vd. anche par. 6.4), la relazione tra la coppia e il carico sull'elemento di fissaggio può essere rappresentata come:

$$T = L \times 0,2 \times db$$

in cui:

- T = coppia per elemento di fissaggio in N.m (pollici-lbf)
- L = carico per elemento di fissaggio in kN (lbf)
- db = diametro nominale dell'elemento di fissaggio in mm.
- 0,2 = fattore di perdita per frizione.

Notare anche che il fattore 0,2 può variare sensibilmente: può essere portato a 0,3 per sistemi non lubrificati, o ridotto a 0,15 per lubrificanti con un basso coefficiente di frizione. Le buone prestazioni della connessione dipendono fortemente dal corretto livello di tensione nell'elemento di fissaggio. Tener presente che per la massima efficacia, il carico sull'elemento di fissaggio va mantenuto entro la sua area elastica (per maggiori informazioni, vd. par. 4.3, «Elementi di fissaggio»). Altri punti da considerare:

- la resistenza alla compressione del materiale della guarnizione
- la spinta idrostatica, che aumenterà la tensione dell'elemento di fissaggio a seconda della pressione interna di funzionamento
- la possibilità di problemi generati dall'applicazione di una tensione sull'elemento di fissaggio inferiore al 50% della tensione di snervamento
- il fatto che la maggior parte delle flange vengono installate con metodi di serraggio tradizionali, per cui risulta conveniente avere delle tensioni di progetto raggiungibili con questi metodi (spesso è impossibile per le flange di ampio diametro).

## 6.7 Schemi di serraggio di bulloni e prigionieri

Uno dei compiti più difficili che gli operatori devono affrontare è applicare la corretta pressione di assemblaggio, che dev'essere abbastanza contenuta da non danneggiare la guarnizione ma abbastanza elevata da evitare perdite dalla connessione. Il fornitore della guarnizione sarà ben disposto a contribuire alla realizzazione di questo compito. L'amianto in fogli è abbastanza robusto da resistere i danneggiamenti da sovraccarico, ma non sempre si può dire lo stesso delle sue alternative! Di conseguenza, quando si stringono gli elementi di fissaggio su una flangia con qualsiasi tipo di guarnizione che non incorpori un fermo metallico (come le guarnizioni in fogli), mai percuotere con un utensile, né usare i montanti delle impalcature. È di fondamentale importanza controllare accuratamente la forza applicata a ogni tipo di connessione flangiata, per cui:

- utilizzare sempre una chiave torsionometrica o un altro dispositivo a tensionamento controllato, e accertarsi che sia stato calibrato di recente.

La sequenza con cui si stringono i dadi ha una considerevole importanza sulla distribuzione della pressione di assemblaggio sulla guarnizione. Un serraggio improprio può spostare la flangia dall'asse della tubazione. Le guarnizioni riescono in ge-

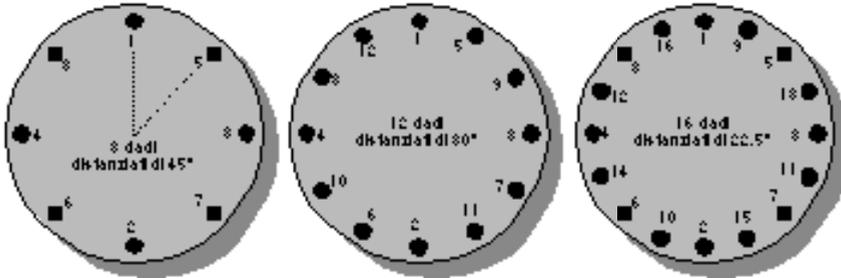
nere a compensare una piccola deviazione dall'asse della tubazione, ma se questa diventa sostanziale possono verificarsi serie difficoltà. Pertanto:

☑ stringere sempre i dadi seguendo uno schema incrociato.

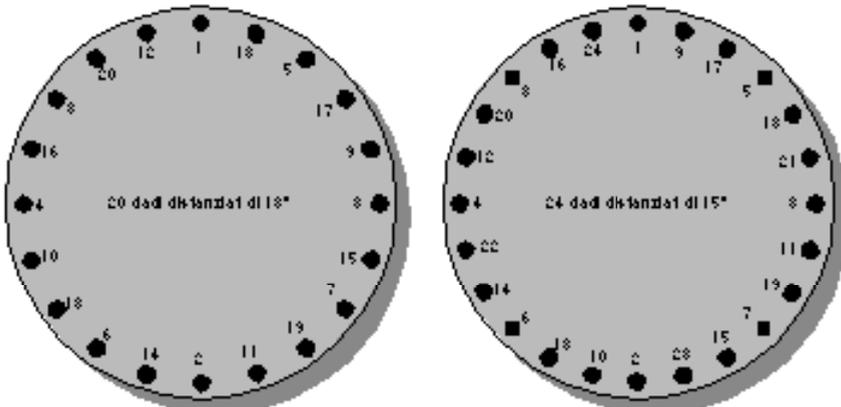
Iniziare sempre stringendo i dadi o i bulloni a mano. Questo, tra l'altro, attesta le buone condizioni della filettatura. Se i dadi non si avvitano in modo soddisfacente, vi sono probabilmente dei difetti nell'elemento di fissaggio. Ricontrollare, e se necessario sostituire i componenti difettosi. Stringere quindi la connessione utilizzando un minimo di 5 passaggi torsionometrici, con una sequenza a croce per ogni passaggio come nella sottostante illustrazione. Quella illustrata è la procedura raccomandata.

- ☑ *passaggio n. 1:* stringere i dadi a mano seguendo lo schema incrociato qui esposto, quindi stringerli tutti a fondo (sempre a mano)
- ☑ *passaggio n. 2:* con una chiave torsionometrica, stringere fino al 30% della coppia raccomandata seguendo lo schema incrociato qui esposto, quindi accertarsi che la flangia comprima la guarnizione in modo uniforme
- ☑ *passaggio n. 3:* stringere fino al 60% della coppia raccomandata, sempre seguendo lo schema incrociato
- ☑ *passaggio n. 4:* stringere fino a raggiungere la coppia raccomandata seguendo lo schema incrociato
- ☑ *passaggio n. 5:* verifica a piena coppia di tutti gli elementi di fissaggio, stringendo per dadi adiacenti in senso orario

Dopo il completamento dei primi 5 passaggi di base, può essere opportuno ripetere il passaggio n. 5 fino al completo avvitarimento dei dadi. Il serraggio finale dev'essere uniforme, con lo stesso carico applicato su ogni bullone.



Schema di serraggio incrociato



Per il precarico degli elementi di fissaggio si usano spesso i tensionatori idraulici. Nonostante un buon numero di operatori ritenga che questi dispositivi forniscano un ottimo controllo (perché l'ariete idraulico esercita una forza accurata sull'elemento di fissaggio durante l'operazione di assemblaggio), parte del carico sull'elemento viene perduto alla rimozione del tensionatore per via del recupero elastico. Quando si applica il carico del tensionatore, il dado si avvita sulla connessione come se fosse stretto a mano. La pressione idraulica viene quindi annullata e il tensionatore rimosso. Dado ed elemento di fissaggio sopportano ora il pieno carico, anche se potrebbe esservi un'inclusione di materiale sulle superfici della filettatura e sulle filettature del dado, con la conseguente riduzione del carico. Anche se i tensionatori idraulici forniscono un risultato costante, è necessario prestare attenzione perché gli elementi di fissaggio richiedono un carico maggiore per compensare il rilassamento generato dalla rimozione del tensionatore. Questo può creare un sovraccarico idraulico, causando lo snervamento dell'elemento (nonostante l'apparente margine di sicurezza inferiore allo 0,2% della tensione di prova) – un rischio particolarmente presente con certe leghe (come l'acciaio duplex e altre leghe in cupronichelio), in cui il vero limite elastico può essere inferiore anche del 30% al valore della tensione di prova dello 0,2%.

In alternativa, sono disponibili degli elementi con controllo di tensione pre-imposti sul carico richiesto.

Un altro modo di stringere dei bulloni di grandi dimensioni è di inserire un'asta di riscaldamento in un foro realizzato al centro del bullone. Scaldandosi, il bullone si allunga, e il dado può essere avvitato sulla connessione. L'asta viene quindi rimossa e il bullone, raffreddandosi, si espande creando tensione. Questo sistema è relativamente lento, ma ha il pregio del basso costo (p.es. le aste di riscaldamento sono meno care delle chiavi torsionometriche). Tuttavia, il riscaldamento in sé non costituisce un buon sistema per controllare una tensione specificata, e dovrebbe essere unito a uno strumento di misura dell'allungamento residuo degli elementi (p.es. i dispositivi ultrasonici), che forniranno un'accuratezza molto maggiore. Esiste anche il pericolo che le aste di riscaldamento possano alterare le caratteristiche superficiali degli elementi di fissaggio, rendendoli più suscettibili all'affaticamento e alla formazione di cricche per corrosione sotto sforzo (SCC). Se si pensa di usare le aste di riscaldamento, utilizzarne diverse allo stesso momento seguendo uno schema a croce attorno alla connessione, dare la stretta finale con un solo passaggio, misurare l'allungamento residuo dopo il raffreddamento dei bulloni e procedere a un nuovo riscaldamento e a un nuovo serraggio di quegli elementi stretti in modo non corretto.

## 6.8 Etichettatura

Durante una revisione generale dell'impianto, le squadre di manutenzione smontano e rimontano centinaia o addirittura migliaia di flange. Una volta terminata la revisione, se viene scoperta una connessione montata male è difficile, se non impossibile, scoprire la causa di fondo del malfunzionamento. Di conseguenza, molti impianti hanno adottato un sistema di etichettatura per incoraggiare gli addetti alla manutenzione a montare le connessioni con la necessaria attenzione. I sistemi di etichettatura si basano sui seguenti principi:

- per ogni addetto è prevista una particolare identificazione (numero e/o lettere)
- a ogni addetto viene consegnato un certo numero di etichette metalliche o in plastica con impresso il suo codice d'identificazione
- su ogni connessione revisionata e ri-assemblata va applicata un'etichetta per mezzo di un cavetto o di una corda

- le etichette possono variare per ogni revisione, p.es passare dalla plastica al metallo, cambiare colore o forma, eccetera.

In questo modo, quando l'impianto viene riavviato i responsabili saranno in grado di stabilire da quale addetto è stata assemblata ogni connessione. Ovviamente, un addetto dal rendimento carente saprà di poter essere identificato, e cercherà di prestare più attenzione. Altri risvolti positivi sono l'introduzione di un certo grado di competitività tra le varie squadre e l'identificazione sia di quegli addetti che necessitano di addestramento in uno o più aspetti del lavoro che degli operatori particolarmente capaci – che eventualmente possono addestrare gli altri.

Ma l'etichettatura è anche utile per identificare le guarnizioni qualitativamente scadenti. Difatti, con le etichette che variano da una revisione all'altra è anche facile identificare la data di assemblaggio.

### 6.9 Serraggi successivi

Per la maggior parte dei materiali utilizzati negli assiemi flangiati (tra cui le guarnizioni, gli elementi di fissaggio, i dadi e le rondelle), il rilassamento ha inizio dopo un periodo relativamente breve. Con i materiali morbidi, uno dei fattori principali è in genere il rilassamento per deformazione della guarnizione. Questi effetti si accentuano a temperature elevate, con il risultato che il carico di compressione sulla guarnizione si riduce aumentando il rischio di perdite. Di conseguenza, molti responsabili d'impianto raccomandano di stringere nuovamente gli elementi di fissaggio (riportandoli alla coppia nominale) dopo 24 dall'assemblaggio iniziale, quindi dopo 48 ore e infine dopo 72 ore. Attenzione: stringere sempre gli elementi di fissaggio a temperatura ambiente! In ogni caso, questo è un argomento che solleva parecchie discussioni. Sicuramente va prestata molta attenzione quando si riportano alla coppia nominale gli elementi di fissaggio per 2 o 3 volte, in quanto la guarnizione potrebbe danneggiarsi. Questo assume particolare importanza in caso di guarnizioni con aree di tenuta relativamente limitate, in quanto la sollecitazione sulla guarnizione può essere notevole e pertanto vicina al limite di sopportazione del materiale.

I materiali per guarnizioni di tipo «it» con base elastomerica si induriscono continuamente durante il servizio, specialmente all'avviamento quando viene raggiunta la temperatura d'esercizio. Una volta indurite, le guarnizioni possono diventare friabili e passibili di rottura sotto un carico eccessivo, e questo riguarda soprattutto i materiali a base elastomerica senza amianto. È impossibile prevedere i tempi di infragilimento delle guarnizioni, in quanto dipende dalla temperatura dell'applicazione e dalla composizione della guarnizione. Per cui, consultare sempre il produttore della guarnizione sull'opportunità e le modalità dei serraggi successivi. Tuttavia, come regola generale, si può affermare:

- ☑ Evitare di stringere nuovamente una guarnizione a base di materiali elastomerici senza amianto che è stata esposta ad alte temperature.

## 7.0 Procedure di smontaggio

Molte installazioni industriali hanno elaborato delle procedure estremamente particolareggiate per l'installazione e l'assemblaggio delle connessioni flangiate, ma non dedicano eguale attenzione alle sfide e alle difficoltà dello smontaggio. Questo capitolo descrive alcuni accorgimenti da osservare. Prima di iniziare a rimuovere gli elementi di fissaggio, accertarsi che la linea sia depressurizzata. Operare con cautela anche in caso affermativo, in quanto la filtrazione potrebbe aver riformato un certo livello di pressione. Un assieme flangiato chiuso contiene un enorme quantitativo di energia elastica. In effetti, la connessione è una molla trattenuta e compressa dagli elementi di fissaggio. Se gli elementi vengono rimossi uno a uno, l'energia racchiusa nella connessione può iniziare a caricare gli elementi rimasti. Questo può avere l'effetto di distorcere la flangia, e può danneggiarne le superfici. In alcuni casi, i pochi elementi di fissaggio rimasti saranno irrimediabilmente danneggiati o fratturati dallo sforzo effettuato per tenere assieme la connessione in espansione. Se in passato si sono avuti dei problemi dovuti a uno smontaggio troppo casuale della connessione, la cosa migliore da farsi è invertire la procedura utilizzata per l'assemblaggio.

- Allentare i bulloni seguendo uno schema a croce
- utilizzare diversi passaggi – allentare parzialmente ogni elemento di fissaggio prima di iniziare il passaggio successivo
  - allentare gradualmente i dadi senza rimuoverli
  - rimuovere i dadi solo quando gli elementi di fissaggio sono allentati al punto da poter verificare visivamente le condizioni della guarnizione
    - maneggiare con cura le flange e gli elementi di fissaggio, in modo da non danneggiarli
    - per rimuovere gli eventuali residui della vecchia guarnizione dalle superfici a contatto delle flange, utilizzare un utensile idoneo come una spazzola o un punteruolo d'ottone, o comunque di un materiale più morbido di quello utilizzato per la flangia.

Questi passaggi possono risparmiare fatica e lavoro quando si dovrà riassemblare la connessione. Tener sempre presente l'aspetto sicurezza. Potrebbero esservi dei rischi potenziali? Controllare sempre accuratamente, e chiedersi:

- cosa può accadere se la flangia è ancora sotto pressione?
- cosa può accadere se la linea contiene ancora del gas o del liquido?
- la tubazione potrebbe spostarsi di scatto una volta allentati gli elementi di fissaggio?
  - il carico può ruotare verso gli operatori?

Se vi sono delle difficoltà ad allentare la connessione a causa dello stiramento dei dadi e degli elementi di fissaggio, si possono utilizzare diversi approcci (anche se non tutti con successo).

- Se possibile, tranciare il dado – oppure usare degli approcci meno pratici come:
  - usare la tintura di iodio come soluzione penetrante (pulire bene dopo l'uso)
  - usare altri acidi leggeri come soluzioni penetranti (pulire bene dopo l'uso)
  - riscaldare o raffreddare l'elemento di fissaggio
  - saldare un dado all'estremità del prigioniero e usarlo come «testa» per migliorare la presa
    - se nessun approccio sempre funzionare, tagliare gli elementi di fissaggio o estrarli con il trapano (prestare attenzione a minimizzare i danneggiamenti alla flangia).

### 7.1 Composti di giunzione

Dopo un lungo periodo sotto carico a pressioni e temperature elevate, i materiali della guarnizione tendono ad aderire alla flangia come conseguenza di interazioni superficiali tra la guarnizione e i materiali della flangia. Per questo motivo è spesso difficile rimuovere la guarnizione dalla flangia quando la connessione viene aperta, oppure la guarnizione si sgretola e pezzi di materiale aderiscono alle superfici a contatto di entrambe le flange. Per prevenire questi inconvenienti sono stati introdotti sul mercato diversi composti di «giunzione» da applicare alle superfici delle flange. Tuttavia, questi composti hanno alcuni seri inconvenienti:

- un composto di giunzione presente tra le superfici a contatto di flangia e guarnizione eserciterà un effetto lubrificante sulla connessione, facilitando quindi l'estruzione delle guarnizioni morbide durante il servizio
- talvolta questi composti non sono compatibili con il materiale della guarnizione, e potrebbero ridurre in modo sostanziale le prestazioni e la durata della guarnizione, oppure corrodere le superfici delle flange o gli elementi di fissaggio.

Per questi motivi, i composti di giunzione non vanno utilizzati! Un'opzione molto migliore per facilitare la rimozione è l'impiego di guarnizioni morbide con rivestimento antiaderente applicato direttamente dal produttore. Infatti, questi rivestimenti assicurano una piena compatibilità con il materiale della guarnizione e una lubrificazione minima della connessione. In alternativa, utilizzare delle guarnizioni composte da materiali antiaderenti, per esempio le guarnizioni in PTFE.

- Non utilizzare composti di giunzione
- usare delle guarnizioni morbide con rivestimento antiaderente applicato dal produttore.

## 8. Raccomandazioni chiave

Presentiamo qui un riassunto delle raccomandazioni principali presenti in questo documento, elencate a seconda dei vari paragrafi. Per approfondimenti, consultare il relativo paragrafo indicato tra parentesi [...].

### [3] **Panoramica del sistema flangia/bullone/guarnizione. La capacità di tenuta dipende da:**

- selezione dei corretti componenti e loro idoneità all'applicazione
- attenta preparazione, pulizia, installazione e assemblaggio
- corretto serraggio e carico dei bulloni.

### [4] **Disposizioni di flange e guarnizioni:**

- è importante selezionare il corretto materiale della guarnizione rispetto alla finitura della flangia
- mai utilizzare un numero di bulloni inferiore a quello progettato per la flangia.

### [4.3] **Quando si selezionano gli elementi di fissaggio (bulloni o prigionieri):**

- selezionare degli elementi con una resistenza allo snervamento sufficiente ad assicurarne la permanenza nei limiti elastici al carico richiesto
- i bulloni o i prigionieri devono avere lo stesso modulo di elasticità
- assicurarsi che gli elementi non presentino tracce di corrosione
- mai riutilizzare gli elementi di fissaggio.

### [4.4] **Quando si selezionano i dadi:**

- selezionare dadi con un carico di prova maggiore del 20% rispetto al limite di resistenza degli elementi di fissaggio.

### [4.5] **Rondelle:**

- usare sempre le rondelle
- utilizzare rondelle dello stesso materiale dei dadi.

### [5] **Selezione della guarnizione:**

- utilizzare sempre delle guarnizioni di qualità realizzate da produttori conosciuti, poiché il costo di una guarnizione è minimo rispetto al costo di un arresto non preventivato o agli inconvenienti che derivano dal mancato rispetto di norme prudenziali e di sicurezza.

### [5.3] **Selezione dello spessore:**

- assicurarsi che la guarnizione sia sottile il più possibile.

### [5.4] **Taglio delle guarnizioni:**

- utilizzare un buon taglierino
- mai cercare di tagliare una guarnizione percuotendola contro la flangia
- assicurarsi che la guarnizione abbia le dimensioni specificate
- tagliare fori per i bulloni leggermente più larghi del diametro del gambo del bullone
- assicurarsi che il diametro interno della guarnizione non sia inferiore al diametro interno della linea di processo.

### [5.5] **Immagazzinaggio di guarnizioni e di materiali per guarnizioni:**

- immagazzinare in un luogo fresco e asciutto, lontano dalla luce solare e da acqua, olio e prodotti chimici
- i materiali in fogli vanno immagazzinati in piano (distesi)
- le guarnizioni non vanno mai appese, ma immagazzinate in piano. Le guarnizioni a spirale di grande diametro vanno immagazzinate in posizione orizzontale

- le guarnizioni devono essere pulite e prive di danneggiamenti meccanici. L'immagazzinaggio ideale è in buste di polietilene chiuse.

**[5.6] Trattamento delle guarnizioni e dei materiali per guarnizioni:**

- trasportare le guarnizioni con cautela e possibilmente in un involucro protettivo
- non piegare o deformare le guarnizioni
- non danneggiarne la superficie in alcun modo
- le guarnizioni metalliche e semi-metalliche di grande diametro vanno trasportate sul luogo d'installazione chiuse nelle loro confezioni.

**[5.7] Riutilizzo di guarnizioni/elementi di fissaggio:**

- mai riutilizzare le guarnizioni e/o gli elementi di fissaggio.

**[6.3] Procedure di assemblaggio, ispezione visiva:**

- sostituire i componenti difettosi con una valida alternativa. Chiedere in caso di dubbio.

**[6.4] Lubrificazione:**

- lubrificare la filettatura degli elementi e tutte le superfici sottoposte a carico (parte inferiore della testa dei bulloni, dadi, rondelle)
- utilizzare solo i lubrificanti specificati o approvati
- applicare il lubrificante in modo omogeneo, creando uno strato sottile e uniforme
- assicurarsi che il lubrificante non contamini le superfici a contatto di flange e guarnizioni
- evitare la contaminazione del lubrificante immagazzinandolo in un contenitore sigillato. Dopo l'uso, immagazzinare in un'area pulita.

**[6.5] Installazione e centraggio della tenuta:**

- inserire con cautela la guarnizione tra le flange per prevenire danneggiamenti alle superfici della guarnizione
- per guarnizioni a spirale di grande diametro, posizionare la guarnizione sulla flangia mantenendola nel suo supporto, rimuovere le cinghie di sicurezza, quindi spostare la guarnizione dal suo supporto alla flangia con un numero di persone appropriato per evitare di danneggiarla
- assicurarsi che la guarnizione sia posizionata centralmente sulla flangia
- non utilizzare nastro adesivo per assicurare la guarnizione sulla flangia. Se necessario per l'installazione, applicare piuttosto un leggero spruzzo di spray adesivo
- non utilizzare composti di giunzione o agenti per la rimozione
- allineare i componenti della connessione (tra cui le flange e la guarnizione) ed ispezionarli visivamente per accertarsi che siano posizionati a dovere
- quando si uniscono le flange, prestare attenzione a non «pizzicare» o danneggiare altrimenti la guarnizione.

**[6.7] Schema di serraggio dei dadi:**

- utilizzare sempre una chiave torsiometrica o un altro dispositivo a tensionamento controllato, e accertarsi che sia stato calibrato di recente
- stringere sempre i dadi seguendo uno schema di serraggio incrociato.

**[6.7] Stringere sempre con un minimo di 5 passaggi:**

- passaggio n. 1: stringere i dadi a mano seguendo uno schema incrociato, quindi stringerli tutti a fondo (sempre a mano)
- passaggio n. 2: con una chiave torsiometrica, stringere fino al 30% della

coppia raccomandata seguendo uno schema incrociato, quindi accertarsi che la flangia comprima la guarnizione in modo uniforme

- passaggio n. 3: stringere fino al 60% della coppia raccomandata, sempre seguendo lo schema incrociato
- passaggio n. 4: stringere fino a raggiungere la coppia raccomandata seguendo lo schema incrociato
- passaggio n. 5: verifica a piena coppia di tutti gli elementi di fissaggio, stringendo per dadi adiacenti in senso orario.

**[6.9] Serraggi successivi:**

- evitare di stringere nuovamente una guarnizione a base di materiali elastomerici senza amianto che è stata esposta ad alte temperature.

**[7.1] Procedure di smontaggio:**

- non utilizzare composti di giunzione
- usare delle guarnizioni morbide con rivestimento antiaderente applicato dal produttore.

## 9. Suggerimenti per minimizzare i problemi alla connessione

La presenza di problemi nell'assieme flangia/elementi di fissaggio/guarnizione può limitare notevolmente la capacità di tenuta della connessione. Questo comporta in genere la presenza di perdite dalla connessione, che possono essere praticamente impercettibili all'inizio e crescere con il tempo oppure dar luogo a un improvviso e irrimediabile malfunzionamento. In ogni caso, le perdite si verificano in genere quando gli elementi di fissaggio mancano di eseguire la loro funzione di serraggio poiché sono troppo allentati, ma occasionalmente possono verificarsi anche per il serraggio eccessivo dei dadi.

Presentiamo qui un elenco – certamente incompleto – dei malfunzionamenti e delle loro cause, facendo presente che elenchi più completi possono essere consultati su un gran numero di pubblicazioni.<sup>5</sup>

### 9.1 Malfunzionamenti dovuti agli elementi di fissaggio

Gli elementi di fissaggio allentati rappresentano la causa più comune dei malfunzionamenti alle connessioni. Le cause di fondo possono essere:

- assemblaggio non corretto
- deterioramento dell'elemento
- autoallentamento
- affaticamento/rilassamento con il tempo.

D'altro canto, un elemento di fissaggio troppo stretto – in genere per l'eccessivo entusiasmo di qualche installatore durante l'assemblaggio – può provocare il malfunzionamento della connessione perché il carico eccessivo ha:

- frantumato la guarnizione
- contribuito alla formazione di cricche per corrosione sotto sforzo
- aumentato l'affaticamento.

La rottura dell'elemento di fissaggio avviene quando il carico applicato supera il limite di resistenza dell'elemento o della filettatura, oppure per un certo numero di motivi come:

- mancato rispetto delle specifiche progettuali (rottura durante l'assemblaggio o ad alte temperature)
- serraggio eccessivo durante l'assemblaggio
- corrosione
- formazione di cricche per corrosione sotto sforzo
- affaticamento.

### 9.2 Malfunzionamento dovuto alla guarnizione

Le cause possono essere molteplici, tra cui:

- la guarnizione selezionata non è idonea al tipo di applicazione
- selezione di uno spessore errato, soprattutto in caso di guarnizioni morbide
- picchi di funzionamento esterni alla normale curva operativa o presenza di momento flettente sulle tubazioni
- guarnizione danneggiata durante l'immagazzinaggio, il trattamento o l'installazione
- rottura della guarnizione per carico eccessivo applicato durante l'assemblaggio
- deterioramento per invecchiamento
- riutilizzo
- serraggi successivi dopo l'esposizione ad alte temperature d'esercizio.

### 9.3 Malfunzionamento dovuto alle flange

È piuttosto insolito, ma può verificarsi a causa di:

- danneggiamento superficiale
- deformazione delle flange
- flange non parallele
- corrosione
- flange non pulite all'assemblaggio.

### 9.4 Minimizzare le possibilità di malfunzionamento della connessione

Osservando l'elenco delle possibili cause di malfunzionamento della connessione, risulta chiaro che la selezione dei corretti materiali per l'applicazione è di fondamentale importanza. Assicurarsi che tutti i componenti della connessione siano compatibili tra loro e con le condizioni che dovranno affrontare durante il servizio e lasciare un margine di sicurezza extra, in caso le condizioni d'esercizio dovessero superare i limiti previsti nella curva di funzionamento dell'impianto (i cosiddetti «picchi» o «escursioni»). Seguire le raccomandazioni presenti in questo documento sull'immagazzinaggio, il trattamento e il taglio (dove appropriato) delle guarnizioni.

Seguire le raccomandazioni sul livello di pulizia e sull'ispezione visiva per assicurarsi che i componenti della connessione siano privi di difetti e pronti per l'uso. L'elenco soprastante pone anche l'accento sulla necessità di seguire le corrette procedure di assemblaggio. Se la connessione non viene assemblata con l'attenzione necessaria, difficilmente garantirà una buona tenuta. Assicurarsi che gli operatori abbiano un addestramento sufficiente nelle procedure di assemblaggio e che siano stati istruiti sulle difficoltà che dovranno affrontare sul posto. Seguire le raccomandazioni fornite per l'installazione, l'assemblaggio e il serraggio dei dadi. La corrosione è una delle sfide più comuni del settore. Può influenzare l'integrità della forza di compressione e ridurre la durata dei componenti della connessione. Si verifica con la presenza contemporanea di quattro fattori:

- un anodo
- un catodo
- un elettrolita
- un collegamento elettrico tra l'anodo e il catodo.

In assenza di uno di questi fattori, non si verifica corrosione. Una soluzione è di mantenere l'area asciutta tramite dei fori di drenaggio (non sempre è possibile), o più comunemente di scegliere degli elementi di fissaggio realizzati in materiali anticorrosione. La soluzione più diffusa, tuttavia, è di applicare un rivestimento protettivo sugli elementi di fissaggio e/o sulle flange. La formazione di cricche per corrosione sotto sforzo (SCC) è il risultato di una combinazione tra sforzo e attacco elettrochimico. Basta l'umidità atmosferica o un dito sporco per iniziare l'SCC. Si tratta di una forma specifica di corrosione, e richiede:

- un materiale suscettibile
- un elettrolita
- un difetto iniziale
- un livello di sollecitazioni superiore a una certa soglia.

Tutti gli elementi di fissaggio metallici sono suscettibili di SCC in presenza di determinate condizioni, ma il problema può essere in gran parte minimizzato con un idoneo trattamento termico. Come per la corrosione, la presenza di un idoneo rivestimento (alluminio, ceramica, grafite) sugli elementi di fissaggio può minimizzare il contatto con l'elettrolita. In ogni caso, il controllo delle sollecitazioni è il modo più co-

mune di ridurre l'SCC: pertanto, mantenere il livello delle sollecitazioni sugli elementi di fissaggio sotto un certo limite (specifico per tipo di materiale). L'affaticamento è generato dal tempo e richiede:

- un materiale suscettibile
- livelli di sollecitazione superiori allo specifico limite di resistenza
- ciclici sforzi da trazione
- un difetto iniziale.

In generale, a carichi maggiori corrisponde un affaticamento più rapido. Il fattore che generalmente gioca il ruolo maggiore nella riduzione dell'affaticamento sulla connessione è la riduzione dei picchi di carico. Pertanto, identificare e applicare il corretto precarico sugli elementi di fissaggio. Notare la differenza nel precarico massimo tra gli elementi di fissaggio filettati con rulli e quelli lavorati. Anche, è bene sostituire periodicamente gli elementi di fissaggio prima del loro deterioramento (è consigliabile prendere nota del tempo medio tra i malfunzionamenti, quindi ridurre questo intervallo in modo significativo in modo da avere un buon margine di sicurezza). L'ideale, tuttavia, è sostituire gli elementi di fissaggio ogni volta che si riassume la connessione. L'autoallentamento si verifica in genere in presenza di vibrazioni, e richiede:

- la presenza di un movimento relativo tra i componenti dell'elemento di fissaggio, quelli della connessione e il dado
- carichi ciclici perpendicolari all'asse dell'elemento di fissaggio.

I rimedi più frequenti consistono nella prevenzione dello scorrimento tra l'elemento di fissaggio, il dado e/o i componenti della connessione tramite dadi o rondelle autobloccanti, oppure tramite l'applicazione di adesivi.

## 10. Aspetti legati alla sicurezza e alla salute

Per la produzione dei materiali delle guarnizioni sono state usate una gran varietà di fibre, e le fibre di amianto sono state tra le prime e tra le più comuni. Tuttavia, il crescere dell'esperienza ha consentito di attribuire un certo numero di patologie all'esposizione a determinate fibre. Tra queste patologie segnaliamo:

- fibrosi polmonari interstiziali diffuse (p.es. l'asbestosi)
- tumori maligni (p.es. il mesotelioma maligno)
- disturbi pleurali benigni (p.es. le placche pleurali e l'ispessimento diffuso della pleura).

I gravi effetti sulla salute dell'esposizione continua alle polveri di amianto sono stati ben documentati e hanno portato all'emissione di leggi sempre più restrittive sull'uso di questo materiale. Nonostante sia chiaro che gli effetti sulla salute variano in modo sensibile da un tipo di fibre all'altra (e persino tra le diverse fibre di amianto), gli effetti sulla salute di molte alternative costituite da fibre naturali e artificiali sono stati sempre più studiati negli ultimi decenni. In termini di Legislazione Europea sull'uso dell'amianto, le iniziative di certi Stati Membri per limitare la vendita e l'impiego di questo materiale sono state seguite dall'adozione di parecchie Direttive, tra cui le Direttive 83/478 EEC, 85/610 EEC e 91/659 EEC. Inoltre, le Direttive 83/477 EEC e 91/382 EEC regolamentano l'uso dell'amianto nei luoghi di lavoro.

Nonostante le preoccupazioni sopra riportate, i processi di polimerizzazione e legatura adottati durante la produzione di materiali per guarnizioni fibrosi o rinforzati con fibre fanno sì che oggi questi materiali vengano considerati innocui per la salute umana e perfettamente sicuri. In normali condizioni di trattamento e utilizzo, è molto improbabile che questi prodotti possano provocare un alto livello di esposizione ai loro costituenti. Le fibre sono generalmente incapsulate in un legante elastomerico (o sono polimerizzate a loro volta), e pertanto non possono entrare nel corpo umano sotto forma di polveri. Tuttavia, in presenza di difficili condizioni meccaniche (p.es. stampaggio o abrasione ad alta velocità), o se il prodotto è diventato fragile per l'alta temperatura di servizio, i costituenti possono formare delle polveri irritanti in grado di dare origine a seri problemi respiratori nei casi di prolungata esposizione. Pertanto, a prescindere dal tipo di fibre si raccomanda di trattare i materiali fibrosi per guarnizioni con la necessaria attenzione, in modo da prevenire la formazione di polveri. Operare con cautela anche durante la rimozione di una vecchia guarnizione dalle flange. Durante il taglio delle guarnizioni dai fogli di materiale vanno attentamente osservate le precauzioni igieniche indicate, e gli scarti di materiale vanno smaltiti esclusivamente tramite il trasferimento in luoghi appositamente attrezzati per il trattamento di questo tipo di materiali. Nonostante l'inerente resistenza ignifuga delle fibre di rinforzo e dei riempitivi, in molti casi le alte temperature o la bruciatura prolungata generano dei fumi irritanti che talvolta possono risultare pericolosi o tossici per la salute.

### ► *Materiali contenenti amianto.*

I materiali per guarnizioni che contengono fibre di amianto possono generare delle polveri nocive in presenza di condizioni meccaniche difficili o se il prodotto è diventato fragile. L'esposizione prolungata a queste polveri può dar origine a malattie come l'asbestosi, il cancro ai polmoni e il mesotelioma. L'amianto è classificato dalla IARC nel Gruppo 1, cioè tra quei materiali «di cui è sufficientemente provato l'effetto cancerogeno sugli esseri umani». L'esposizione all'amianto per motivi di lavoro va quindi minimizzata e mantenuta ben al di sotto dei limiti nazionali di esposizione.

► *Materiali rinforzati con fibre diverse dall'amianto.*

Questi materiali comprendono l'aramide, il carbonio, la cellulosa, il vetro e le fibre artificiali (MMMF), mentre tra i materiali di riempimento abbiamo il solfato di bario, i cristalli di silice e il caolino. La maggior parte hanno una buona resistenza ignifuga (ma non la cellulosa). Alcune di queste fibre (in genere di diametro specifico) possono causare irritazioni sulle pelli sensibili. Nonostante la maggior parte di questi materiali siano considerati non pericolosi, alcuni sono controversi o sono stati classificati dalla IARC (p.es. le MMMF sono state classificate nel gruppo 2B, cioè «possibilmente cancerogene per gli esseri umani»). L'esposizione a queste fibre per motivi di lavoro va quindi minimizzata e mantenuta ben al di sotto dei limiti nazionali di esposizione.

► *Materiali contenenti grafite.*

La grafite è altamente reattiva in condizioni ossidanti, e può bruciare. In presenza di temperature elevate o di bruciature prolungate, può generare dei fumi tossici. Inoltre è un materiale conduttivo: la polvere o i frammenti non devono quindi penetrare nei macchinari o nei circuiti elettrici.

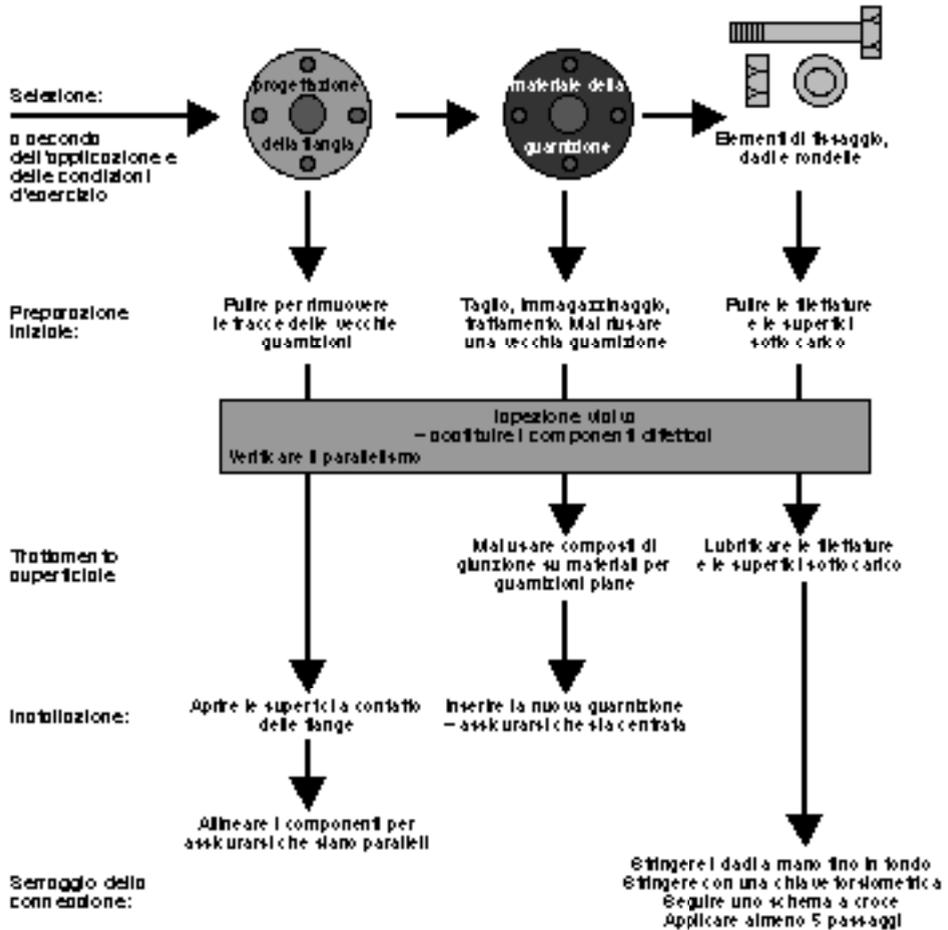
► *Materiali contenenti PTFE.*

Anche se questi materiali sono in genere ignifughi, in presenza di alte temperature o di bruciatura prolungata si decompongono dando origine a fumi irritanti e, in qualche caso, a fumi nocivi o tossici.

- Interpellare sempre il produttore per suggerimenti specifici sull'impiego di questi materiali.

### 11. Schema riassuntivo

Proponiamo qui uno schema riassuntivo delle considerazioni e delle raccomandazioni necessarie per ottenere una buona capacità di tenuta.



## 12. Panoramica delle raccomandazioni

Fase	Flangia	Guarnizione	Elemento di fissaggio
<b>Selezione</b>	Selezionare il tipo di flangia più adatto all'applicazione	Selezionare la guarnizione più adatta alla flangia e al tipo di applicazione: <ul style="list-style-type: none"> <li>• usare sempre una guarnizione di buona qualità realizzata da un produttore conosciuto</li> <li>• per guarnizioni piane, non usare composti di giunzione</li> <li>• per guarnizioni morbide selezionare lo spessore più idoneo</li> </ul>	Selezionare l'elemento più adatto per fornire il carico appropriato su flangia e guarnizione: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sufficiente duttilità</li> <li>• stesso modulo elastico</li> <li>• dadi con carico di prova superiore del 20%</li> <li>• usare sempre le rondelle</li> </ul>
<b>Preparazione iniziale</b>	Pulire le cave per rimuovere ogni traccia della precedente guarnizione: <ul style="list-style-type: none"> <li>• spazzola metallica</li> <li>• punteruolo di ottone</li> </ul>	Tagliare la guarnizione: <ul style="list-style-type: none"> <li>• usare un buon tagliarino</li> <li>• assicurarsi che le dimensioni della guarnizione siano corrette</li> <li>• mai riutilizzare le guarniz.</li> </ul>	Pulire gli elementi, i dadi e le rondelle: <ul style="list-style-type: none"> <li>• usare una spazzola metallica per rimuovere lo sporco dalle filettature e da tutte le superfici sotto carico</li> </ul>
<b>Immagazzin. e trattamento</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservare in luogo fresco e asciutto</li> <li>• Conservare al riparo dalla luce solare diretta</li> <li>• Conservare in piano e rimuovere dall'imballaggio solo prima dell'uso</li> <li>• Non appendere</li> <li>• Non piegare o deformare</li> <li>• Non danneggiare le superfici</li> </ul>	
<b>Ispezione visiva</b>	Controllare le cave per eventuali difetti, come abrasioni radiali o deformazioni <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostituire i componenti</li> </ul>	Accertarsi che la guarniz. sia adatta all'applicazione, che abbia le dimensioni e lo spessore specificati e che sia priva di difetti difettosi con valide alternative	Accertarsi che le filettature siano prive di difetti, come sbavature o incrinature
<b>Lubrificazione</b>		Non usare composti di giunzione su guarnizioni piane	Lubrificare le filettature e tutte le superfici sotto carico: <ul style="list-style-type: none"> <li>• usare solo lubrificanti approvati</li> <li>• applicare in modo omogeneo e uniforme</li> </ul>
<b>Installazione</b>	Aprire le superfici a contatto delle flange: <ul style="list-style-type: none"> <li>• allineare i componenti per assicurarsi che le superfici a contatto siano parallele</li> </ul>	Inserire con cautela la guarnizione tra le flange: <ul style="list-style-type: none"> <li>• assicurarsi che la guarnizione sia centrata tra le flange</li> </ul>	
<b>Serraggio finale</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stringere i dadi a mano fino in fondo</li> <li>• Stringere con una chiave torsionometrica</li> <li>• Seguire uno schema a croce</li> <li>• Applicare almeno 5 passaggi.</li> </ul>

### 13. Reference

- 1 – *"USA Regulations of Fugitive Emissions"*; (ESA Report N° 003/94), published by European Sealing Association, June 1994.
- 2 – *"European Emissions Legislation"*; (ESA Report N° 004/95), published by European Sealing Association, April 1995.
- 3 – *"Glossary of Sealing Terms, Part 1, Flanges and Gaskets"*; (ESA Publication N° 008/97), published by European Sealing Association, November 1997.
- 4 – *"Seals and Sealing Handbook"*; 4th Edition, edited by M. Brown, published by Elsevier Advanced Technology, 1995 (ISBN 1 85617 232 5).
- 5 – *"An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints"*; 3th Edition, by John H. Bickford, published by Marcel Dekker Inc., 1995, (ISBN 0 8247 9297 1).
- 6 – *"The importance of high integrity bolted joints for engineering pipelines"*; by Rod Corbett, IMechE 1993 C459/030.