

Precarico e serraggio delle bullonerie

Il collegamento a vite Precarico e sollecitazioni

In un collegamento, la forza con la quale la vite, elasticamente tesa, mantiene unite le parti è chiamata "precarico". Le forze esterne che tendono a rompere il collegamento, sono chiamate "carichi" o "sollecitazioni". Possono essere di tipo **statico** quando mantengono un valore sempre costante (non variano nel tempo) oppure di tipo **dinamico o misto** quando variano nel tempo, da un valore minimo fino ad un massimo.

Regole da non dimenticare

Anche nelle costruzioni tipicamente "statiche" (come i ponti, le strutture edilizie, ecc.) in pratica, oltre ai carichi statici, sono sempre presenti anche sollecitazioni varie dovute a cause diverse: oscillazioni, vibrazioni, spinte del vento e così via. Queste sono sollecitazioni variabili, quindi "dinamiche".

Le rotture dovute alle sollecitazioni variabili (rotture a fatica) sono funzione principalmente del numero dei cicli, più che della frequenza. Anche se questa è bassa (per es. pochi cicli al minuto) col tempo si possono determinare rotture molto pericolose.

Quando le "punte" (valori massimi) del carico dinamico superano il precarico della vite è certo che questa presto o tardi si romperà. C'è un sistema solo per prevenire l'allentamento e la rottura: dare alle viti un precarico sicuramente superiore al massimo carico dinamico che dovranno sopportare. Fino a quando il carico dinamico rimane inferiore al precarico della vite, questa si comporta come se fosse caricata staticamente e non si romperà.

Conclusione

Il fattore di sicurezza non nasce su un tavolo da disegno o in un elaboratore: lo si può soltanto prevedere e calcolare. Il fattore di sicurezza "vero" si realizza all'atto del montaggio, attraverso l'applicazione del precarico. Anche la vite più robusta del mondo, si allenterà e cederà se non avremo bene applicato e controllato il suo precarico. Nessuna vite può resistere col tempo a uno sforzo superiore al suo precarico.

Gli studi più recenti hanno apportato una quantità di informazioni molto interessanti su questo argomento, grazie all'impiego di mezzi nuovi: soprattutto strumenti e apparecchi di misura e di regolazione trasduttori a circuiti elettronici.

Si devono oggi considerare tre diversi sistemi per calcolare e applicare il precarico:

- Precarico al limite di elasticità della vite.
- Precarico oltre il limite di elasticità della vite, entro il campo della deformazione permanente (deformazione plastica).
- Precarico con margine di sicurezza al di sotto del limite di elasticità della vite.

Precarico al limite di elasticità, o oltre tale limite

Con i mezzi tradizionali (chiavi dinamometriche, avvitatori ad urto) è impossibile regolare la coppia di serraggio così da portare la vite ad un allungamento corrispondente al suo limite elastico: infatti, quando la vite incomincia ad allungarsi in zona plastica, la coppia rimane pressoché costante. Quindi l'avvitatore, tarato su di un certo valore di coppia, in queste condizioni continuerà a serrare fino alla rottura. Possiamo invece precaricare la vite con buona precisione fino al suo limite elastico, oppure a un valore ben determinato oltre questo limite, usando i più recenti (e costosi!) avvitatori a regolazione elettronica.

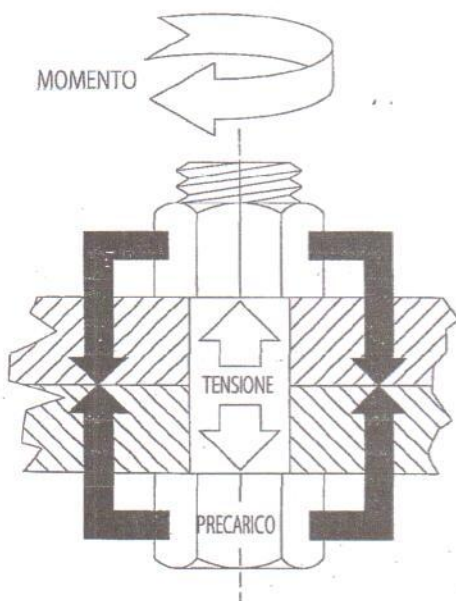
I più noti fra questi strumenti funzionano così:

Una volta avvenuto l'"assestamento" iniziale delle parti ed iniziata la fase vera e propria di precarico, l'apparecchio rileva simultaneamente, mediante trasduttori, i dati relativi alla tensione della vite ed al suo allungamento.

La tensione della vite viene rivelata misurando il progressivo incremento della forza torsionale (coppia) necessaria a girare il dado.

L'allungamento della vite viene rivelato mediante la misura angolare della rotazione del dado. Se ad es. la filettatura ha passo 2,5 mm, per ogni grado di rotazione del dado la vite avrà subito un allungamento pari a $2,51360 \sim 0,0069$ mm.

Durante la fase di allungamento elastico della vite, i due valori crescono secondo un rapporto di proporzionalità: ad ogni incremento nella rotazione del dado, aumenta la coppia necessaria a farlo ruotare. Una volta raggiunto il limite elastico (snervamento, scostamento dalla proporzionalità) questo rapporto si modifica. A questo punto, la centralina di comando che riceve i segnali dei trasduttori di forza e di rotazione, arresta l'apparecchio avvitatore.



PRECARICO E SERRAGGIO

PRECARICO E SERRAGGIO DELLE BULLONERIE

VANTAGGI

- * La precisione di precarico è assai maggiore che non con altri sistemi (vedi prospetto)
- * Il precarico del collegamento è il massimo che la vite può sopportare: quindi le caratteristiche meccaniche della vite sono sempre sfruttate al meglio.
- * A parità di altre condizioni, si realizza la massima sicurezza possibile contro i pericoli di allentamento e rotture a fatica
- * Ogni vite e ogni dado sono automaticamente collaudati all'atto del montaggio. Infatti possiamo predisporre lo strumento così che dia un allarme quando l'arresto dell'avvitatore avviene in condizioni anormali o, come si dice, fuori della "zona verde" (per es. per vite o dado difettosi o di classe sbagliata, filettatura incompleta, ecc.).

METODO DI SERRAGGIO

PRECISIONE DEL PRECARICO MEDIAMENTE OTTENIBILE IN CONDIZIONI NORMALI (ordine di grandezza)

Manuale	$\pm 35\%$
Con chiave dinamometrica normale	$\pm 25\%$
Con chiave dinamometrica di precisione ed esecuzione del serraggio molto accurata	$\pm 20\%$
Pre-serraggio con chiave dinamometrica fino a un valore di soglia, e poi rotazione del dado controllata sullo spostamento angolare	$\pm 15\%$
Serraggio con apparecchi a regolazione elettronica	$\pm 6-8\%$

PRECARICO CON MARGINE DI SICUREZZA AL DI SOTTO DEL LIMITE ELASTICO DELLA VITE

E' il sistema tradizionale, e si applica quando, in mancanza di meglio, sono disponibili solo apparecchi semplici e poco costosi: chiavi dinamometriche, avvitatori elettrici o elettropneumatici ad impulsi, ecc.

Si regola l'apparecchio su di una coppia tale da applicare alla vite un carico assiale pari ad una certa percentuale (per es. il 70%) del carico di snervamento che corrisponde alla sezione resistente ed alla classe della vite.

Il precarico è dato dalla formula:

$$1) \quad P = R_s \cdot S_r \cdot C$$

dove:

P è il precarico assiale in newton (N)
 R_s è il carico unitario di snervamento della vite

S_r è la sezione resistente della vite, in mm² (vedi prospetto a pag. IT.48 penultima colonna)

C è il coefficiente di riduzione, o "coefficiente di utilizzazione del carico di snervamento". Ad es. per una utilizzazione del 70% abbiamo $C = 0,7$.

Naturalmente, per le viti bonificate (classe 8.8 e superiori) in luogo di R_s si utilizza il valore $R_{p(0,2)}$ o carico unitario di scostamento dalla proporzionalità allo 0,2%.

LA COPPIA DI SERRAGGIO

All'atto del serraggio, circa il 40% dell'energia è speso per vincere la resistenza di attrito della filettatura, ed il 50% l'attrito che si manifesta nei piani di appoggio sottotesta. Solo il 10% è quindi effettivamente impiegato per mettere la vite in tensione.

Conseguenza: un errore anche piccolo nella stima degli attriti è sufficiente a determinare una grande variazione nel precarico applicato. Per di più gli attriti presentano coefficienti differenti da caso a caso, sono difficili da determinare con buona approssimazione e variano in misura notevole per fattori diversi: ammaccature dei filetti, variazioni nella lubrificazione, e così via. Si possono così avere grandi variazioni anche con avvitatori di precisione ben regolati.

Come tutto questo non bastasse, anche la velocità di avvitamento ha la sua importanza. Un avvitatore veloce applica un precarico superiore a un avvitatore lento e regolato sullo stesso valore di coppia.

UN METODO PRATICO E UNA FORMULA SEMPLICE

Per un calcolo della coppia sono state elaborate varie formule matematiche piuttosto complesse, che qui non riporteremo. Suggeriamo invece un metodo pratico e una formula semplificata.

METODO PRATICO PER REGOLARE GLI AVVITATORI: PROVA DI ROTTURA DEL BULLONE

Il vantaggio di questo metodo sta nel fatto che la prova si fa con lo stesso attrezzo che verrà poi usato nel lavoro di serie e nelle identiche condizioni di impiego: pressione d'aria per gli avvitatori pneumatici, lubrificazione dei bullone, qualità di superficie dei piani sottotesta, ecc.

Ecco come fare. Si regola l'avvitatore a valori di coppia progressivamente crescenti fino alla rottura della vite. Si ripete la prova su di un certo numero di pezzi (lotto campione) e si rileva quale è il minimo valore di coppia che produce la rottura. Si regola poi l'avvitatore per una coppia pari al 50-60% di questo valore. In queste condizioni, il gambo del bullone verrà sollecitato mediamente al 60-70% del suo carico limite di elasticità durante il serraggio.

FORMULA SEMPLIFICATA PER CALCOLARE LA COPPIA DI SERRAGGIO DI VITI UNIFICATE CON FILETTATURA METRICA ISO

$$M = \frac{d \cdot P \cdot K}{100}$$

dove:
M è il momento torcente (coppia di serraggio) in newton-metro (N · m)
d è il diametro nominale di filettatura in millimetri
P è il precarico assiale in newton che intendiamo dare alla vite
K è un coefficiente globale, che tiene conto dei coefficienti di attrito sulla filettatura e sui piani di appoggio, e dei coefficienti di forma della vite: rapporto diametro-passo (e quindi angolo d'elica della vite) dimensioni della testa e così via.
Non è da confondere con il coefficiente di attrito (simbolo: μ).

Se consideriamo tutte le variabili che si possono presentare, si dovrà tenere conto di tanti fattori come:

- Precisione di lavorazione, rugosità e durezza delle filettature e dei piani di appoggio
- Condizioni delle superfici: eventuale cadmiatura, fosfatazione, nichelatura, ramatura, cromatura, zincatura a caldo o elettrolitica, ecc.
- Presenza o meno di lubrificante e sua natura: olio minerale con o senza additivi antigrippanti, bisolfuro di molibdeno, oli o cere grafitate, ecc.
- Materiale della vite e del dado: acciai normalizzati per la bulloneria, acciai inossidabili, monel, inconel, ottoni, bronzi, leghe leggere, ecc.

Considerando tutto questo, il coefficiente K può assumere, nei casi estremi, valori da K = 0,12 (viti di acciaio ben lubrificate) fino a K = 0,3 (viti di acciaio inossidabile montate a secco). Una dispersione di valori enorme.

Se invece consideriamo solo le bullonerie di acciaio di impiego più corrente, annerite come fornite da fabbrica e lubrificate prima del montaggio (coefficiente di attrito $\mu = 0,14$) possiamo come ordine di grandezza considerare

$$K = 0,17 \div 0,21$$

A parità di altre condizioni, va adottato per il coefficiente K un valore più alto quanto minore è il diametro nominale delle vite e, a parità di diametro, quanto è maggiore la superficie d'appoggio sottotesta.

I valori del prospetto che riportiamo sono validi per le condizioni seguenti:

- * Viti a testa esagonale UNI 5737 e similari, viti a testa cilindrica con esagono incassato UNI 5931.
- * Coefficienti di attrito sottotesta e sui filetti $\mu = 0,14$ (viti fosfatate nere, lubrificate con olio prima del montaggio)
- * Coppia applicata gradualmente con chiavi dinamometriche, non con avvitatori ad urto.

Per condizioni diverse, varia il coefficiente K e quindi il momento di serraggio M da applicare. Si possono dare, a titolo approssimativo le seguenti indicazioni:

- * Se il serraggio viene fatto con avvitatori ad urto o a percussione, ridurre il momento M del 10%
- * Per viti cadmate, ridurre il momento M del 20%
- * Per viti a testa esagonale larga (come le UNI 5712 per carpenteria) aumentare il momento M del 5%.

PRECARICO E SERRAGGIO

PROSPETTI DEI PRECARICHI E DEI MOMENTI DI SERRAGGIO

PRECARICHI "P" E MOMENTI DI SERRAGGIO "M"

Questi prospetti sono calcolati per uno sfruttamento dei limite elastico della vite al 70% ossia per un coefficiente $C = 0,7$ secondo la formula 1) a pag. IT.46 Il momento torcente M (coppia di serraggio) è calcolato secondo la formula semplificata 2) a pag. IT.47 per viti con coefficiente di attrito $\mu = 0,14$.

I DATI DI QUESTO PROSPETTO SI RIFERISCONO A VITI DI CLASSE DI RESISTENZA 8.8

Diametro nominale	Sezione resistente S_r (mm ²)	Coefficiente K	Precarico P per viti classe 8.8 N	Momento M per viti classe 8.8 $m \cdot N$	
M 3	5,03	0,198	2550	1,5	
M 4	8,78	0,195	3930	3,1	
M 5	14,20	0,189	6360	6,0	
M 6	20,10	0,192	9000	10,4	
M 8	36,80	0,188	16400	24,6	
M 10	58,00	0,193	26000	50,1	
M 12	84,30	0,187	37800	84,8	
M 14	115,00	0,187	51500	135,0	VITI CON FILETTATURA METRICA ISO A PASSO GROSSO
M 16	157,00	0,182	70300	205,0	
M 18	192,00	0,183	86000	283,0	
M 20	245,00	0,182	110000	400,0	
M 22	303,00	0,178	136000	532,0	
M 24	353,00	0,182	158000	691,0	
M 27	459,00	0,182	206000	1010,0	
M 30	561,00	0,182	251000	1370,0	
M 8 x 1	39,20	0,185	17600	26,0	
M 10 x 1,25	61,20	0,191	27400	52,4	
M 12 x 1,25	92,10	0,183	41300	90,6	
M 14 x 1,5	125,00	0,183	56000	143,0	
M 16 x 1,5	167,00	0,179	74800	214,0	
M 18 x 1,5	216,00	0,177	96800	308,0	VITI CON FILETTATURA METRICA ISO A PASSO FINE
M 20 x 1,5	272,00	0,177	122000	431,0	
M 22 x 1,5	333,00	0,174	149000	571,0	
M 24 x 2	384,00	0,177	172000	731,0	
M 27 x 2	496,00	0,178	222000	1070,0	
M 30 x 2	621,00	0,177	278000	1480,0	

Con questi dati, possiamo calcolare subito i precarichi P ed i momenti di serraggio M per viti delle altre classi di resistenza. Infatti, questi risultano direttamente proporzionali ai rispettivi carichi unitari limite di elasticità (carico unitario di snervamento R_s per le viti non bonificate fino a classe 6.6, carico unitario di scostamento della proporzionalità $R_{p(0,2)}$ per le viti bonificate di classe 8.8 e superiori), indicati nel prospetto a pag. IT.5

Esempio n. 1

Sia da determinare il precarico da applicare ad una vite a passo grosso M 16 di classe 4.8.

Per una vite M 16 in classe 8.8, il prospetto indica un precarico P pari a 70300 newton. Sappiamo che il carico limite di elasticità per la classe 8.8 è pari a 640 N/mm².

Sappiamo che il carico limite di elasticità per la classe 4.8 è pari a 320 N/mm² ossia è pari alla metà rispetto alla classe 8.8 ($320/640 = 0,5$).

Anche il precarico da applicare sarà pari al 50% rispetto al precarico della vite classe 8.8, ossia moltiplicheremo per 0,5 il precarico della vite classe 8.8.

Avremmo così: precarico per la vite 4.8 = $70300 \cdot 320/640 = 70300 \cdot 0,5 = 35150$ N.

Esempio n. 2

Sia da determinare il momento M per una vite a passo fine M 18 x 1,5 classe 10.9.

Per una vite M 18 x 1,5 classe 8.8, il prospetto indica un momento $M = 308$ m · N. Sappiamo che il carico limite di elasticità per la classe 8.8 è pari a 640 N/mm². Sappiamo che il carico limite di elasticità per la classe 10.9 è pari a 900 N/mm², ossia è 1,4 volte rispetto alla classe 8.8 ($900/640 \sim 1,4$). Anche il momento da applicare sarà pari a 1,4 volte il momento indicato nel prospetto per la vite di classe 8.8.

Avremmo così: momento per la vite 10.9 = $308 \cdot 900/640 \sim 308 \cdot 1,4 \sim 431$ m · N.

Per facilitare il calcolo, riportiamo qui di seguito i coefficienti di moltiplicazione per le varie classi di resistenza

Classe di resistenza	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	10.9	12.9
Coefficiente per cui vanno moltiplicati i valori corrispondenti alla classe 8.8	0,375	0,500	0,469	0,625	0,562	0,750	1	1,406	1,688