

**Valori approssimativi per i coefficienti di attrito  $\mu_T$  delle superfici a contatto**

secondo VDI 2230, edizione 2015

Accoppiamento dei materiali (caso normale: stato dopo la lavorazione)	Coefficiente di attrito statico $\mu_T$ allo stato secco	
	secco	lubrificato
Acciaio – acciaio/ acciaio in getti (in generale)	da 0,1 a 0,23	da 0,07 a 0,12
Acciaio – acciaio; pulito	da 0,15 a 0,40	–
Acciaio – acciaio; cementato	da 0,04 a 0,15	–
Acciaio – ghisa grigia	da 0,11 a 0,24	da 0,06 a 0,1
Acciaio – ghisa grigia; pulito	da 0,26 a 0,31	–
Acciaio – ghisa sferoidale	da 0,1 a 0,23	–
Acciaio – ghisa sferoidale; pulito	da 0,2 a 0,26	–
Ghisa grigia – ghisa grigia	da 0,15 a 0,3	da 0,06 a 0,2
Ghisa grigia – ghisa grigia; pulito/sgrassato	da 0,09 a 0,36	–
Ghisa sferoidale – ghisa sferoidale	da 0,25 a 0,52	da 0,08 a 0,12
Ghisa sferoidale – ghisa sferoidale; pulito/sgrassato	da 0,08 a 0,25	–
Ghisa grigia – ghisa sferoidale	da 0,13 a 0,26	–
Acciaio – bronzo	da 0,12 a 0,28	0,18
Ghisa grigia – bronzo	0,28	da 0,15 a 0,2
Acciaio – lega di rame	da 0,07 a 0,25	–
Acciaio – lega di alluminio	da 0,07 a 0,28	da 0,05 a 0,18
Alluminio – alluminio	da 0,19 a 0,41	da 0,07 a 0,12
Alluminio – alluminio; pulito/sgrassato	da 0,10 a 0,32	–

Nota: a causa delle numerose variabili che influenzano il coefficiente di attrito, possono essere indicati soltanto intervalli tipici. Nella pratica il coefficiente di attrito minimo non deve corrispondere al limite inferiore del rispettivo intervallo, per cui devono essere eventualmente eseguite indagini sperimentali. Queste sono raccomandate anche nel caso di misure volte ad aumentare il coefficiente di attrito.

**Valori indicativi per il coefficiente di serraggio  $\alpha_A$  e relativi precarichi in fase di montaggio**

secondo VDI 2230, edizione 2015

Il coefficiente di serraggio  $\alpha_A$  (incertezza di montaggio) tiene conto degli errori di valutazione dei coefficienti di attrito, dispersioni dei coefficienti di attrito, del procedimento di serraggio, delle tolleranze delle apparecchiature, degli errori di manovra e delle imprecisioni degli strumenti di lettura.

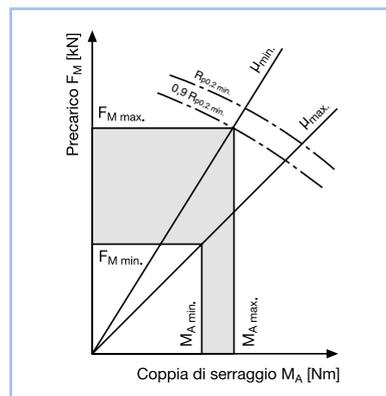
$\alpha_A$  tiene quindi conto della dispersione dei precarichi in fase di montaggio tra il valore  $F_{M \max}$  ed il valore  $F_{M \min}$ . Il dimensionamento delle viti viene effettuato in base alla coppia massima di serraggio –  $M_{A \max}$  – in modo che la vite durante il montaggio non venga sollecitata eccessivamente. Il coefficiente di serraggio  $\alpha_A$  è quindi definito come:

$$\alpha_A = \frac{\text{massimo precarico possibile in fase di montaggio } F_{M \max}}{\text{precarico minimo necessario in fase di montaggio } F_{M \min}}$$

Al giorno d'oggi anche le più semplici chiavi dinamometriche disponibili consentono di ottenere coppie di serraggio con tolleranze molto piccole. I dati normali riferiti dai produttori prevedono dispersioni massime di coppia nell'ordine  $\pm 2\%$ . Nonostante ciò i precarichi derivanti in fase di montaggio mostrano una dispersione compresa tra  $\pm 9\%$  e  $\pm 60\%$  in funzione del coefficiente di serraggio.

- I metodi di serraggio idraulici basati sulla misurazione dell'allungamento sono praticamente indipendenti dall'attrito. Il loro coefficiente  $\alpha_A$  è più basso.
- I metodi di serraggio con coppia controllata subiscono l'influenza dell'attrito: i coefficienti  $\alpha_A$  sono generalmente più elevati. Nel caso i coefficienti di attrito possano essere determinati in pratica si ottengono dispersioni ridotte e quindi coefficienti  $\alpha_A$  più bassi. Lo stesso vale per collegamenti rigidi con lunghezze di serraggio corte e per i metodi di serraggio rapidi.

Nel caso i coefficienti di attrito siano teorici, i collegamenti siano flessibili o i metodi di serraggio non siano rapidi, ad es. con avvitatori a impulsi e con il montaggio manuale, si ottengono coefficienti  $\alpha_A$  più elevati.



Coefficiente di serraggio $\alpha_A$	Dispersione $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$	Metodo di serraggio	Metodo di regolazione	Note
da 1,1 a 1,2	da $\pm 5\%$ a $\pm 9\%$	Serraggio con controllo dell'allungamento o tramite ultrasuoni	Tempo di propagazione del suono	<ul style="list-style-type: none"> <li>– sono necessari i valori di calibrazione</li> <li>– in caso di <math>l_k/d &lt; 2</math> si deve tener conto del progressivo aumento degli errori</li> <li>– errore minore in caso di accoppiamento meccanico diretto, maggiore in caso di accoppiamento indiretto</li> </ul>
da 1,1 a 1,3	da $\pm 5\%$ a $\pm 13\%$	Allungamento meccanico utilizzando viti a pressione inserite nel dado o nella testa della vite	Predefinizione dell'allungamento della vite, regolazione tramite coppia di serraggio delle viti a pressione	<ul style="list-style-type: none"> <li>– rosetta temprata per il supporto delle viti a pressione</li> <li>– a partire da circa M24</li> </ul>
da 1,2 a 1,5	da $\pm 9\%$ a $\pm 20\%$	Allungamento meccanico tramite dado multicomponente con boccola filettata	Coppia di serraggio dell'utensile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– serraggio praticamente senza torsione</li> <li>– a partire da circa M30</li> </ul>
da 1,1 a 1,5	da $\pm 5\%$ a $\pm 20\%$	Serraggio con misurazione o controllo meccanico dell'allungamento	Metodo diretto: regolazione tramite misurazione dell'allungamento Metodo indiretto: annullamento del gioco assiale con perno di controllo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– è necessario determinare precisamente l'elasticità proporzionale assiale della vite</li> <li>– la dispersione dipende sostanzialmente dall'esattezza della procedura di misurazione</li> <li>– per i valori ridotti è necessaria la calibrazione</li> <li>– in caso di <math>l_k/d &lt; 2</math> si deve tener conto del progressivo aumento degli errori</li> </ul>
da 1,1 a 1,4	$\pm 5\%$ a $\pm 17\%$	Serraggio idraulico senza attrito e torsione	Regolazione tramite misurazione della pressione o dell'allungamento o ulteriore angolo di rotazione del dado	<ul style="list-style-type: none"> <li>– in caso di <math>l_k/d \geq 5</math> sono ottenibili valori inferiori, con viti e piastre lavorate per asportazione di truciolo è possibile ottenere <math>\alpha_A = 1,05</math></li> <li>– con viti e dadi normalizzati <math>\alpha_A \geq 1,2</math></li> <li>– lunghezze di serraggio inferiori comportano valori <math>\alpha_A</math> maggiori</li> <li>– si verificano perdite di ritorno elastico, non considerate nel coefficiente di serraggio</li> <li>– applicazione a partire da M20</li> </ul>
da 1,2 a 2,0	da $\pm 9\%$ a $\pm 33\%$	Avvitatore ad impulso idraulico, con controllo della coppia di serraggio e/o dell'angolo di rotazione	Regolazione tramite angolo di rotazione o ulteriore coppia di serraggio	<ul style="list-style-type: none"> <li>– valori ridotti soltanto in caso di prerregolazione del collegamento filettato tramite angolo di rotazione, servovalvola dell'aria compressa e conteggio degli impulsi</li> <li>– in casi particolari, è possibile il montaggio oltre il limite di snervamento</li> </ul>
da 1,2 a 1,4	da $\pm 9\%$ a $\pm 17\%$	Serraggio con controllo del limite di snervamento, manuale o motorizzato	Prescrizione dei coefficienti della coppia di serraggio – angolo di rotazione	La dispersione dei valori del precarico dipende essenzialmente dalla dispersione del carico unitario di snervamento nel lotto di produzione delle viti da montare.
da 1,2 a 1,4	da $\pm 9\%$ a $\pm 17\%$	Serraggio con controllo dall'angolo di rotazione manuale o motorizzato	Determinazione sperimentale della coppia di serraggio preliminare e dell'angolo di rotazione (in gradi)	In caso le viti vengano dimensionate per $F_{M \min}$ , il coefficiente di serraggio $\alpha_A$ non è applicabile per questi metodi di serraggio.
da 1,4 a 1,6	da $\pm 17\%$ a $\pm 23\%$	Serraggio con controllo della coppia di serraggio con utensile idraulico	Regolazione tramite misurazione della pressione	– a partire da circa M30
da 1,4 a 1,6	da $\pm 17\%$ a $\pm 23\%$	Serraggio con controllo della coppia utilizzando chiave dinamometrica, chiave ad emissione di segnale o avvitatore di precisione con misurazione dinamica della coppia	Determinazioni sperimentale della coppia di serraggio necessaria con i particolari originali del collegamento, ad es. mediante misurazione dell'allungamento della vite	<p>Valori ridotti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>è richiesto un elevato numero di tentativi di regolazione o di controllo (ad es. 20); è necessaria una ridotta dispersione della coppia applicata (ad es. <math>\pm 5\%</math>)</li> </ul> <p>Valori ridotti per:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– piccoli angoli di rotazione, ovvero collegamenti relativamente rigidi</li> <li>– superfici di contatto con durezza relativamente bassa<sup>4)</sup></li> <li>– superfici di contatto che non tendono a «griappare», ad esempio fosfatate o adeguatamente lubrificate</li> </ul>
da 1,6 a 2,0 (Classe del coefficiente d'attrito B)	da $\pm 23\%$ a $\pm 33\%$	Serraggio con controllo della coppia utilizzando chiave dinamometrica, chiave ad emissione di segnale o avvitatore di precisione con misurazione dinamica della coppia	Determinazione della coppia di serraggio necessaria mediante stima del coefficiente d'attrito (le condizioni della superficie e di lubrificazione sono di grande rilevanza)	<p>Valori ridotti per:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>chiave dinamometrica con scala di lettura e serraggio uniforme e avvitatore di precisione</li> </ul> <p>Valori elevati per:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>chiave dinamometrica ad emissione di segnale o con meccanismo di sgancio</li> </ul> <p>Valori elevati per:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– grandi angoli di rotazione, ovvero collegamenti relativamente elastici e filettature a passo fine</li> <li>– elevata durezza delle superfici di contatto abbinata ad una superficie di elevata rugosità</li> </ul>
da 1,7 a 2,5 (Classe del coefficiente d'attrito A)	da $\pm 26\%$ a $\pm 43\%$			
da 2,5 a 4	da $\pm 43\%$ a $\pm 60\%$	Serraggio con avvitatore a massa battente, avvitatore a stallo o avvitatore a impulsi; serraggio manuale	Regolazione dell'avvitatore con una coppia superiore a quella necessaria (in base al coefficiente d'attrito stimato); serraggio manuale a propria discrezione	<p>Valori ridotti per:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– elevato numero di tentativi di regolazione (coppia di serraggio)</li> <li>– sull'asta orizzontale della caratteristica dell'avvitatore senza gioco</li> </ul> <p>Metodo adatto per il solo pre-serraggio, in caso di serraggio manuale rischio di snervamento per dimensioni M10 e inferiori</p>

<sup>4)</sup> Superfici di contatto: sono le superfici degli elementi da serrare che entrano in contatto con l'elemento di collegamento (testa della vite o dado).

Nota: in casi specifici è possibile ottenere coefficienti di serraggio minori. Richiedono un impegno maggiore nel processo di regolazione, una più elevata qualità dell'utensile e/o degli elementi di collegamento e dei componenti.