

TECNOLOGIA – SIMBOLI E TOLLERANZE APPLICABILI ALLE MOLLE

SIMBOLI UNITA' DI MISURA E DEFINIZIONI SECONDO LE NORME UNI EN 13906 PER MOLLE ELICOIDALI CON FILO TONDO

Principali simboli usati per il calcolo e la quotazione delle molle elicoidali con filo tondo, conformi anche a ISO 2162.2 che sostituiscono i simboli precedentemente usati per il calcolo e i disegno delle molle.

SIMBOLO	UNITA'	TERMS	DESCRIZIONE
$D = \frac{D_e + D_i}{2}$	mm	mean diameter of coil	Diametro medio della spira
D_e	mm	outsider diameter of the spring	Diametro esterno della molla
ΔD_e	mm	increase of outside diameter of the spring when loaded	Aumento del diametro esterno sotto carico
D_i	mm	inside diameter of spring	Diametro interno della molla
d	mm	nominal diameter of wire	Diametro nominale del filo
d_{max}	mm	upper deviation of d	Maggiorazione max di d
E	N/mm ²	modulo di elasticità (or Young's modulus)	Modulo di elasticità di Young
F	N	spring force	Carico della molla
$F_1 F_2$	N	spring forces for the spring	Carico a lunghezze $L_1 L_2$
$F_{c th}$	N	theoretical spring force at solid length L_c	Carico teorico a blocco L_c
G	N/mm ²	modulus of rigidity	Modulo di rigidità
k	-	stress correction factor depending on D/d	Fattore di correzione Wahl
L	mm	spring length	Lunghezza della molla
L_o	mm	nominal free length of spring	Lunghezza libera nominale
$L_1 L_2$	mm	spring lengths for the spring	Lunghe per il carico $F_1 F_2$
L_c	mm	solid length	Lunghezza a blocco
L_n	mm	minimum permissible spring length, depending upon S_a	Lunghezza minima possibile prima del blocco
N	-	number of cycles up to ropture	Numero di cicli fino a rottura
n	-	number of active coils	Numero di spire utili
n_t	-	total number of coils	Numero di spire totali
R	-	spring rate	Rigidezza o Caratteristica
R_m	N/mm ²	minimum value of tensile strength	Resistenza minima a rottura
S_a	mm	sum of the minimum gaps between adjacent active coils	Somma degli spazi tra le spire a lunghezza L_n
s	mm	spring deflection	Freccia (flessione) della molla
$s_1 s_2$	mm	spring deflection for spring forces $F_1 F_2$	Freccia a $F_1 F_2$
s_c	mm	spring deflection al the solid length	Freccia fino a blocco
s_h	mm	spring deflection between two positions	Freccia intermedia tra due posizioni
s_n	mm	spring deflection for the spring	Freccia fino al carico F_n
$W = D/d$	-	spring index	Indice della molla
τ	N/mm ²	uncorrected torsional stress	Tensione non corretta
$\tau_1 \tau_2$	N/mm ²	uncorrected torsional stress for the spring forces $F_1 F_2$	Tensione non corretta al carico $F_1 F_2$
τ_k	N/mm ²	corrected torsional stress	Tensione torsionale corretta con k
τ_{zul}	N/mm ²	permissible torsional stress	Tensione torsionale massima
τ_{kh}	N/mm ²	corrected torsional stress range for the stroke	Tensione torsionale corretta per carico intermedio tra 2 posiz.
γ	° gradi	torsion spring	angolo dei posizione reciproca dei gambi
φ	° gradi	torsion spring	angolo della piega dei gambi
α	°gradi	formed wire or strip	angolo di piega del filo o nastro di metallo
r	mm	formed wire or flat	raggio della curva o della piega
t	mm	formed flat spring	spessore del nastro di metallo.

Estratto dalla Guida Tecnica Anccem n° 5/2007

4. Le tolleranze applicabili a molle sagomate in vario modo e alle molle di torsione

La molla è un accumulatore flessibile di energia costruito per deformazione plastica di acciaio ad alta resistenza o bonificato, e richiede una progettazione diversa dai componenti compatti, costruiti mediante asportazione di materiale. La molla abbisogna di proprie tolleranze, sia di lavorazione, sia di forza resa, tolleranze che non possono essere lasciate solo alla fantasia o ai timori dei progettisti ma che dovranno essere adeguate alle norme o concordate con i fornitori.

Le tolleranze sulla forza resa da queste molle (carico in N), quando sono necessarie, sono stabilite dal progettista, in accordo con il fornitore.

Le tolleranze delle molle di ogni specie si dividono in tre distinte categorie:

- Tolleranze in mm sulla forma e dimensioni
- Tolleranze in N (*Newton*) sul carico (*forza*) e sulle tensioni-sollecitazioni di lavoro
- Tolleranze in gradi sugli angoli

Per i componenti elastici costruiti con filo trafilato o nastro di acciaio ad alta resistenza, piegati e sagomati e successivamente sottoposti a trattamento termico di stabilizzazione a temperatura <math><300^{\circ}\text{C}</math>, ai raggi di piegatura, alle lunghezze dei g ambi e agli angoli, si applicano solo dove è necessario, tolleranze ricavate da DIN 2194/2002 da concordare caso per caso, con il fornitore.

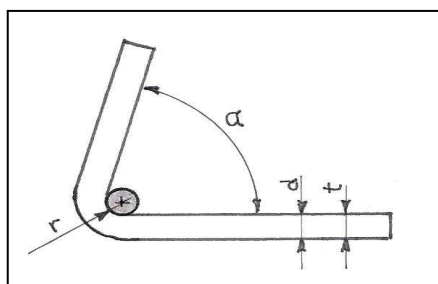
4.1 Le curve e le pieghe

Salvo eccezione, il raggio di una «curva» o di una «piega» si misurano sempre all'interno con un calibro di diametro = $2r$.

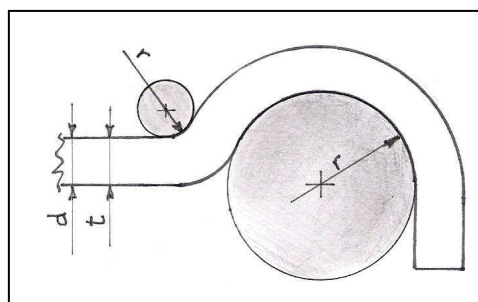
Quando la curva ha forma circolare il suo raggio sarà $>2d$ e $>3\text{mm}$.

E' piega ogni deformazione con raggio $<2d$ e $\leq 3\text{mm}$.

Il controllo del raggio e della tolleranza si farà appoggiando una spina o dima circolare all'interno della piega o della curva.



r = raggio della piega
 d = diametro del filo
 t = spessore del nastro
 α = angolo della piega



r = se $< 2d$ è il raggio della piega
 r = se $> 2d$ è il raggio della curva
 d = diametro del filo
 t = spessore del nastro

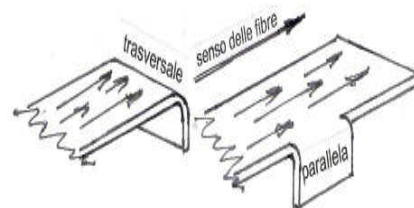
4.1.1. Molle in nastro d'acciaio

Per le molle costruite con nastro d'acciaio allo stato crudo o bonificato, i raggi minimi delle pieghe dipendono dal senso della piega rispetto al senso delle fibre del metallo.

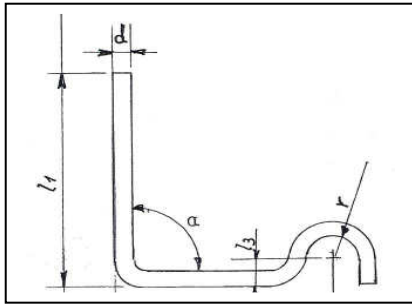
I raggi delle pieghe avranno come riferimento lo spessore t del nastro e si adegueranno alle indicazioni della tabella 2 sui raggi minimi di piega per i nastri d'acciaio legato e non legato.

Tab. 2 RAGGI MINIMI DI PIEGA CON MATERIALE IN RESISTENZA

Materiale	Resistenza	Senso della piega	0,25 mm	$\geq 0,50\text{mm}$	$\geq 1,00\text{mm}$
Bonificato	1300-1500 N/mm ²	trasversale	0,5 t	2 t	3 t
		parallelo	t	5 t	7 t
Crudo	850 - 1000 N/mm ²	trasversale	2 t	t	2 t
		parallelo	4 t	2 t	4 t



Per le molle in nastro ricotto, le tolleranze si concordano col fornitore caso per caso, perché il successivo trattamento termico di bonifica può essere causa di deformazioni o variazioni.



4.1.2 La quotazione di particolari in filo

d = diametro del filo

l_1, l_2, l_3 = lunghezze dei gambi

r = raggio della curva (i raggi si quotano sempre all'interno e (solo per i calcoli) i piccoli raggi delle pieghe si considerano $r=0,5d$).

Le tolleranze si indicano con $A.. \pm$

$$Al = \pm (0,2 \times d + Q \times \text{Fattore da tab. 3})$$

$$Ar = + (0,3 + 0,2 \times r) \times Q$$

$$A\alpha = \pm 4 \times \sqrt{r/d} \times Q$$

Tabella 3 - Fattore per calcolo di $A_{l..}$

< 6 mm	> 6 < 36 mm	> 36 < 66 mm
0,25	0,50	0,75

Tabella 4 - Gradi di qualità

Grado	1	2
Q	1	1,6

Esempio di applicazione a molla con filo $\varnothing 1,20$ mm e Q grado 1.

$$l_2 = 31 \text{ mm} \quad Al_2 = \pm (0,2 \times 1,20 + 1 \times 0,5) = \pm 0,74$$

$$r = 4 \text{ mm} \quad Ar = + (0,3 + 0,2 \times 4) \times 1 = + 1,1$$

$$\alpha = 90^\circ \quad (r \text{ non quotato si considera } r=0,5d) \quad A\alpha = \pm 4 \times \sqrt{0,5} \times 1 = \pm 2,8^\circ$$

4.1.3 La quotazione delle molle di torsione

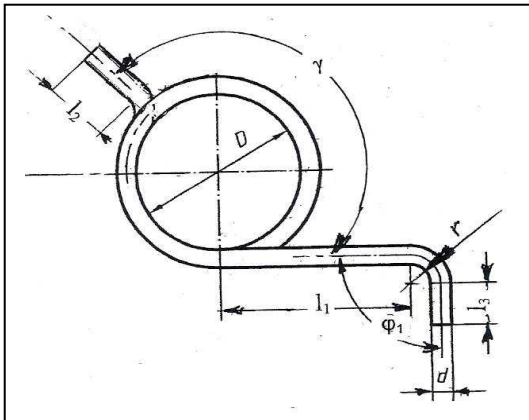


Figura della molla di torsione a UNI EN 13906 – 3

d Diametro del filo

D Diametro interno della molla elicoidale

w Rapporto di avvolgimento D/d

γ Angolo tra i due gambi della molla

φ_1 Angolo di piega del gambo $l_1 - l_3$

φ_2 Angolo di piega del gambo l_2

l_1, l_2, l_3 Lunghezza del gambo

r Raggio all'interno della curva

(i piccoli raggi $< d$ normalmente non si quotano e teoricamente si considerano $r=0,5d$)

La tolleranza sull'angolo γ (gamma) limita la variazione della posizione reciproca dei due gambi.

$$A_\gamma = \pm 2,4 \times \sqrt{w} \times Q$$

Il Momento e il carico F teorici, con un angolo di caricamento α , si calcolano a norma UNI EN 13906-3. La tolleranza teorica di F dovrà essere coerente con le tolleranze concesse per D e A_γ e si concorda caso per caso, con il fornitore.

Gli angoli delle pieghe con raggi $r \leq d$, si indicano con φ (phi) e la tolleranza $A\varphi$ si prescrive soltanto quando è veramente necessaria.

$$A\varphi = \pm 4 \times \sqrt{r/d} \times Q$$

Per le lunghezze dei gambi si applica la stessa formula delle altre molle con fili piegati.

$$Al = \pm (0,2 \times d + Q \times \text{Fattore da tab. 3})$$

Esempio di applicazione delle tolleranze per molla di torsione con filo $\varnothing 1,20$ mm, diametro interno D 18 mm, raggio $r = 0,5d$, grado di qualità Q 1 e $w = 15$

$$\text{Angolo } \gamma = 225^\circ \pm 2,4 \times \sqrt{15} \times 1 = \pm 9,3^\circ$$

$$\text{Angolo } \varphi_1 = 90^\circ \pm 4 \times \sqrt{0,5} \times 1 = \pm 2,8^\circ$$

Per le molle di torsione con fili di grosse dimensioni costruite con materiali da bonifica lavorati allo stato ricotto, le tolleranze dei raggi, degli angoli e delle dimensioni si concordano con il fornitore.

4.2 La quotazione delle molle elicoidali

L'attuale estensione dell'applicazione dei controlli statistici e la globalizzazione dei mercati, hanno evidenziato la necessità di una unificazione armonizzata delle tolleranze delle molle elicoidali, valide per tutte le industrie del mondo che usano questi componenti per i loro prodotti. Per ora le norme europee UNI EN 13906/2003, sul progetto e calcolo delle molle elicoidali, derivate dalle DIN, hanno escluso le tolleranze.

Per le tolleranze di lavorazione delle molle elicoidali sono allo studio apposite norme EN e ISO.

Nel frattempo si applicano le DIN, da cui saranno ricavate anche le nuove norme.

Quando la molla ha posizioni di lavoro fisse – ed è il caso più frequente – con le molle elicoidali di compressione e trazione, la variazione della lunghezza libera (L_0) influisce direttamente e proporzionalmente sulla forza (F) accumulata ed erogata.

La variazione del diametro della molla e del diametro del filo influiscono direttamente sulla Rigidezza R (Rate) della molla espressa in N/mm di freccia (s) e indirettamente sul carico (F).

Il carico F si calcola nel modo seguente:

$$F = \frac{G d^4 s}{8 D^3 n} = N$$

La Rigidezza si calcola nel modo seguente:

$$R = \frac{G d^4}{8 D^3 n} = N/mm$$

La tolleranza sulla lunghezza libera si calcola nel modo seguente:

$$A_{L_0} = \pm \frac{a_F \cdot k_f \cdot Q}{R} \quad (\text{Dove } Q \text{ grado } A = 1 \text{ e } Q \text{ grado } B = 1,6)$$

(DIN 2095 4.4.)

(dove R è la Rigidità-Rate = F/s)

I valori dei fattori a_F e k_f si trovano nella DIN 2095 Bild 4-5 e Bild 6, oppure calcolati con le seguenti formule:

$$a_F = 65,92 \frac{d^{3,3}}{D^{1,6}} \left[0 - 0,84 \left(\frac{w}{10} \right)^3 + 3,781 \left(\frac{w}{10} \right)^2 - 4,244 \frac{w}{10} + 2,274 \right] \quad (\text{dove } w = Dm/d \text{ della molla})$$

$$k_f = 0 - \frac{1}{3n^2} + \frac{8}{5n} + 0,803 \quad (\text{dove } n = \text{spire utili della molla})$$

La lunghezza libera delle molle di compressione è generalmente esclusa da vincoli, salvo i casi in cui le esigenze di montaggio meccanizzato costringono a limitare la variazione della lunghezza. In questi casi dovrebbe essere esclusa la tolleranza sul carico, che nei casi di lavoro entro punti fissi, varierà in proporzione alla lunghezza.

4.1 Le tolleranze per le molle elicoidali di compressione e trazione

Le formule attualmente applicate in Europa per il calcolo delle tolleranze delle molle, diverse da paese a paese, quando ci sono, sono contenute nelle norme nazionali sul progetto della molla.

L'attuale estensione dell'applicazione dei controlli statistici e la globalizzazione dei mercati, hanno evidenziato la necessità di una unificazione armonizzata delle tolleranze delle molle elicoidali, valide per tutte le industrie del mondo che usano questi componenti per i loro prodotti.

Per ora le norme europee UNI EN 13906 derivate dalle DIN, sul progetto e calcolo delle molle elicoidali, hanno escluso le tolleranze.

Per le tolleranze di lavorazione delle molle elicoidali sono allo studio apposite norme EN e ISO. Nel frattempo si applicano le DIN da cui saranno ricavate anche le nuove norme.

Quando la molla ha posizioni di lavoro fisse – ed è il caso più frequente – con le molle elicoidali di compressione e trazione, la variazione della lunghezza libera (L_0) influisce direttamente e proporzionalmente sulla forza (F) accumulata ed erogata.

La variazione del diametro della molla e del diametro del filo influiscono direttamente sulla Rigidezza R (Rate) della molla espressa in N/mm di freccia (s) e indirettamente sul carico (F).

Il carico F si calcola nel modo seguente:

$$F = \frac{G d^4 s}{8 D^3 n} = N$$

La Rigidezza si calcola nel modo seguente:

$$R = \frac{G d^4}{8 D^3 n} = N/mm$$

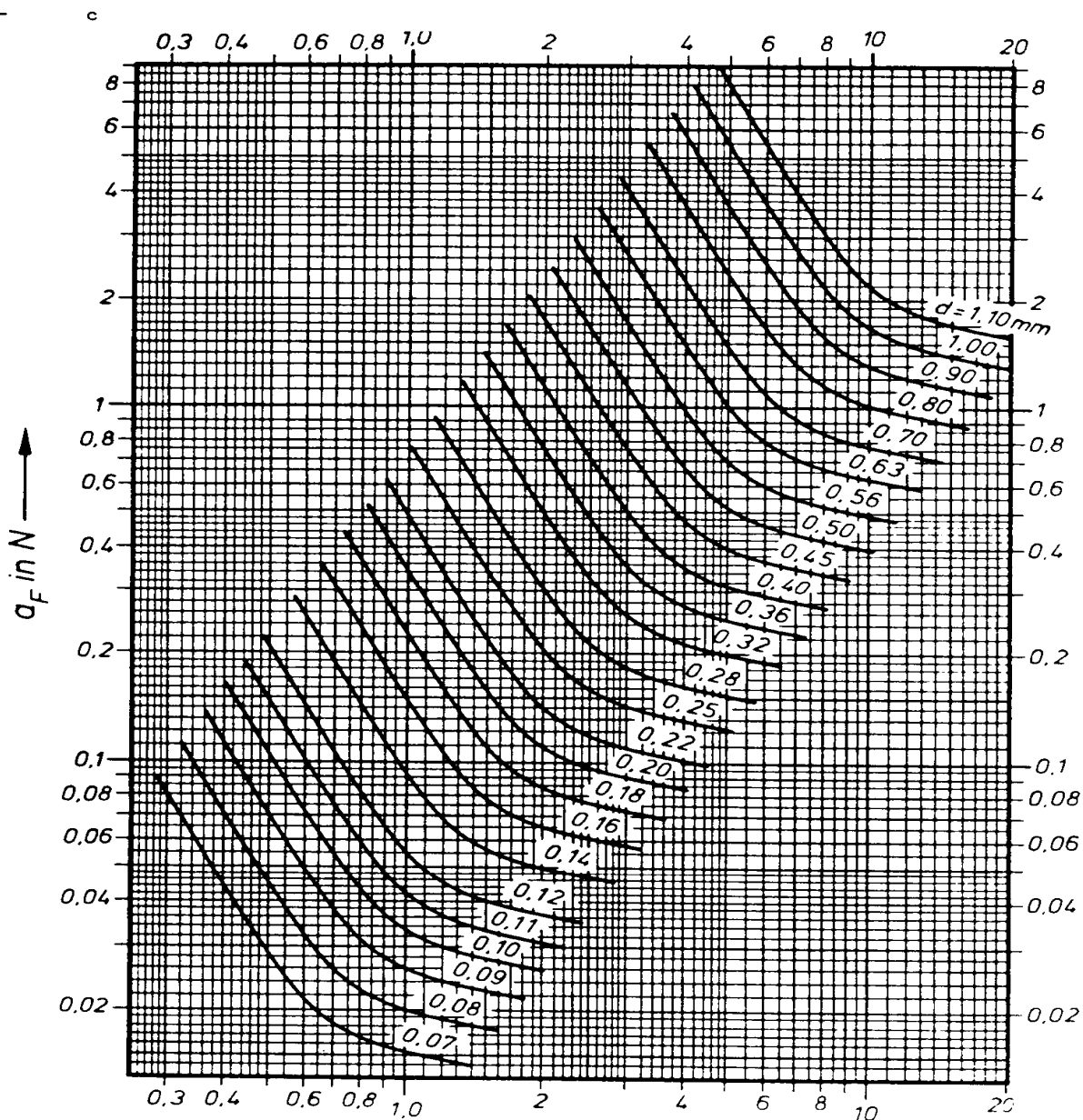
La tolleranza sulla lunghezza libera si calcola nel modo seguente:

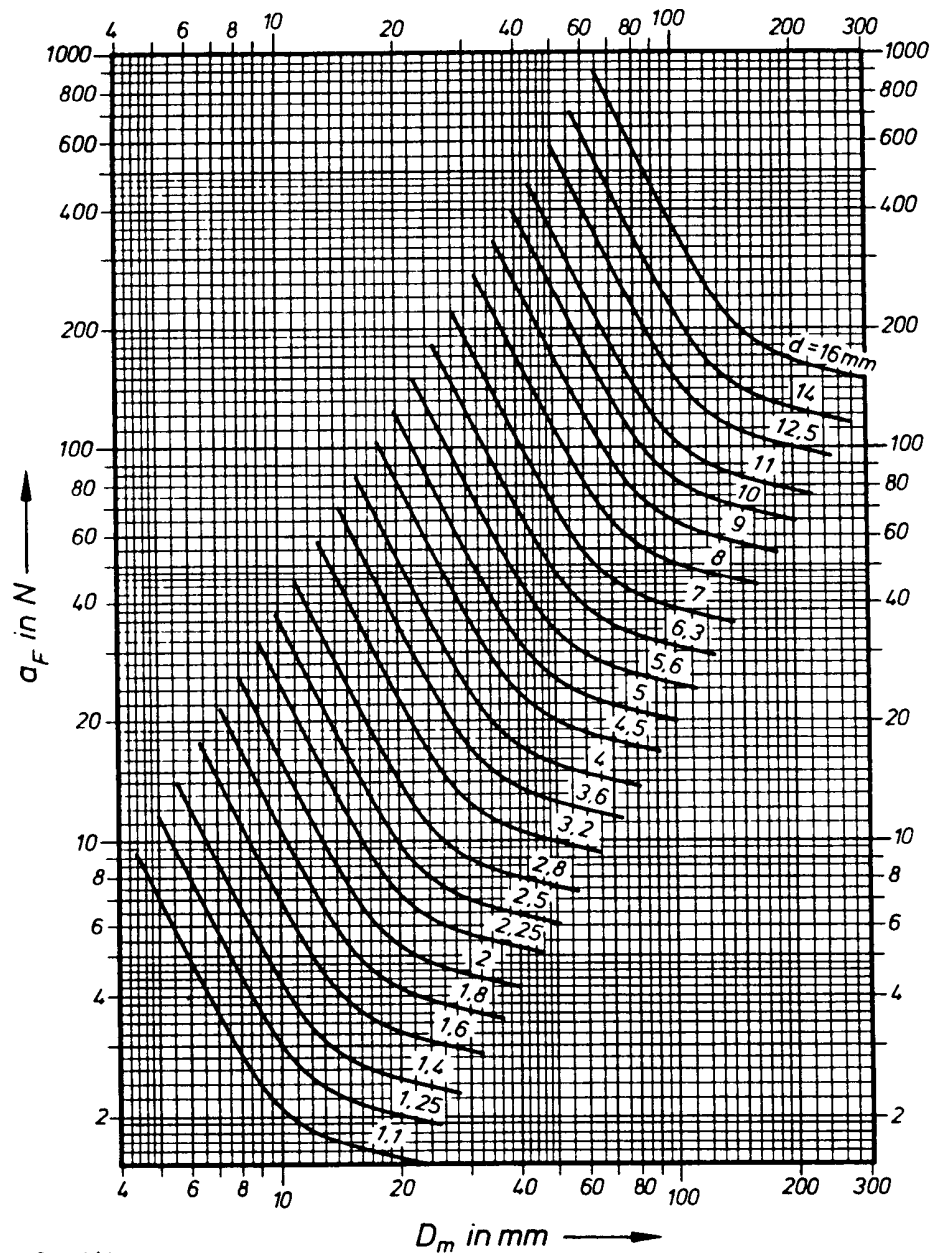
(DIN 2095 4.4.) $A_{L_0} = \pm \frac{a_F \cdot k_f \cdot Q}{R}$ (Dove Q grado $A = 1$ e Q grado $B = 1,6$)
 (dove R è la Rigidezza-Rate = F/s)

I valori dei fattori a_F e k_f si trovano nella DIN 2095 Bild 4-5 e Bild 6, oppure calcolati con le seguenti formule:

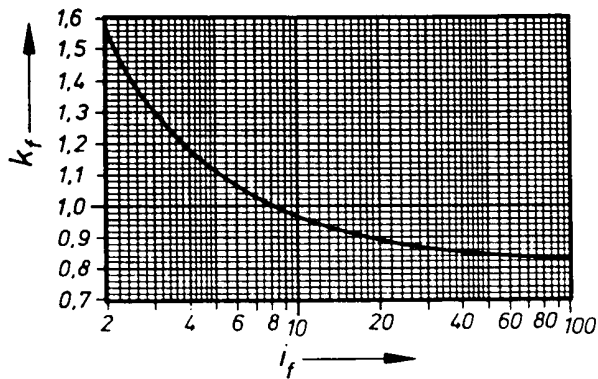
$$a_F = 65,92 \frac{d^{3,3}}{D^{1,6}} \left[0 - 0,84 \left(\frac{w}{10} \right)^3 + 3,781 \left(\frac{w}{10} \right)^2 - 4,244 \frac{w}{10} + 2,274 \right] \quad (\text{dove } w = Dm/d \text{ della molla})$$

$$k_f = 0 - \frac{1}{3n^2} + \frac{8}{5n} + 0,803 \quad (\text{dove } n = \text{spire utili della molla})$$





Quantity a_F
 Influence of geometry and dimensions on variations of spring force and spring length
 for wire diameters from 1.1 to 16 mm



Factor k_f
 Influence of active coils
 on variations of spring
 force and spring length

I coefficienti dimensionali a_F e k_f sono uguali per tutte le norme.

La lunghezza libera delle molle di compressione è generalmente esclusa da vincoli, salvo i casi in cui le esigenze di montaggio meccanizzato costringono a limitare la variazione della lunghezza. In questi casi dovrebbe essere esclusa la tolleranza sul carico, che nei casi di lavoro entro punti fissi, varierà in proporzione alla lunghezza.

Il requisito che determina la funzionalità di una molla è il carico (F) al quale deve essere applicata la tolleranza, ma una tolleranza coerente con il processo di produzione e con le esigenze di funzionalità.

La tolleranza sul carico si calcola nel modo seguente:

$$(DIN 2095 4.3.) A_F = \pm (a_F \cdot k_f + \frac{1,5 F}{100}) \cdot Q$$

Questa tolleranza sul carico (F) può anche essere espressa in percentuale.

Una tolleranza precisa è circa $\pm 5\%$

Una tolleranza normale è $\pm 8\div 12\%$

Quando le posizioni di lavoro non sono fisse, ma sono regolabili sul primo carico (F_1), la tolleranza si può applicare alla Rigidezza. Questa ultima tolleranza (A_R), a causa dei valori molto bassi, si usa generalmente solo per le molle grosse e crea talvolta problemi di misurazione e di certificazione, con la conseguente necessità di eseguire 3 misure e dichiarare il valore medio rilevato.

4.2 Verifica della coerenza ed accettabilità della tolleranza

Esempio di Molla di compressione con piani molati:

d	De	n _t	L ₀	a L ₁	a s ₁	F ₁	R	C _{pk}	Passo	Dm/Passo
mm	27 mm	7	88 mm	21 mm	67,0 mm	140 N			≈ L ₀ /n	buono 2,0÷3,5
2,00	Dm 25 mm	n 5	± 1,5	Dm/d =	12,5	± 12 N	2,09 N/mm	1,25	17,6	1,47

Con la prescrizione di C_{pk} 1,25 il parametro di riferimento minimo sarà ≈ C_p 1,5

Nei mollifici il parametro di C_p ~1,5 è considerato lo standard minimo da utilizzare sempre per le verifiche di fattibilità.

Con questo valore di C_p, si calcola a quanto si riduce operativamente la tolleranza a disegno per garantire lo Zero-Difetti atteso dal Cliente con il vincolo C_{pk}.

Verifica di compatibilità delle tolleranze, da parte del tecnico progettista:

Su lunghezza libera L₀ 88 mm ± 1,50

$$T_n (\text{concessa}) = T_{Dis} / C_p = 1,50_{mm} / 1,5 = \pm 1_{mm}$$

Si potrà rispettare questa tolleranza durante l'avvolgimento?

Con rigidità R = 2,09 N/mm, questa tolleranza diventa $\pm 1_{mm} \times R = \pm 2,09 N$

che corrispondono a $(2,09/140)100 = \pm 1,49\%$ sul carico F₁

Si potrebbe rispettare una tolleranza così stretta sul carico?

La molatura dei piani farà rientrare la lunghezza libera nella tolleranza?

Secondo la DIN 2095 punto 4.4, la tolleranza sulla lunghezza sarebbe:

$$A_{L_0} \pm 2,54 \quad \text{con } Q = 1$$

$$\pm 4,06 \quad \text{con } Q = 1,6$$

E' proprio necessario prescrivere una tolleranza più stretta?

Verifica di compatibilità delle tolleranze, da parte del tecnico progettista:

Sul carico F₁ 140 N ± 12 N

$$T_n (\text{concessa}) = T_{Dis} / C_p = 12/1,5 = \pm 8 N = \pm 5,76\% \text{ sul carico}$$

Non ci sono problemi per questa tolleranza sul carico.

Con $R = 2,09 \text{ N/mm}$, questa tolleranza diventerà $\pm 8N/R = \pm 3,83_{\text{mm}}$ sulla lungh.
La variazione di lunghezza relativa alla tolleranza sul carico, sarebbe accettabile.

Secondo la DIN 2095 punto 4.3, la tolleranza sul carico sarebbe:

$$A_F \pm 7,417 (5,3\%) \quad \text{con } Q = 1$$
$$\pm 11,867 (8,47\%) \quad \text{con } Q = 1,6$$

Conclusione:

Con un $C_p \sim 1,5$ necessario per garantire un $C_{pk} 1,25$, la tolleranza del 5,76 % sul carico è quasi stretta per molla con passo lungo ($Dm/p=1,47$), e non ostante questo, comporterebbe una variazione di $\pm 3,8_{\text{mm}}$ sulla lunghezza. Bisognerà consultare il mollificio concentrando i controlli sulla lunghezza che è invece vincolata da una tolleranza assai più stretta ($\pm 1,50_{\text{mm}}$).

Se il requisito funzionale importante sarà il carico si potrà tollerare una maggiore variazione della lunghezza libera. Altrimenti il mollificio dovrà applicare la selezione elettronica della produzione sulla macchina avvolgitrice e dovrà prevedere un programma di molatura più lento, per rispettare con certezza la tolleranza di $\pm 1,5_{\text{mm}}$ sulla lunghezza dopo la molatura dei piani.
