

Normativa Calcolo Alberi

PARTE I - CALCOLO

1. - INTRODUZIONE

1.1 - Oggetto

Formano oggetto della presente norma gli alberi in acciaio ad asse rettilineo a sezione circolare piena o cava, destinati a qualsiasi tipo di meccanismo.

1.2 - Scopo

La prima parte della presente norma ha lo scopo di stabilire le basi di calcolo per la progettazione degli alberi.

1.3 - Simbologia e unità di misura

I simboli adottati sono conformi alle prescrizioni della norma ISO 3889. Tutte le grandezze meccaniche sono espresse in unità SI.

1.4 - Simboli

c coefficiente angolare della curva di Wöhler

c' coefficiente angolare della curva di Wöhler (per $N > 2\,000\,000$)

f_t carico unitario di rottura a trazione

f_u fattore di servizio

f_y carico unitario di snervamento

q sensibilità all'intaglio

H durata totale in ore

K fattore di spettro delle componenti di tensione

K' fattore di spettro delle componenti di tensione (per $N > 2\,000\,000$)

K_c coefficiente di correzione della resistenza a fatica in funzione del pericolo

K_d coefficiente di correzione della resistenza a fatica in funzione del diametro

K_N coefficiente di adeguamento della tensione limite a fatica che tiene conto del numero totale di cicli equivalente

K'_N coefficiente di adeguamento della tensione limite a fatica che tiene conto del numero totale di cicli equivalente (per $N > 2\,000\,000$)

$K_{s\sigma}$ coefficiente di correzione della tensione normale ammissibile a fatica che tiene conto della forma dell'albero

$K_{s\tau}$ coefficiente di correzione della tensione tangenziale ammissibile a fatica che tiene conto della forma dell'albero

- K_t coefficiente teorico elastico di concentrazione delle tensioni
- K_u coefficiente di correzione delle resistenza a fatica in funzione del tipo di finitura
- K_o coefficiente per tensioni normali che tiene conto della riduzione della resistenza a fatica in funzione della forma, del diametro, della finitura e della corrosione ambientale
- K_τ coefficiente per tensioni tangenziali che tiene conto della riduzione della resistenza a fatica in funzione della forma, del diametro, della finitura e della corrosione ambientale
- K_κ coefficiente di adeguamento della tensione limite a fatica che tiene conto del rapporto tra tensione minima e tensione massima
- N numero di cicli equivalente
- N' numero di cicli equivalente (se calcolato con il coefficiente c')
- N_t numero totale di cicli e effettivo
- γ grado di sicurezza
- γ_a coefficiente di sicurezza
- γ_{as} coefficiente di sicurezza nella verifica a resistenza statica
- γ_f grado di sicurezza per la verifica a fatica
- σ tensione normale di calcolo
- σ_a componente affaticante della tensione σ
- σ_f limite di resistenza a fatica alternata del materiale
- σ_m componente statica della tensione σ
- σ_{min} valore minimo della tensione
- σ_{max} valore massimo della tensione
- σ_{id} tensione ideale
- σ_{rf} tensione limite di resistenza a fatica dell'albero nella sezione considerata
- σ_{rs} tensione limite di resistenza a statica
- σ_x tensione secondo l'asse x
- σ_y tensione secondo l'asse y
- τ tensione tangenziale di calcolo
- τ_a componente affaticante della tensione τ

- τ_f limite di resistenza a fatica alternata per le tensioni tangenziali del materiale
- τ_m componente statica della tensione τ
- τ_{rf} tensione tangenziale limite di resistenza a fatica dell'albero nella sezione considerata
- τ_{rs} tensione limite di resistenza statica (tangenziale)
- χ rapporto tra la tensione minima e la tensione massima che si verifica durante un ciclo

2. - AZIONI DA CONSIDERARE E CRITERI PER LA LORO VALUTAZIONE

2.1 - Generalità

Le azioni esterne devono essere valutate in base ad un'accurata analisi di tutte le condizioni nelle quali il meccanismo, a cui l'albero appartiene, può venirsi a trovare durante la sua vita (cfr. punto 3)

Sono da prendere in considerazione le seguenti azioni:

SG - peso propri;

SS - carico di servizio;

SA - inerzie;

SF - attriti;

SD - azioni dinamiche di tipo aleatorio;

SV - azioni dovute ad agenti atmosferici;

SP - azioni specifiche.

L'entità delle singole azioni va valutata dal progettista, in accordo con le eventuali normative o le specifiche tecniche relative al meccanismo a cui l'albero appartiene.

2.2 - Pesi Propri

Devono essere presi in considerazione i pesi degli elementi costituenti il meccanismo e, se significativo, quelle dell'albero stesso.

2.3 - Carichi di servizio

Come carichi di servizio si intendono quelli corrispondenti alle finalità del meccanismo a cui appartiene l'albero.

Occorrerà, se del caso, considerare eventuali più combinazioni dei carichi di servizio, per individuare le situazioni più sfavorevoli che si possono presentare nelle varie sezioni significative dell'albero.

2.4 - Inerzie

Le azioni di inerzia vanno calcolate tenendo presente la dinamica del sistema: in particolare si dovranno considerare le caratteristiche di coppia dei motori e dei freni, tenendo conto di tutte le masse in moto vario.

Si dovrà tener conto dell'eventuale presenza e dell'affidabilità di dispositivi automatici di controllo delle accelerazioni e delle decelerazioni e delle modalità di intervento e di applicazione delle coppie frenanti.

Nell'Appendice A è riportato un procedimento per la determinazione delle coppie massime esercitate sull'albero.

2.5 - Attriti

Si dovranno considerare le azioni di attrito, nel caso che queste non siano esprimibili sommariamente come rendimento dei cinematismi.

In mancanza di dati specifici, i valori dei coefficienti di attrito e dei rendimenti possono essere desunti dall'Appendice B.

2.6 - Azioni dinamiche di tipo aleatorio

Le azioni dinamiche di tipo aleatorio dipendono dal tipo e dalle specifiche funzioni del meccanismo e dal tipo di sorgente di energia.

In mancanza di più dettagliate informazioni, se ne può considerare l'influenza moltiplicando le azioni esterne per un fattore di servizio f_u , dato, per applicazioni normali, dal prospetto 2.1., in funzione delle seguenti tre categorie di meccanismi:

U1: meccanismi soggetti ad azioni dinamiche lievi ed uniformi;

U2: meccanismi soggetti ad azioni dinamiche medie

U3: meccanismi soggetti ad azioni dinamiche forti.

Prospetto 2.1 - fattore di servizio f_u

Categoria del meccanismo	Tipi di sorgente di energia			
	motore c.i. 2 tempi	motore c.i. 4 tempi	motore elettrico	motore idraulico
U1	1.25 ÷ 1.50	1.15 ÷ 1.25	1. ÷ 1.05	1. ÷ 1.1
U2	1.50 ÷ 1.75	1.25 ÷ 1.50	1.1 ÷ 1.25	1.1 ÷ 1.3
U3	1.80 ÷ 2.25	1.6 ÷ 2	1.5 ÷ 1.75	1.5 ÷ 1.8

Nell'appendice C sono riportate indicazioni della categoria di appartenenza per alcuni tipi di meccanismo.

2.7 - Azioni dovute ad agenti atmosferici

Vanno calcolate tenendo presenti le condizioni climatiche nelle quali l'albero può operare e facendo riferimento alle istruzioni CNR 10012 e, nel caso di apparecchi di sollevamento, alle istruzioni CNR 10021.

2.7.1 - Vento di servizio

La pressione specifica del vento con meccanismo in servizio va considerata:

125 N/m² se il meccanismo viene usato solo con vento leggero

250 N/m² in condizioni normali

500 N/m² se il meccanismo può essere usato con vento forte.

2.7.2 - Neve

In generale non devono essere prese in considerazione le azioni dovute alla neve

2.7.3 - Variazioni di temperatura

Le azioni interne provocate da variazioni di temperatura devono essere prese in considerazione se generano delle tensioni importanti (a titolo orientativo, superiori al 5% della tensione totale).

In mancanza di dati specifici, il valore del coefficiente di dilatazione lineare va assunto pari a:

$\alpha = 0,000012 \text{ K}^{-1}$ per acciai normali

$\alpha = 0,000016 \text{ K}^{-1}$ per acciai inossidabili

2.8 - Azioni specifiche

Tali azioni possono presentarsi in servizio o fuori servizio (ad esempio durante il collaudo) e sono caratteristiche di ciascun tipo di meccanismo.

Esse vanno valutate dal progettista, tenendo conto delle eventuali normative o specifiche tecniche.

Se del caso, occorre anche tenere conto delle azioni determinate dal riscaldamento degli organi.

3. CONDIZIONI DI CARICO

Occorre considerare le seguenti due condizioni di carico

Condizione di carico I - servizio normale

Comprende l'insieme delle situazioni nelle quali il meccanismo, al quale l'albero appartiene, può trovarsi in esercizio, nel corso della sua vita.

In particolare l'analisi di queste situazioni va fatta considerando le varie fasi del ciclo di lavoro:

- riposo
- avviamento (dallo spunto in partenza fino al raggiungimento del regime)
- frenatura
- regimi di velocità caratteristici, tra cui quello di massima coppia.

Nella condizione di carico I si devono considerare gli effetti prodotti da:

- pesi propri
- carichi di servizio
- inerzie
- attriti
- azioni dinamiche di tipo aleatorio
- vento d'esercizio
- azioni specifiche.

La contemporaneità e l'entità di ciascuna azione devono essere valutate da progettista, allo scopo di determinare le massime azioni interne che possono effettivamente verificarsi.

Condizioni di carico II - fuori servizio e carichi eccezionali

In questa condizione di carico devono essere individuate le più gravose azioni interne, alle quali l'albero può essere soggetto in tutte le situazioni in cui il meccanismo, a cui l'albero appartiene, può venirsi a trovare, fuori servizio e in condizioni eccezionali.

Tra queste situazioni devono essere prese in considerazione, ad esempio, le seguenti:

- condizioni eccezionali
- interruzione improvvisa della sorgente di energia
- carichi di prova
- inerzie dovute a non corretto funzionamento dei dispositivi automatici di controllo
- velocità di fuga
- azioni dinamiche eccezionali (quali: urti contro arresti, azioni sismiche, ecc.)
- azioni specifiche eccezionali
- fuori esercizio
- vento massimo.

In ciascuna di tali situazioni vanno considerate, oltre alle azioni eccezionali, quelle normali, che possono agire contemporaneamente (ad esempio: pesi propri e carichi di servizio).

4. PROCEDIMENTO DI CALCOLO

Per ciascuna situazione di carico si valutano, con riferimento ad una terna cartesiana trirettangolare, le posizioni dei punti di applicazione delle azioni e delle loro componenti.

Si determinano le azioni interne nelle varie ipotesi di ciascuna situazione di carico. Per le azioni più gravose si determinano i punti più cimentati e, in detti punti, le componenti di tensione e le tensioni ideali, cioè quelle monoassiali che determinano lo stesso pericolo di collasso dello stato di tensione calcolato.

Per comodità di calcolo, le azioni esterne e interne possono essere suddivise tra quelle fisse e quelle rotanti rispetto all'albero.

In base alle dimensioni dell'albero, alla presenza e tipo di cause di concentrazione di tensione, al suo stato di finitura superficiale, alle caratteristiche del materiale con cui è costruito e tenendo conto degli eventuali trattamenti termici, si valutano le tensioni limite di resistenza per verifiche statica e a fatica.

La verifica a fatica va limitata alla condizione di carico I.

Si confronta infine il grado di sicurezza (rapporto tra tensioni limite di resistenza e quelle di calcolo) con il coefficiente minimo di sicurezza ammissibile.

4.1 - Calcolo delle tensioni

Le componenti di tensione dovute alle varie azioni interne si calcolano secondo le note relazioni della scienza delle costruzioni.

la tensione ideale si calcola con l'espressione:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau^2}$$

Le caratteristiche resistenti si intendono riferite alla sezione nominale, senza cioè tenere conto delle riduzioni della sezione dovute agli eventuali intagli.

Le tensioni normali di calcolo sono indicate con il simbolo σ e quelle tangenziali con il simbolo τ .

4.2 - Determinazione delle tensioni limite di resistenza

Ai punti 5.1 e 6.2 vengono determinate le tensioni limite di resistenza, rispettivamente per la verifica statica e a fatica.

4.3 - Grado di sicurezza

Ai punti 5.2 e 6.6 viene indicato come determinare il grado di sicurezza γ .

4.4 - Coefficiente di sicurezza

Il coefficiente di sicurezza γ_a è indicato in funzione della condizione di carico, del grado di pericolosità, di affidabilità e di accettabilità del controllo.

4.4.1 - Grado di pericolosità

Salvo differenti prescrizioni più severe di specifiche tecniche o regolamenti particolari, si considerano i seguenti gradi di pericolosità:

- grado di pericolosità lieve (A) - corrisponde ad una situazione nella quale il cedimento dell'albero non può provocare danno alle persone, ma solo, eventualmente, alle cose;
- grado di pericolosità medio (B) - corrisponde ad una situazione nella quale il cedimento dell'albero può provocare danni di lieve entità alle persone e solo in via indiretta;

- grado di pericolosità grave (C) - corrisponde ad una situazione nella quale il cedimento dell'albero può provocare danni alle persone in via diretta o anche indiretta, ma di rilevante entità.

4.4.2 - Grado di affidabilità

Salvo differenti prescrizioni di specifiche tecniche o regolamenti particolari, si considerano i seguenti gradi di affidabilità:

- affidabilità ridotta (A) - corrisponde ad una probabilità di cedimento superiore del 25% rispetto a quella normale;
- affidabilità normale (B)
- affidabilità elevata (C) - corrisponde ad una probabilità di cedimento 18 volte inferiore a quella normale.

4.4.3 - Grado di accettabilità

In riferimento alla classe di accettabilità (cfr 6.1.6 e tabella 6.1.6.1 della 2^a parte della presente norma) vengono considerati i seguenti gradi di accettabilità:

- lieve (A) - corrisponde alla classe 6;
- normale (B) - corrisponde alle classi 4 e 5;
- severa (C) - corrisponde alle classi 1, 2, 3.

5. VERIFICA A RESISTENZA STATICA

5.1 - Tensione limite di resistenza

La tensione limite di resistenza statica σ_{rs} è data da:

- per materiali con carico di snervamento $\leq 0,7$ del carico di rottura

$$\sigma_{rs} = f_y$$

- per materiali con carico di snervamento $> 0,7$ del carico di rottura

$$\sigma_{rs} = \frac{f_y + 0,7f_t}{2}$$

nelle quali

f_y è il carico di snervamento

f_t è il carico unitario di rottura

I valori di f_y e f_t da assumere per il calcolo devono essere i minimi garantiti dal fornitore dell'acciaio. A titolo di orientamento nel prospetto 5.1 sono riportati i valori minimi relativi ai materiali comuni. La tensione tangenziale limite è data da:

$$\tau_{rs} = \frac{\sigma_{rs}}{\sqrt{3}}$$

5.2. - Grado di sicurezza

Il grado di sicurezza rispetto a ciascuna tensione di calcolo, comprese quelle ideali, è dato dai rapporti:

$$\gamma_\tau = \frac{\tau_{rs}}{\tau}$$

e

$$\gamma_\sigma = \frac{\sigma_{rs}}{\sigma}$$

Tabella 5.I - Carico di rottura e di snervamento (valori di riferimento - cfr. punto 5.1)

Qualità acciaio	Dimensione mm	Carico unitario di rottura f_t N mm ⁻²	Carico unitario di scostamento dalla proporzionale f_y N mm ⁻²
Fe 360		360	205
Fe 490		490	275
Fe 590		590	315
Fe 690		690	345
C 25 normalizzato	da 16 a 100	410	235
C 25 bonificato	fino a 16	540	360
	oltre 16 fino a 40	490	305
C 35 bonificato	fino a 16	560	295
	oltre 16 fino a 40	550	285
	oltre 40 fino a 100	540	275
C 40 bonificato	fino a 16	665	460
	oltre 16 fino a 40	640	420
	oltre 40 fino a 100	590	370
C 45 bonificato	fino a 16	705	490
	oltre 16 fino a 40	690	460
	oltre 40 fino a 100	640	410
C 60 bonificato	fino a 16	785	550
	oltre 16 fino a 40	775	540
	oltre 40 fino a 100	740	450

seguito Tabella 5.I

Qualità acciaio	Dimensione mm	Carico unitario di rottura f_t N mm ⁻²	Carico unitario di scostamento dalla proporzionale f_y N mm ⁻²
35 Cr Mo 4 bonificato	fino a 16	930	735
	oltre 16 fino a 40	880	665
	oltre 40 fino a 100	780	560
	oltre 100 fino a 160	740	510
42 Cr Mo 4 bonificato	fino a 16	1 030	835
	oltre 16 fino a 40	930	735
	oltre 40 fino a 100	830	635
	oltre 100 fino a 160	780	560
	oltre 160 fino a 250	735	510
39 Ni Cr Mo 3 bonificato	fino a 16	980	785
	oltre 16 fino a 40	930	735
	oltre 40 fino a 100	880	685
	oltre 100 fino a 160	830	635
	oltre 160 fino a 250	685	540
30 Ni Cr Mo 12 bonificato	fino a 40	980	785
	oltre 40 fino a 100	930	735
	oltre 100 fino a 250	880	685
40 Ni Cr Mo 7 bonificato	fino a 16	1 030	835
	oltre 16 fino a 40	980	785
	oltre 40 fino a 100	930	735
	oltre 100 fino a 250	780	635

5.3 - Coefficiente di sicurezza

Il grado di sicurezza deve risultare uguale o superiore al coefficiente di sicurezza dato da:

$$\gamma_{as} = \gamma_{spe} * \gamma_{saf} * \gamma_{sac}$$

dove

γ_{spe} è il coefficiente di sicurezza dato dalla tabella 5.II, in funzione della condizione di carico e del grado di pericolosità

γ_{saf} è un coefficiente di correzione, in funzione del grado di affidabilità (cfr. tab. 5.II)

γ_{sac} è un coefficiente di correzione, in funzione del grado di accettabilità (cfr. tab. 5.II)

Tabella 5.II - Coefficiente di sicurezza γ_{spe} per la verifica a resistenza statica

Condizione di carico	I	II
grado di pericolosità A (lieve)	1.35	1.20
grado di pericolosità B (medio)	1.50	1.35
grado di pericolosità C (grave)	1.70	1.50

Coefficienti di correzione γ_{saf} :

- per grado di affidabilità:

A	(ridotto)	0.96
B	(normale)	1.00
C	(elevato)	1.20

Coefficienti di correzione γ_{sac} :

- per grado di accettabilità:

A	(lieve)	1.06
B	(normale)	1.00
C	(elevato)	0.95

- per grado di accettabilità non previsto dalle presenti istruzioni

1.10

6. - VERIFICA ALLA RESISTENZA A FATICA

La verifica a fatica può essere eseguita in base ad uno dei seguenti metodi:

metodo A (χ) rapporto $\chi = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ tra la tensione minima la tensione massima

metodo B (range) $\sigma_m + \sigma_a$

dove σ_m è la componente statica e σ_a è la componente affaticante e sono definite dalle relazioni

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

I metodi definiti per la componente di tensione σ si applicano anche alla componente di tensione τ .

6.2 - Numero di cicli

6.2.1 - Numero totale di cicli effettivo

Per ciascuna componente di tensione si deve tener conto del numero totale dei cicli di tensione N_t ai quali l'albero è sottoposto durante la sua vita.

Nel caso, più comune per un albero, che il ciclo coincida con un giro, il numero di cicli totale effettivo a cui l'albero è sottoposto è dato dalla sommatoria, riferita alla durata totale in ore H:

$$N_t = 60 \sum n_i h_i$$

dove:

n_i è la velocità di rotazione in giri al minuto per il tempo h_i in ore
 $H = \sum h_i$ è la durata totale in ore.

La durata totale in ore H dipende dalla classe del meccanismo al quale l'albero appartiene. In assenza di normativa o di specifica, si può fare riferimento alla classificazione riportata in Appendice D.

6.2.2 - Spettro delle tensioni

Lo spettro delle tensioni caratterizza l'impegno a fatica nel punto della sezione dell'albero presa in considerazione, durante tutta la durata della sua utilizzazione
Esso è definito dal fattore di spettro K dato dall'espressione:

$$K = \int_0^1 y^c dx$$

nella quale:

y è la frazione della tensione affaticante massima per la frazione dx della sua durata totale
c è il coefficiente angolare della curva di Wöhler, dipendente dalle caratteristiche del materiale e della forma, dalle dimensioni dell'albero, dalla rugosità superficiale e dal suo grado di corrosione. Il suo valore va determinato mediante le espressioni riportate al punto 6.5

Nel caso si hanno r coppie di valori caratterizzati da tensioni affaticanti σ_i , agenti ciascuna per N_i cicli, il

valore del fattore di spettro risulta:

$$K = \sum_{i=0}^r \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \right)^c \frac{N_i}{N_t}$$

nella quale:

σ_{\max} è il valore massimo tra le tensioni σ_i
 N_t è il numero di cicli totale = $\sum_{i=1}^r N_i$

6.2.3 Numero di cicli equivalente

la verifica a fatica va eseguita:

- sulla base dei valori:

$$\sigma_{\max} = \sigma_m + \max(\sigma_a)$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_m + \min(\sigma_a)$$

dove σ_m è la componente statica coagente con la max (σ_a)
- per un numero di cicli equivalente N dato dalla espressione:

$$N = K \cdot N_\tau$$

dove K è il fattore di spettro definito al punto 6.2.2.

6.3 - Tensioni limite di resistenza a fatica alternata

Le tensioni limite di resistenza a fatica alternata per la verifica, sono date dalle seguenti espressioni:

- per le tensioni normali

$$\sigma_{rf} = \sigma_f K_N / K_\sigma$$

- per la tensione tangenziale:

$$\tau_{rf} = \tau_f K_N / K_\tau$$

nelle quali:

σ_f e τ_f sono i limiti di resistenza a fatica alternata del materiale.

La tensione limite di resistenza a fatica per flessione σ_f può essere assunta uguale alla metà del carico di rottura del materiale, relativo al diametro del grezzo.

Per la trazione e la compressione detto valore deve essere ridotto del 30%. Per la tensione tangenziale si può assumere $\tau_f = \sigma_f / \sqrt{3}$ ¹

K_σ e K_τ sono i coefficienti che tengono conto della forma, del diametro e del tipo di lavorazione a cui l'albero può essere soggetto (cfr. 6.4).

Nel caso di taglio puro (ad esempio per azione tranciante), si assume $K_\tau = 1$

K_N è un coefficiente che tiene conto del numero di cicli totale equivalente N (cfr. 6.6)

¹ Limiti di resistenza a fatica alternata diversi possono essere assunti, purché adeguatamente documentati a laboratori ufficiali, sulla base di prove eseguite anche con il metodo stircase su almeno 10 provini.

Se i valori di σ_{rf} e τ_{rf} risultano superiori rispettivamente a $f_y - \sigma_m$ e $f_y/\sqrt{3} - \tau_m$ devono assumere questi ultimi valori.

6.4 - Coefficienti K_σ e K_τ , relativi a forma, dimensione dell'albero, tipo di lavorazione e corrosione
I valori dei coefficienti K_σ e K_τ sono dati dalle espressioni:

$$K_\sigma = K_{s_\sigma} \cdot K_d \cdot K_u \cdot K_c$$

$$K_\tau = K_{s_\tau} \cdot K_d \cdot K_u \cdot K_c$$

dove:

K_{s_σ} e K_{s_τ} sono coefficienti dipendenti dalla forma dell'albero (cfr. 6.4.1)

K_d è un coefficiente dipendente dal diametro (cfr. 6.4.2)

K_u è un coefficiente dipendente dal tipo di lavorazione (cfr. 6.4.3)

K_c è un coefficiente che tiene conto dell'eventuale pericolo di corrosione a cui il pezzo può essere soggetto (cfr 6.4.4)

6.4.1 - Coefficienti K_{s_σ} e K_{s_τ}

I coefficienti K_{s_σ} e K_{s_τ} tengono conto della concentrazione delle tensioni causate dal cambiamento di sezioni per raccordi, per chiavette, per fori trasversali o da mozzi calettati a caldo, ecc.

I diagrammi da 6.I a 6.V danno i coefficienti K_{s_σ} e K_{s_τ} per le seguenti concentrazione di tensione:

6.I raccordi;

6.II chiavette;

6.III scanalature;

6.IV foro trasversale;

6.V mozzi calettati a caldo

Per le concentrazione di tensione non contemplate nei diagrammi precedenti, i coefficienti K_s (sia per σ che per τ) devono essere calcolati mediante l'espressione:

$$K_s = q(K_t - 1) + 1$$

nella quale:

K_t è il coefficiente teorico elastico di concentrazione delle tensioni, che può essere ricavato da:

- autorevole letteratura scientifica;
- adeguate prove sperimentali;
- affidabile calcolo matematico.

q è la sensibilità all'intaglio, dato dalla espressione $q = 1/(1 + a/r)$ nel caso di difficoltà nella individuazione del valore di r , porre $q=1$;

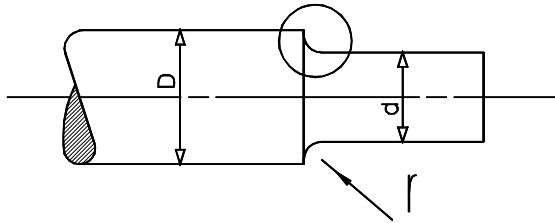
r è il raggio di fondo intaglio in mm;

a è un coefficiente dipendente dal carico di rottura del materiale, dato dalla seguente tabella:

f_t (N mm ⁻²)	a	f_t (N mm ⁻²)	a	f_t (N mm ⁻²)	a
300	0,420	800	0,145	1300	0,065
400	0,330	900	0,117	1400	0,057
500	0,265	1000	0,038	1500	0,050
600	0,212	1100	0,094	1600	0,043
700	0,175	1200	0,077	1700	0,034

Diagramma 6.I - Coefficienti $K_{s\sigma}$ e $K_{s\tau}$ per cambiamenti di diametro

$$k_{s\sigma} = 1 + \gamma_{\sigma} \cdot f_{s\sigma}$$



$$k_{s\tau} = 1 + \gamma_{\tau} \cdot f_{s\tau}$$

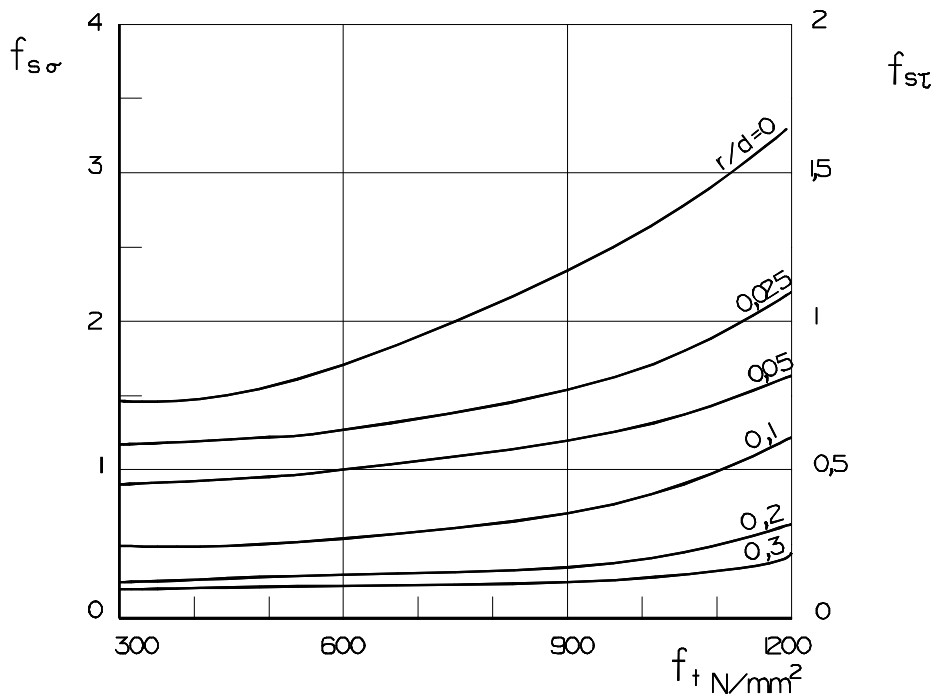
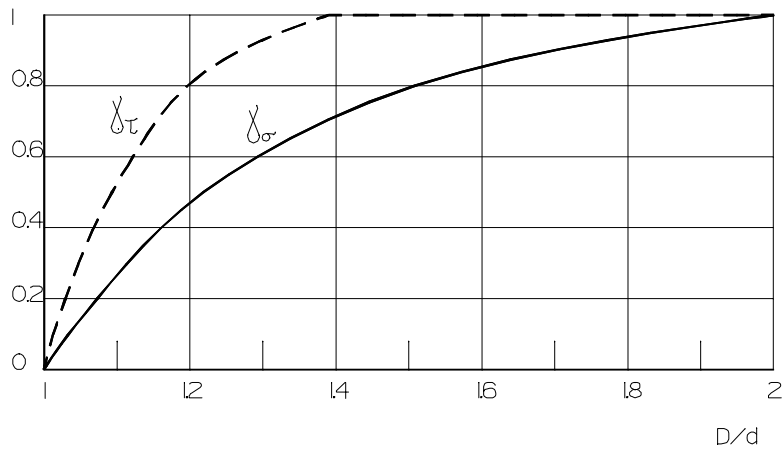
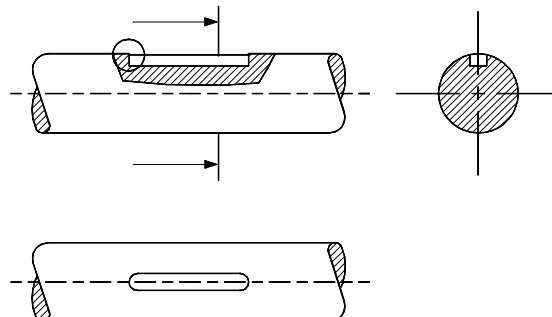


Diagramma 6.II - Coefficienti $K_{s\sigma}$ e $K_{s\tau}$ per cambiamenti di chiavette

I valori dati dal diagramma sono approssimati. Per un'analisi più approfondita, fare riferimento alla letteratura

Forma della chiavetta I



Forma della chiavetta II

$\min r = D/4$

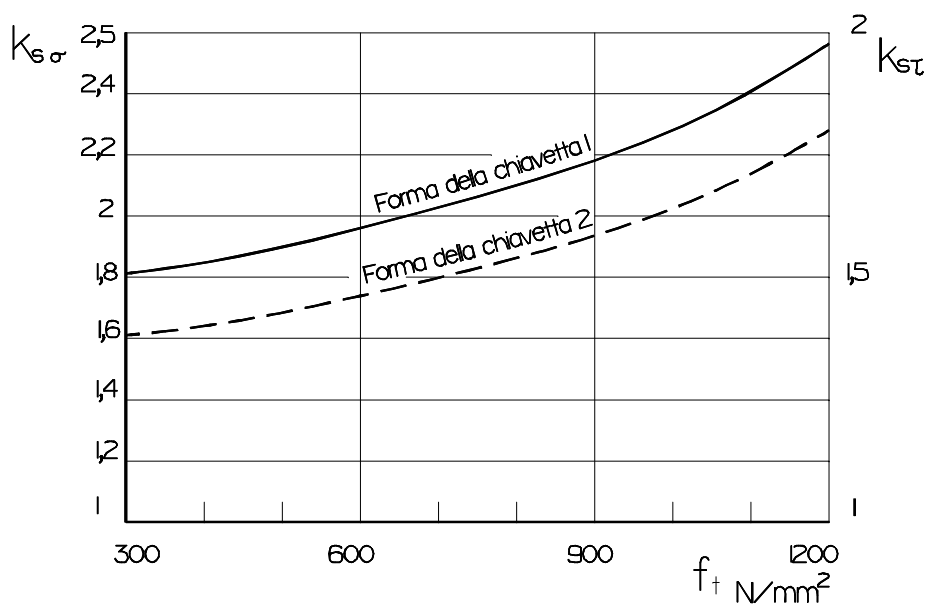
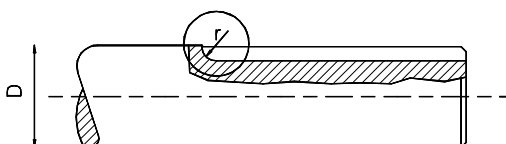


Diagramma 6.III - Coefficienti $K_{s\sigma}$ e $K_{s\tau}$ per alberi scanalati

I valori dati dal diagramma sono approssimati. per un'analisi più approfondita, fare riferimento alla letteratura

$\min r = D/4$

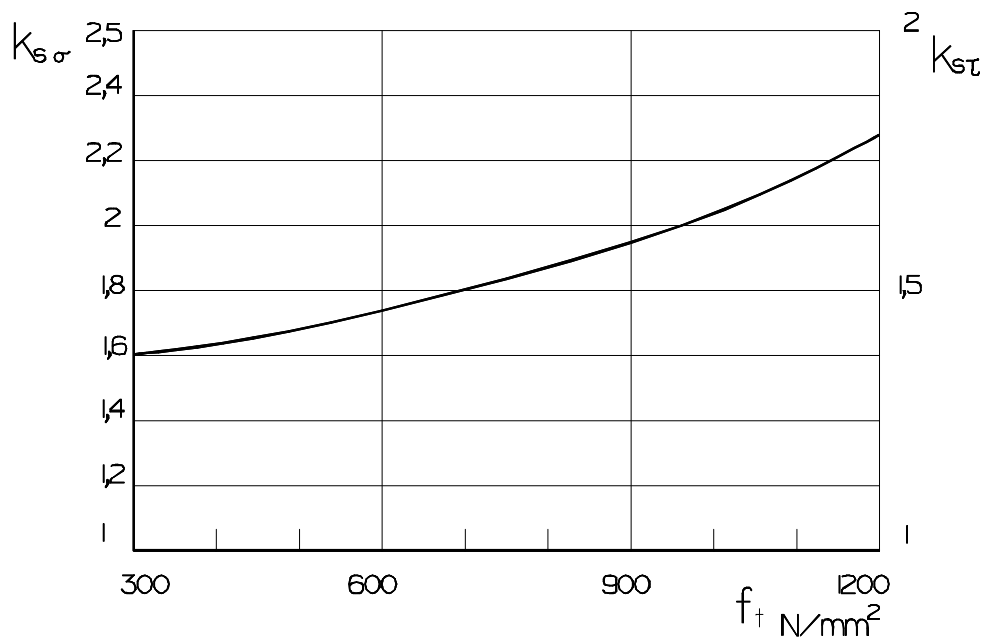
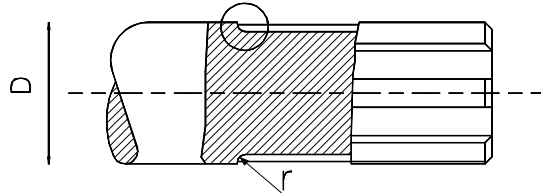


Diagramma 6. IV - Coefficienti $K_{s\sigma}$ e $K_{s\tau}$ per alberi cavi con foro trasversale

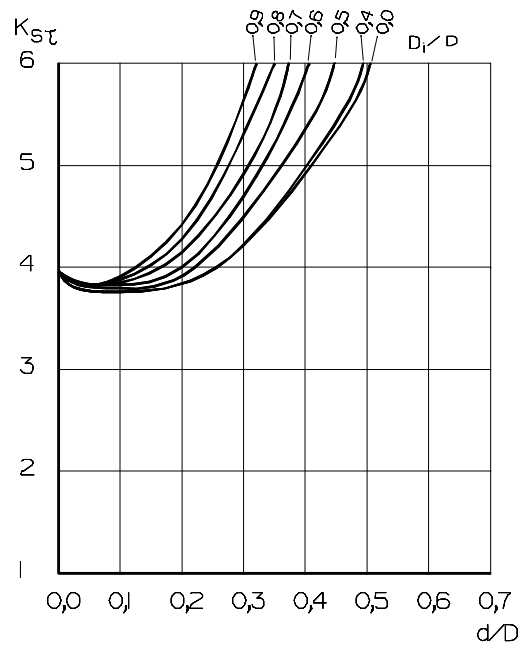
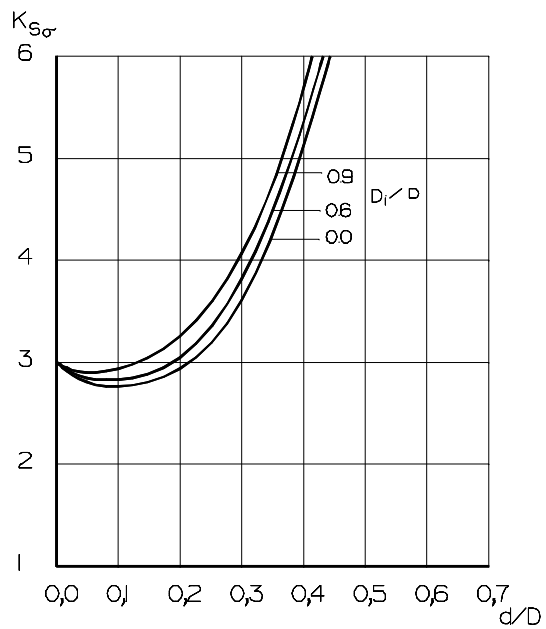
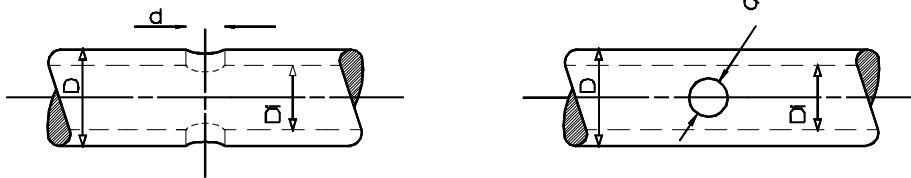
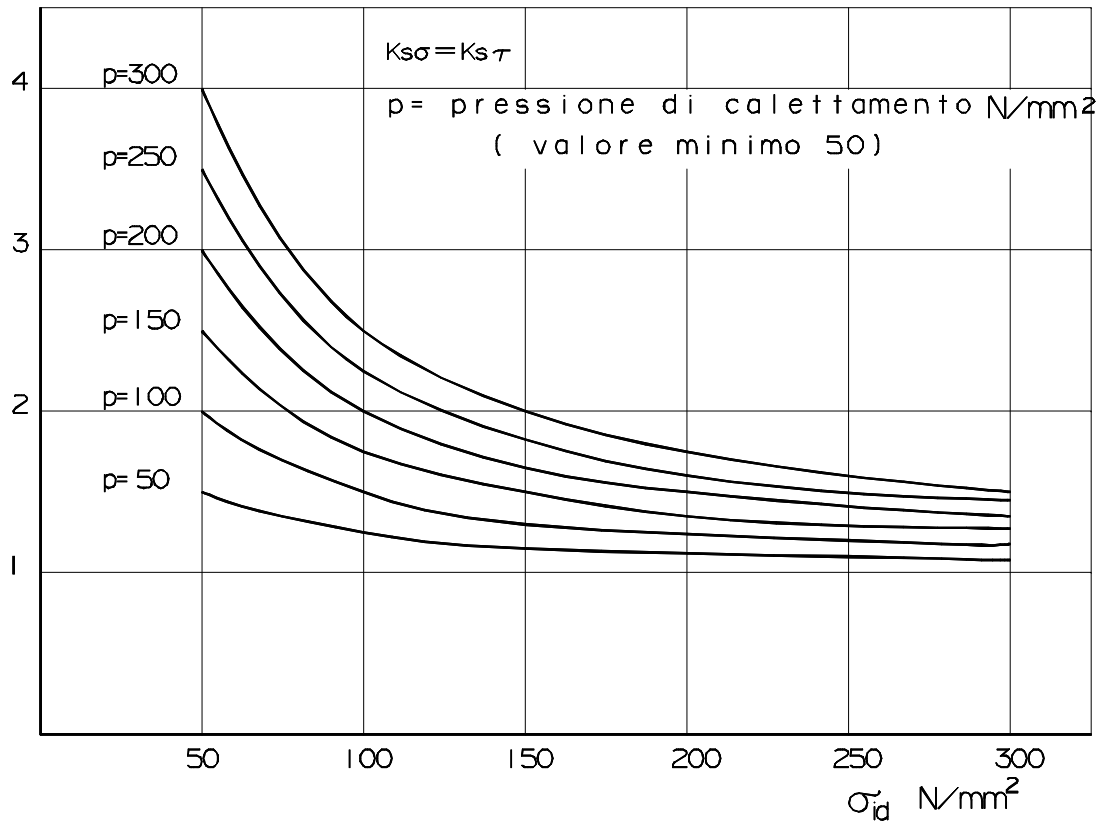


Diagramma 6. V - Coefficienti $K_{s\sigma}$ e $K_{s\tau}$ per mozzi calettati a caldo

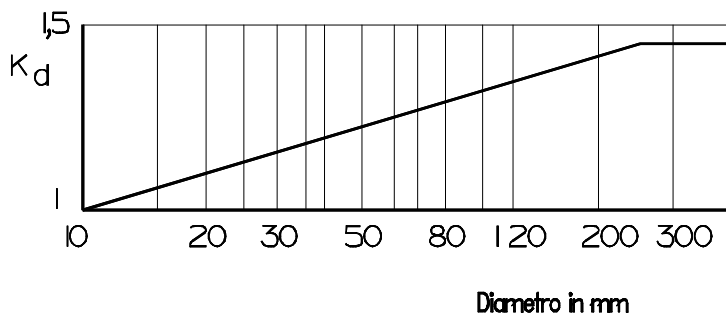


6.4.2 - Coefficiente K_d

Il coefficiente K_d tiene conto del fatto constatato sperimentalmente che la resistenza a fatica, a parità di tutte le altre condizioni, diminuisce con l'aumentare delle dimensioni dell'elemento.

Il diagramma 6.VI. dà il coefficiente k_d in funzione del diametro dell'albero. per superfici laminate, forgiate o fuse assumere $K_d = 1$

Diagramma 6.VI. - Coefficiente K_d in funzione del diametro dell'albero



6.4.3 - Coefficiente

K_u

Il coefficiente K_u tiene conto dello stato della superficiale e della lavorazione che ha subito.

Il diagramma 6.VII. dà il valore del coefficiente K_u in funzione del carico di rottura del materiale per i tipi di finitura segnati a fianco.

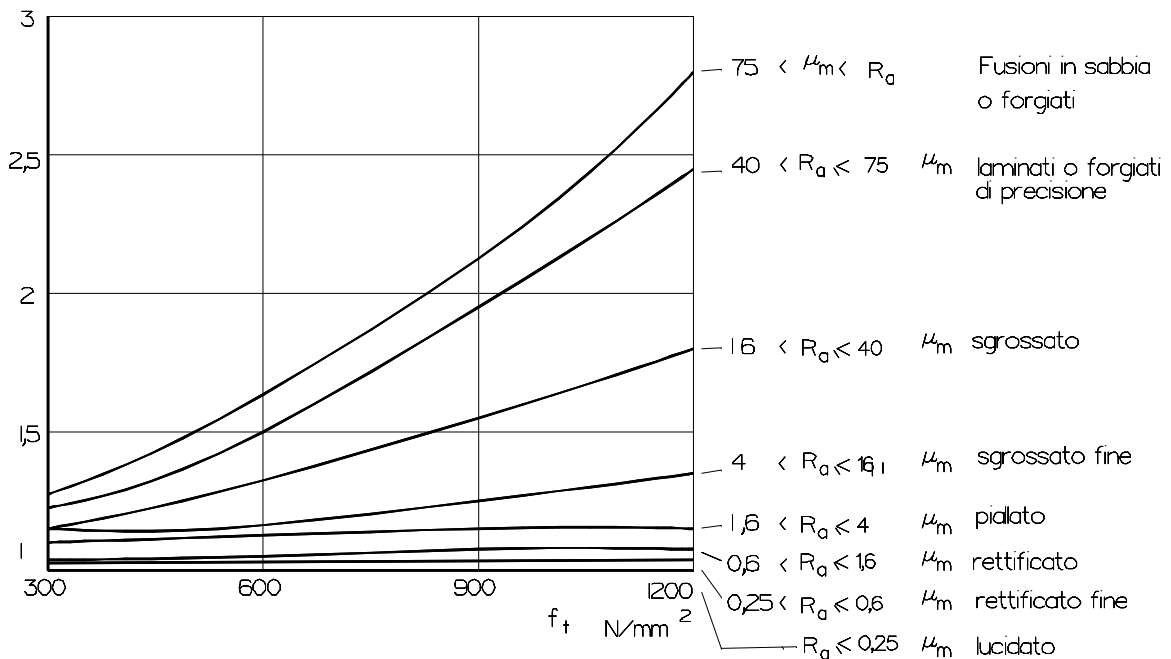


Diagramma 6.VII. Coefficiente K_u in funzione del tipo di finitura del pezzo.

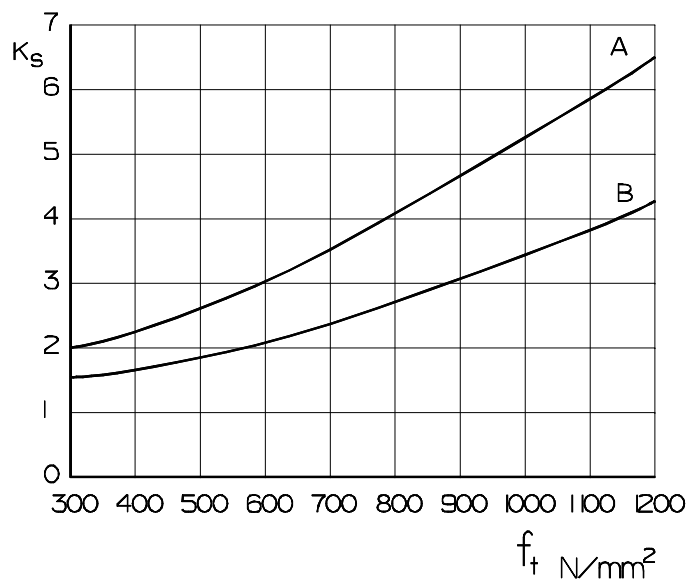
6.4.4 Coefficiente K_c

Normalmente l'influenza della corrosione non è da prendere in considerazione e pertanto si assume $K_c = 1$

Nel caso eccezionale in cui l'albero può rimanere in esercizio dopo aver subito un'azione corrosiva di acqua dolce o marina, si assumono per K_c i valori dati dal diagramma 6.VIII in funzione del carico di rottura del materiale per i seguenti casi:

- curva A : corrosione dovuta all'azione di acqua dolce
- curva B : corrosione dovuta all'azione di acqua di mare

Diagramma 6.VIII - Coefficiente K_c per corrosione d'acqua dolce (curva A) e d'acqua marina (curva B)



Nel caso in cui l'albero lavori in ambiente corrosivo, ricavare i valori dalla letteratura.

6.5 - Coefficiente K_χ dipendente dal rapporto tra la tensione minima e la tensione massima

Il coefficiente K_χ da valutarsi se si adotta il metodo A è dato dalle espressioni:

- se χ è compreso tra -1 e 0:

$$K_\chi = \frac{5}{3 - 2\chi}$$

- se χ è compreso tra 0 e +1:

- per tensioni normali:

$$K_{\chi\sigma} = \frac{\frac{5}{3}}{1 - \left(1 - \frac{5\sigma_f}{3K_\sigma f_t}\right)\chi}$$

- per tensioni tangenziali:

$$K_{\chi\tau} = \frac{\frac{5}{3}}{1 - \left(1 - \frac{5\sigma_f}{3K_\tau f_t}\right)\chi}$$

nelle quali:

χ è il rapporto tra la tensione minima e la tensione massima che si verifica durante un ciclo ($\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ oppure τ_{\min}/τ_{\max}).

Il valore di χ da assumere deve comunque non essere superiore a ciascuno dei seguenti valori:

$$\frac{2-f_u}{f_u} \quad \text{e} \quad 0.6$$

f_u è il fattore di servizio (cfr. prospetto 2.1.)

6.6 - Coefficiente K_N per il numero totale di cicli equivalente
 Il valore del coefficiente K_N è dato dalla formula:

$$K_N = \left(\frac{2 \cdot 10^6}{N}\right)^{\frac{1}{c}}$$

nella quale:

N è il numero di cicli totale equivalente

c è la pendenza della curva di Wölher data da:

$$c = \frac{\ln \frac{2 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^3}}{\ln \frac{f_t \cdot K_\sigma}{\sigma_f \cdot K_\kappa}} \quad \text{per tensioni normali}$$

$$c = \frac{\ln \frac{2 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^3}}{\ln \frac{f_t \cdot K_\tau}{\sigma_f \cdot K_\kappa}} \quad \text{per tensioni tangenziali}$$

Se il valore di c risulta inferiore a 2,5 è consigliato di riprogettare l'albero.

Se N risulta maggiore di 2 000 000, al posto di c , va considerato il valore

$c' = c + \sqrt{(c^2 + 1)}$ e di conseguenza va ricalcolato il valore di K (K') (cfr 6.2.2) e di K_N (K_N').

Nel caso particolare in cui il valore di N' (cioè il numero di cicli equivalente relativo al valore c') risultasse inferiore a 2 000 000 occorre prendere in considerazione i due valori della tensione limite a fatica ed assumere il minore dei due.

6.7 - Grado di sicurezza

Il grado di sicurezza per ciascuna componente di tensione $\gamma_{f\sigma} = \gamma_{f\tau}$ è determinato secondo i punti 6.7.1 e 6.7.2 in funzione del metodo di verifica seguito.

Il grado di sicurezza globale è da determinarsi secondo il punto 6.7.3

E' da tener presente che adottando il metodo B non è necessario determinare il grado di sicurezza alla verifica statica di cui il punto 5.2

6.7.1 Metodo A (χ)

$$\gamma_{f\sigma} = \sigma_{rf} \cdot \frac{K_{\chi\sigma}}{\sigma_{\max}}$$

$$\gamma_{f\tau} = \tau_{rf} \cdot \frac{K_{\chi\tau}}{\tau_{\max}}$$

6.7.2 Metodo B (range)

$$\gamma_{f\sigma} = \frac{1}{K_{\gamma} \frac{\sigma_m}{f_t} + \frac{\sigma_a}{\sigma_{rf}}}$$

$$\gamma_{f\tau} = \frac{1}{\sqrt{3} K_{\gamma} \frac{\tau_m}{f_t} + \frac{\tau_a}{\tau_{rf}}}$$

(il primo termine del denominatore deve essere omissso se σ_m o τ_m sono <0)
nelle quali:

K_{γ} è il rapporto tra il coefficiente di sicurezza statico γ_{as} (cfr. 5.3)
e il coefficiente di sicurezza a fatica γ_{af} (cfr. 6.8)

σ_m e τ_m sono le componenti affaticanti delle tensioni σ e τ

σ_a e τ_a sono le componenti affaticanti delle tensioni σ e τ , da valutarsi secondo le seguenti espressioni:

Se $\sigma_a < \beta_{\sigma m}$ si assume $\sigma_a = \beta_{\sigma m}$

Se $\tau_a < \beta_{\tau m}$ si assume $\tau_a = \beta_{\tau m}$

nella quale:

β è dato dal valore $f_u - 1$ (cfr. 2.1) con minimo di 0,25

6.7.3 - Grado di sicurezza globale

$$\gamma_f = \frac{\gamma_{f\sigma} \cdot \gamma_{f\tau}}{\sqrt{\gamma_{f\sigma}^2 + \gamma_{f\tau}^2}}$$

6.8 - Coefficienti di sicurezza

Il grado di sicurezza deve risultare uguale o superiore al coefficiente di sicurezza dato dall'espressione:

$$\gamma_{af} = \gamma_{fpe} \cdot \gamma_{faf} \cdot \gamma_{fac}$$

nella quale:

γ_{fpe} è il coefficiente di sicurezza dato dal progetto 6. VIII, in funzione del grado di pericolosità;

γ_{faf} è il coefficiente di correzione in funzione del grado di affidabilità (cfr tab 6.VIII)

γ_{fac} è il coefficiente di correzione, in funzione del grado di accettabilità (cfr tab 6.VIII)

Tabella 6.VIII - Coefficienti di sicurezza per la verifica a fatica γ_{fpe}

grado di pericolosità	(lieve)	A	1,10
grado di pericolosità	(medio)	B	1,25
grado di pericolosità	(grave)	C	1,50

Coefficienti di correzione

- per grado di affidabilità γ_{faf}

(ridotto)	A	0,96
(normale)	B	1,00
(elevato)	C	1,20

- per grado di accettabilità γ_{fac}

(ridotto)	A	1,04
(normale)	B	1,00
(elevato)	C	0,97

- per grado di accettabilità non conforme alle presenti istruzioni

1,08

7. - ALTRE VERIFICHE

Oltre alle verifiche di resistenza di cui al paragrafo 6, vanno eseguite anche verifiche di deformabilità elastica ed in particolare le seguenti:

7.1 - Gli spostamenti radiali e le inclinazioni dell'asse dell'albero rispetto all'asse di rotazione dovranno essere compatibili con la funzionalità degli organi meccanici calettati sull'albero; in assenza di prescrizioni più restrittive, nelle condizioni di carico I, gli spostamenti dei baricentri delle sezioni dell'albero non dovranno eccedere lo 0,0005 della distanza tra i supporti, nel tratto compreso tra i supporti stessi, e lo 0,0008 di tale distanza negli eventuali tratti a sbalzo; analogamente, le inclinazioni calcolate in corrispondenza degli appoggi non dovranno - ove non siano prescritte limitazioni più restrittive - superare lo 0,001.

7.2 - La rigidezza torsionale dell'albero dovrà essere sufficiente a garantire una buona regolarità del moto di rotazione, anche in presenza di fluttuazioni accidentali delle coppie di torsione: tale condizione - ove non siano prescritte limitazioni più restrittive - può ritenersi soddisfatta se, con la coppia massima, la deformazione torsionale non eccede $0,004 \text{ rad m}^{-1}$.

7.3 - Il comportamento dinamico dell'albero dovrà essere verificato nei riguardi dei fenomeni vibratori (torsionali, flessionali e, se necessario, longitudinali), indotti dal carico nell'ambito dei regimi di rotazione previsti in esercizio.
Pertanto deve essere fatto un oculato controllo delle frequenze proprie dei moti flessionali e torsionali nelle condizioni di carico.

APPENDICE A

Il procedimento indicato in questa appendice è stato desunto da normative per apparecchi di sollevamento e può essere adeguato anche ad applicazioni diverse.

Valutazione delle coppie massime

Le coppie massime sull'albero sono da valutare, tenendo conto di quanto indicato qui di seguito.

A.1- Coppia esercitata dai motori

La coppia massima dovuta ai motori in fase di avviamento è data dalle seguenti formule:

- per movimenti verticali:

$$C = \phi_a [C_r + (\frac{2}{3}C_a - C_r) \frac{I_a}{I_a + I_m}]$$

- per movimenti orizzontali:

$$C = C_r + \phi_a [C_r + (\frac{2}{3}C_a - C_r) \frac{I_a}{I_a + I_m}]$$

nelle quali:

C_r è la coppia a regime nell'albero considerato;

C_a è la coppia allo spunto generata dal motore

I_a è il momento di inerzia relativo alla parte di meccanismo a valle dell'albero considerato;

I_m è il momento di inerzia relativo alla parte di meccanismo a monte dell'albero considerato;

ϕ_a è un coefficiente dipendente dal tipo di motore e vale, per alberi collegati direttamente al motore: ²

1,5 per motori in corrente continua;

1,7 per motori asincroni ad anelli;

1,8 per motori in corto circuito;

1,3 per motori idraulici

A.2- Coppia esercitata dai freni

La coppia massima esercitata dall'azionamento dei freni è data dalla formula

$$C = C_r - (\phi_f \cdot C_f + C_r) \frac{I_a}{I_a + I_m}$$

nella quale:

C_f è la coppia frenante

ϕ_f è un coefficiente che dipende dal tipo di azionamento del freno e vale, per albero collegato direttamente

² Per non direttamente collegati al motore o al freno, detto valore va:

- diminuito del 10% per movimenti verticali
- aumentato del 10% per movimenti orizzontali

al freno: ³

- 1,8 per frenatura elettrica in controcorrente
- 1,5 per frenatura meccanica ad azionamento elettroidraulico
- 2,0 per frenatura meccanica ad azionamento elettromagnetico
- 1,5 per frenatura meccanica a pedale
- 1,2 per frenatura meccanica con regolatore centrifugo.

A.3- Coppia dinamica

La coppia dinamica da considerare è data da

$$C_r \cdot f_u$$

nella quale f_u è il fattore di servizio (cfr. 2.6)

³ Per alberi non collegati direttamente al motore o al freno (cfr nota precedente)

APPENDICE B

B.I. Coefficienti di attrito

Nel prospetto B.I. sono riportati i valori minimo e massimo dei coefficienti di attrito f.

Prospetto B.I - Coefficienti di attrito f

Cuscinetti ad attrito volvente	0,002 -	0,0008	
Cuscinetti ad attrito radente	0,004 -	0,002	
acciaio su acciaio	- asciutto	0,33 -	0,11
	- lubrificato	0,15 -	0,01
acciaio su ghisa	- asciutto	0,20 -	0,16
	- lubrificato	1,11 -	0,01
acciaio su bronzo	- asciutto	0,20 -	0,16
	- lubrificato con grasso	0,10 -	0,01
	- lubrificato con olio su superficie rettificata	0,05 -	0,01
acciaio su poliamidi	- asciutto	0,35 -	0,10
	- lubrificato	0,10 -	0,05
acciaio su politetrafluoretilene - asciutto	0,10 -		0,03

B.2- Rendimenti

Nel prospetto B.II sono riportati i rendimenti indicativi minimi e massimi per coppie di ingranaggi.

Prospetto B.II

Coppia di ingranaggi:

- ingranaggi cilindrici:			
	lubrificati in bagno d'olio	0,98 ÷	0,99
	lubrificati con grasso	0,96 ÷	0,98
- ingranaggi conici			
	lubrificati in bagno d'olio	0,97 ÷	0,98

APPENDICE C

Classificazione del carico delle macchine più correnti

Applicazione	Classif. del carico	Applicazione	Classif. del carico
Agitatori		Presse manicotto	U1
per liquidi e variabile	U2	Raffinatori	U3
per liquidi e solidi	U2	Rulli da patinatura	U1
per liquidi puri	U1	Rulli per carne	U1
		Scortecciatrici a tamburo	U3
Alimentatori automatici per combustib.	U1	Scortecciatrici meccaniche	U2
Apparecchi di sollevamento	U2 - U3	Sminuzzatori	U3
		Super calandre	U3
Betoniere per calcestruzzo		Taglierine	U3
(continuo o intermittente)	U2	Trasportatori	U1
Birrerie e distillerie		Compressori	
Caldaie per birre servizio continuo	U1	A lobi	U2
Macchinari per l'imbottigliamento	U1	Alternativi monocilindrici	U3
Sbuciatrici (avviamenti frequenti	U2	Alternativi pluricilindrici	U2
Tipi di macerazione	U1	Centrifughi	U1
Tostatore per malto e cereali	U1		
		Convogliatori	
Cartiere		Per servizio pesante e non	
Agitatori e mescolatori	U2	uniformemente caricati o	
Alimentatori di "chips"	U2	alimentati	U2
Arrotolatori	U1	Trasportatori a scossa e alternativi	U3
Bobine (rotoli)	U1	Uniformemente caricati o alimentati	U1
Calandre	U2	Crivelli	
Cilindro aspirante	U1	Lavaggio ad aria	U1
Cilindro essiccatore	U2	Prese d'acqua mobili	U1
Cilindro tenditore del feltro	U2	Vaglio rotante per pietra e ghiaia	U2
Essiccatori	U1		

Estrusori	U2	Depuratori	U1
Goffratori	U1		
Jordar	U2	Dispositivi di ribaltamento carri merci	U3
Taglierine	U3		
Olandesi imbiancatrici	U1		
Olandesi lavatrici e addens.	U2		
Draghe		Confezionatrici per pneumatici	
Ammucchiatori	U2	Macchine da laboratorio	U2
Argani di manovra ed ausiliari	U2	Mescolatori a cilindri	U3
Comando livello oscillante	U3	Mescolatori preriscaldatori	U2
Comando.....	U3	Raffinatori	U2
Pompe	U2	Rompitori	U3
Tamburi di avvolgimento cavi	U2	Sheeter	U2
Trasportatori	U2	Trafile per battistrada e trafile filtro	U2
Elevatori		Industria del legno	
Ascensori per trasporto merci	U2	Comando avanzamento pialla e rifilat.	U2
A tazze		Comando avanzamento tronchi	U2
Con carico uniforme o continuo	U1	Piccoli trasportatori per scarti	
Con carico pesante o non uniforme	U2	a cinghie	U1
Scale mobili	U1	a catena	U2
		Scortecciatrici idraulico meccaniche	U2
Forni a spinte per bramme	U3	Scortecciatrici a tamburo	U3
		Selezionatrice per tavole	U2
Frantoi		Trasportatori a gru scorrevole	U3
Per canne da zucchero	U2	Trasportatori bruciatori	U2
Per minerali	U3	Trasportatori per tronchi	
Per pietra	U3	a catena	U3
		inclinati	U3
Generatori di corrente			
esclusi quelli per saldatura	U1	Industria petrolifera	
		Dispositivi di pompaggio dai pozzi	U3

Industria Alimentare		Filtri pressa per paraffina	U2
Bollitori per cereali	U1	Forni rotativi	U2
Mescolatori per pasta	U2	Raffreddatori	U2
Tagliatrici per barbabietole	U2		
Tritacarne	U2	Industria tessile	
		Calandre	U2
Industria della gomma e della plastica		Carde	U2
Batterie di mescolatori per gomma		Essiccatoi	U2
2 per linea	U2	Felpatrici	U2
Batterie di mescolatori per gomma		Filatoi	U2
3 per linea	U1	Imbozzatrici	U2
Calandre per gomma	U2	Impermeabilizzatori	U2
Insaponatori	U2	Macchine utensili varie	
Lavatrici	U2	comandi principali	U2
Macchine per maglieria	U2	comandi ausiliari	U1
Macchine per tingere	U2	Piallatrici	U3
Mangani	U2	Presses punzonatrici a comando	
Roccheterie	U2	meccanico	U3
Stiratoi a secco	U2		
Telai da tessitura	U2	Mescolatori	
		Per sostanze a densità costante	U1
Laminatoi		Per sostanze a densità variabile	U2
Banchi a tirare carro e comando			
principale	U2	Montacarichi	
Bobinatrici per filo	U2	A benna	U2
Linea di cesoiatura	U2	Per serviziorapido	U2
		Per serviziointermittente	U3
Profilatrici	U3		
Trafile a schiaccia filo	U2	Mulini e martelli	U3
Vie a rulli reversibili			
Vie a rulli non reversibili		Mulini rotativi	
con comando a gruppo	U2	Barilatrici	U3

con comando a singolo	U3	Essiccatori e raffreddatori	U2
		Forni da cemento	U2
Lavanderie		Forni rotativi	U2
Centrifughe	U2	Mulini a barre piane e triangolari	U2
Lavatrici a moto alterno	U2	Mulini a palle e a sass.	U2
Lavorazioni dell'argilla		Pompe	
Impastatrici	U2	Alternative	
Macchine per mattonelle		a semplice effetto 3 o più cilindri	U2
Presse per mattoni	U3	a doppio effetto 2 o più cilindri	U2
		a vuoto	U2
Macchine per inscatolamento	U1		
		Centrifughe	U1
Macchine utensili		Rotative a capsulismi e ad ingranaggi	U1
Curvatrici rotolatrici di lamiere	U2		
Filettrici	U3	Trasportatori	
		A coclea	U2
Presse per stampa		A disco	U1
soffianti	U2	A nastro	U2
a lobi	U1	A piastre	U3
a palette	U1	Alternativi	U3
Centrifughe	U1	Vagli classificatori	U2
		Ventilatori	
Tagliatrici per canna da zucchero	U2	a tiraggio indotto	U2
Trascinatori per carri (Cabestran)	U2	Centrifughi	U1
Trascinatori per trasporti con chiatte	U3	Grossi per miniera e industriali	U2
Trasmissioni		Piccoli ventilatori di piccolo diametro	U1
per linee di fabbricazione		Zuccherifici	
servizio normale	U2	Diffusori	U2
servizio leggero	U1	Frantoi	U2
Altre trasmissioni	U1	Mulini	U2
		Tagliatrici per canna	U2

APPENDICE D

Classificazione del meccanismo

I meccanismi sono raggruppati in classi, secondo il servizio al quale sono destinati.
La classe viene determinata in base alla condizione di impiego e al regime di carico.

D.1 - Condizione di impiego

La condizione di impiego dipende dalla durata totale di utilizzazione prevista.

La durata totale massima di utilizzazione va determinata in base al tempo medio di effettivo movimento previsto al giorno; dal numero di giorni e dal numero di anni di impiego previsti prima della sua sostituzione.

Le condizioni di impiego previste sono dieci, come definito nel prospetto D.I.

Prospetto D.I: - Condizioni di impiego

Condizione	durata totale in ore H		note
T0	H ≤	200	uso temporaneo
T1	200 < H ≤	400	
T2	400 < H ≤	800	uso irregolare
T3	800 < H ≤	1 600	
T4	1 600 < H ≤	3 200	uso regolare leggero
T5	3 200 < H ≤	6 300	uso regolare intermittente
T6	6 300 < H ≤	12 500	uso regolare intenso
T7	12 500 < H ≤	25 000	
T8	25 000 < H ≤	50 000	uso intenso
T9	50 000 < H		

D.2. - Regimi di sollecitazione

Il regime di sollecitazione precisa in quale misura il meccanismo è sollecitato durante la durata totale della sua utilizzazione.

Si distinguono quattro regimi di sollecitazione, definiti nel prospetto D.II che sono caratterizzati dal fattore di spettro Km.

Il fattore di spettro Km è dato dalla seguente espressione:

$$Km = \sum \frac{t_i}{\sum t_i} \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m$$

nella quale:

t_i è la durata di utilizzazione al livello di carico P_i

P_{\max} è il livello di carico massimo

m è un coefficiente, assunto allo scopo della classificazione, uguale a 3

Prospetto D.II - regimi di sollecitazione

Regime		Km	note
L1	(leggerissimo)	$Km \leq 0,125$	meccanismi soggetti raramente al massimo carico e, normalmente, a carichi non superiori al 30% del massimo.
L	(leggero)	$0,125 < Km \leq 0,25$	meccanismi poco frequentemente soggetti al massimo carico e, normalmente, a carichi non superiori al 50% del massimo.
L3	(medio)	$0,25 < Km \leq 0,50$	meccanismi frequentemente soggetti al carico massimo e, normalmente, a carichi non superiori al 75% del massimo.
L4	(pesante)	$0,5 < Km \leq 1,00$	meccanismi regolarmente soggetti al carico massimo.

D.3- Classe del meccanismo

In base alla combinazione della condizione di impiego e del regime di carico, i meccanismi sono raggruppati in otto classi, come indicato nel prospetto D.III.

Prospetto D.III - Classe dei meccanismi

Regimi di carico	Condizioni di impiego									
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
L1	M1	M1	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L2	M1	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8
L3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8	M8
L4	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8	M8	M8

PARTE SECONDA - COSTRUZIONE E CONTROLLO

1. INTRODUZIONE

1.1 - Oggetto

Formano oggetto della presente norma gli alberi in acciaio ad asse rettilineo a sezione circolare piena o cava, destinati a qualsiasi tipo di meccanismo.

1.2 - Scopo

La seconda parte della presente norma ha lo scopo di stabilire le procedure per la costruzione ed il controllo degli alberi.

1.3 - Simbologie e unità di misura

I simboli adottati sono conformi alla norma ISO 3889. Tutte le grandezze meccaniche sono espresse in unità SI.

2 - QUALITÀ ACCIAIO

L'acciaio dovrà essere calmato, a grano fine, proveniente da colata elaborata al forno elettrico adottando tutti gli accorgimenti per limitare il contenuto di gas (particolarmente H₂), il cui tenore dovrà essere in ogni caso determinato ed indicato sul certificato di analisi. Lingotti o sbozzati provenienti da colate con tenore di H₂ > 2 ppm potranno essere utilizzati previo accordo tra acciaieria e trasformatore subordinando l'accettazione del fucinato all'esecuzione di una corretta marcia antifiocco.

La composizione chimica dell'acciaio dovrà essere conforme alle indicazioni delle norme UNI 7845 o 7874 con la limitazione per il tenore di S e P ≤ 0,020 cad.

3 - LAVORAZIONE A CALDO

La dimensione del lingotto destinato all'allestimento di alberi deve essere tale da garantire un rapporto di riduzione durante la trasformazione a caldo non inferiore a 3,5/1 (riduzione intesa come rapporto tra la sezione del lingotto e la sezione finale del fucinato determinata in corrispondenza del ϕ_{max} del corpo).

4 - SEQUENZA DELLE OPERAZIONI DI FABBRICAZIONE E ISPEZIONE

4.1- Elaborazione acciaio e/o verifica del certificato di analisi (rilasciato dall'eventuale fornitore del lingotto).

4.2 - Lavorazione a caldo mediante trasformazione diretta o attraverso successive "calde" in relazione alla complessità del profilo da realizzare (prevedendo una congrua caduta lato testa e piede del lingotto).

4.3 - Raffreddamento controllato seguito da trattamento antifiocco nel caso che il tenore di H₂ sia maggiore di 2,0 ppm.

4.4 - Eventuale ricottura di lavorabilità (o normalizzazione + rinvenimento) nel caso di alberi aventi dimensioni e peso consistenti (v. tab. 5.1.1.1 cat. II e III) ⁴

⁴ Il trattamento di cui alla fase 4 può essere sostituito direttamente col trattamento di qualità (punto 4.11) nel caso di alberi aventi peso e dimensioni limitate.

- 4.5 - Eventuale raddrizzatura a caldo prestando attenzione affinché la temperatura venga tenuta inferiore di almeno 50 °C alla temperatura del precedente rinvenimento (quando assunto come trattamento di qualità).
- 4.6 - Condizionamento mediante molatura di almeno 2 generatrici a 90°⁵
- 4.7 - Esame ultrasonoro preliminare²
- 4.8 - Controllo dimensionale e tracciatura.
- 4.9 - Lavorazione meccanica e sgrossatura⁶
- 4.10 Esame ultrasonoro interno
- 4.11 Trattamento termico di qualità
(Normalizzazione)
(Normalizzazione e rinvenimento)
(Tempra e rinvenimento)
- 4.12 Verifica della freccia con l'eventuale raddrizzatura a caldo (accertando che la temperatura di riscaldamento sia almeno 50° inferiore alla temperatura di rinvenimento) seguita da distensione.
- 4.13 Controllo delle caratteristiche meccaniche. I valori vanno scelti in relazione alle dimensioni del prodotto con riferimento alle norme UNI 7845 - 7854
- 4.14 Lavorazione meccanica finale
- 4.15 Collaudo dimensionale.
- 4.16 Esami non distruttivi - ultrasonoro e magnetoscopico
- 4.17 Marcatura di
 - n° colata
 - n° prova
 - sigla del fabbricante
 - eventuale ulteriori dati richiesti dal committente.
- 4.18 Verifica della certificazione da inviare al Cliente.
- 4.19 Imballaggio e spedizione

⁵ L'opportunità di effettuare l'operazione è lasciata a discrezione del fabbricante

⁶ La sgrossatura preliminare prima del trattamento di qualità è particolarmente indicata nel caso che gli alberi debbano subire il trattamento di bonifica ovvero nel caso di dimensioni e peso rilevanti. Quando invece il trattamento di qualità venga condotto sul grezzo è consigliabile effettuare dopo la lavorazione meccanica un ulteriore trattamento di distensione o rinvenimento a temperatura di almeno 50° C inferiore all'eventuale rinvenimento precedente

5 - TRATTAMENTI TERMICI

5.1 I trattamenti termici sia preliminari (ricottura di lavorabilità, marcia antifiocco etc.) che di qualità (normalizzazione, tempra, rinvenimento, distensione) devono essere condotti in forni adeguatamente equipaggiati con adatta strumentazione tale da garantire il controllo ed il rispetto delle temperature imposte nelle varie fasi.

5.2 Il diagramma dell'andamento delle temperature fornito dal registratore in dotazione al forno sarà conservato dal fabbricante, ma dovrà essere disponibile per l'eventuale ispezione del cliente.

5.3 I parametri di trattamento termico dovranno essere certificati.

6 SAGGI DI PROVA

6.1 I provini da utilizzare per il controllo delle caratteristiche meccaniche verranno ricavati da apposite appendici previste in fase di trasformazione a caldo nella quantità indicata nella tabella 6.1.1

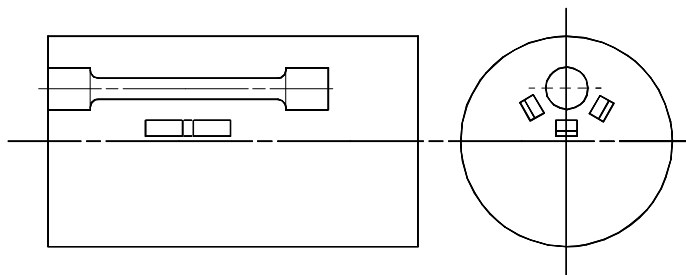
Tabella 6.1.1

Cat	peso e dimensioni del fucinato	n° saggi	traz.	rcs Kcu	HB
I	$P \leq 1000 \text{ kg}$ $1 \leq 2 \text{ m}$	1 appendice su 1 pezzo/col. e/o /lotto di tratt.	1	3	100% $\Delta HB \leq 30$
II	$1000 < P \leq 4000 \text{ kg}$ $1 \leq 4 \text{ m}$	Appendice ad 1 estremità su ogni pezzo	1	3	-
III	$P > 1000 \text{ kg}$ $1 > 4 \text{ m}$	Appendice su ogni pezzo ad ambo le estremità	2	6	-

6.2 Le appendici avranno lo stesso ϕ della estremità dell'albero e non potranno essere intaccate o staccate se non dopo aver completato l'intero ciclo di trattamento termico previsto.

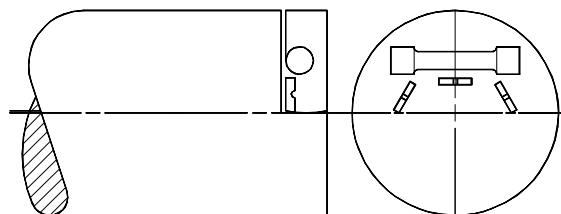
6.3 Nel caso di pezzi appartenenti alle cat. II e III è ammesso il prelievo in senso tangenziale allo scopo di ridurre l'entità ed il peso (e quindi il costo) delle appendici di prova. In tal caso i valori di A_5 -z e KCU si intendono ridotti all'80% del valore prescritto per i provini longitudinali.

6.4 I provini di trazione e resilienza quando ricavati da appendici aventi lo stesso ϕ della estremità albero cui sono attaccate devono essere prelevati ad una distanza dalla superficie pari ad $\frac{1}{2}r$ (v. fig. 6.4.1) per i pezzi



di cat. I mentre per i pezzi di cat II e III la pos. di prelievo dovrà essere almeno $\frac{1}{3}r$.

In caso di prelievo tangenziale i provini devono essere ricavati ad una profondità non inferiore allo spessore del saggio ed in posizione adiacente alla superficie lato taglio di separazione del saggio stesso (v. fig. 6.4.2).



In caso di insuccesso delle caratteristiche meccaniche la restante metà dell'appendice potrà essere utilizzata per le riprove dopo trattamento dell'albero.

7.- CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

Gli alberi forniti a fronte della presente specifica devono essere sottoposti ai controlli non distruttivi indicati di seguito:

7.1 Esame ultrasonico

7.2 Esame magnetoscopico

7.3 Esame visivo

7.4 Controllo dimensionale

7.1 Esame ultrasonico

7.1.1 Valgono le stesse modalità previste dalle norme UNI 8572. In considerazione dello specifico prodotto cui è destinata la presente norma nonché dell'elevato livello qualitativo generalmente richiesto, viene considerato unicamente la metodologia di esame illustrata nella parte III del suddetto progetto UNSIDER. Nel definire i limiti di accettabilità il progettista dovrà indicare il ϕ del foro a fondo piatto per la costruzione dei blocchi destinati alla calibrazione dell'apparecchio (linea di riferimento).

In relazione alle considerazioni di cui al punto 7.1.7 la "linea di riferimento" individuerà l'altezza massima ammissibile per indicazioni riscontrate nella zona intermedia del fucinato (zona 2).

Nelle altre zone saranno ammesse indicazioni come da tabella seguente nella quale la linea di riferimento viene espressa come altezza al 100%

Tabella 7.1.1.1

Zona	Altezza max indicazioni isolate
1	50%
2	100%
3	200%
4	-

Il numero massimo di indicazioni ammissibili è ricavabile dall'area massima ammessa dalla tabella 7.1.7.1 per difettosità di classe equivalente.

In mancanza di un preciso riferimento alle norme UNI 8572 o di altre norme internazionali valgono le indicazioni fornite di seguito, par 7.1.2 - 7.1.7 nonché appendici I, II, III.

In tal caso il progettista potrà scegliere i limiti di accettabilità per le differenti zone facendo riferimento alle classi di illustrate nella tab. 7.1.7.1

7.1.2 Durante il ciclo di fabbricazione gli alberi possono sostenere uno o più esami ultrasonori eseguiti in via preliminare ed a totale discrezione del fabbricante.

Ai fini della accettabilità del prodotto vale unicamente l'ultimo esame eseguito in fase di collaudo finale o eventualmente prima della esecuzione delle lavorazioni di dettaglio quali: fori filettati, cave per chiavette, gole, etc. che possono disturbare la corretta esecuzione dell'esame stesso.

Il grado di rugosità delle superfici interessate dall'esame U.S. non dovrà comunque risultare maggiore a 6.3 Ra.

7.1.3 Dovrà essere impiegata una apparecchiatura del tipo a riflessione di impulsi avente il comando di amplificazione tarato in dB per misurare il rapporto tra gli echi di riflessione.

Lo strumento deve possedere inoltre alcuni requisiti essenziali

7.1.3.1 Linearità di amplificazione verticale compresa entro valori $\pm 5\%$ per un tratto non inferiore al 75% dell'altezza dello schermo.

7.1.3.2 Linearità orizzontale, compresa entro $\pm 1\%$, su un tratto non inferiore al 60% della scala dei tempi.

7.1.3.3 La linearità dell'amplificatore tarato deve risultare compresa entro la tolleranza di $\pm 10\%$ (1 dB) su tutta la scala 0 ÷ 80 dB.

7.1.4 Deve essere utilizzata una sonda ricetrasmittente ad onde longitudinali di frequenza 2 ÷ 2,5 Mhz avente ϕ compresa fra 10 e 25 mm.

7.1.5 Quale mezzo di accoppiamento potrà essere usato olio con viscosità SAE 20 ÷ 30 ovvero una soluzione di metil cellulosa in H₂O.

7.1.6 Dovrà essere determinato in primo luogo il valore della attenuazione specifica secondo le indicazioni dell'appendice I.

Si procederà quindi alla calibrazione dello strumento secondo le indicazioni date in appendice II. L'esame dovrà essere condotto in ambo le direzioni: longitudinali e trasversale (radiale).

Il dimensionamento delle eventuali indicazioni verrà fatto, con riferimento al diagramma AVG universale, secondo le indicazioni dell'allegato I.

7.1.7 Lo standard di accettabilità dovrà essere definito in ordine o su disegno in riferimento alle differenti classi di severità previste dalla 7.1.7.1.

Essendo le sollecitazioni di esercizio differentemente distribuite nella sezione dell'albero si ritiene di poter distinguere nell'albero stesso diverse zone a cui assegnare criteri di accettabilità differenti in funzione della severità delle sollecitazioni stesse.

La fig. 7.1.7.1 individua le varie zone nel caso più generale.

Fig. 7.1.7.1

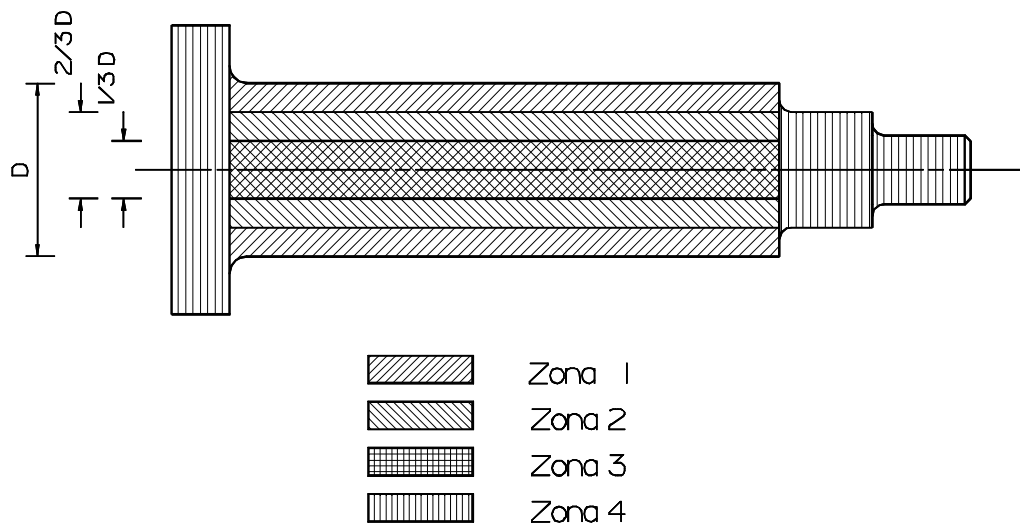


Tabella 7.1.1

Classe	Max indicazione isolata ¹		Area equivalente max. indicazioni compless. mm ²	Indicazione min. da considerare ϕ equiv. mm
	Area equiv. mm ²	ϕ equiv. mm ²		
1	3,14	2	50	1,0
2	5	2,5	100	1,5
3	7	3	100	2,0
4	20	5	100	2,5
5	50	8	500	3,0
6	78,5	10	800	4,0
7	113,5	12	1000	5,0
8	177,0	15	1500	5,0

¹ Due indicazioni si intendono isolate quando la distanza tra le stesse (dall'istante in cui l'area si riduce al 50%) è almeno uguale alla dimensione (ϕ equivalente del difetto minore)

APPENDICE I

Attenuazione

- 1 - Per la determinazione dell'attenuazione, salvo diversa prescrizione d'ordine, si utilizza la sonda che verrà poi utilizzata per l'esplorazione del pezzo (generalmente ϕ 25 - 2Mhz)
- 2 - Si sceglie una zona del pezzo che presenti spessore noto e possibilmente facce piane e parallele (ovvero cilindriche)
- 3 - Si appoggia il traduttore in una zona possibilmente sana utilizzando lo stesso mezzo di accoppiamento che impiegherà durante l'esame.
- 4 - Regolare il primo eco di fondo sulla seconda divisione verticale della scala (o comunque ad una altezza compresa entro il limite di linearità dello strumento). nel caso lo spessore in esame sia inferiore a 3 campi prossimi si dovrà utilizzare il secondo o terzo eco in modo che comunque il percorso del fascio risulti maggiore di 3 campi prossimi.
la scansione deve essere regolata in modo che sullo schermo appaia un numero di echi almeno doppio del primo eco di riferimento.
- 5 - Registrare la lettura dell'attenuatore
- 6 - Utilizzare solo l'attenuatore tarato, portare il 2° eco di fondo (ovvero il corrispondente doppio nel caso si sia utilizzato per la prima lettura il secondo o il terzo eco) sino a raggiungere in altezza la seconda divisione della scala verticale.
- 7 - Eseguire la nuova lettura dell'attenuatore tarato.
- 8 - La differenza tra la seconda e la prima lettura, previa detrazione di 6 dB dà il numero di dB relativi all'assorbimento per il percorso considerato (ovvero il percorso del fascio nel caso sia stato utilizzato il secondo o terzo eco). Il valore di attenuazione espresso in dB/m si ricava tramite la formula

$$dB/m = \frac{\Delta dB - 6}{S} \times 1000$$

- dove ΔdB = differenza fra prima e seconda lettura
S = spessore del materiale (o percorso del fascio nel caso di echi maggiori di 1)
espresso in mm

APPENDICE II

1. - TARATURA SECONDO DIAGRAMMA AVG PER SONDE NORMALI

Il diagramma AVG esprime, in forma grafica, la variazione teorica, espressa in dB, dell'intensità di un segnale emesso da una discontinuità in relazione al variare della distanza dal trasduttore.

Variatione teorica in quanto esprime unicamente la caduta di intensità legata alla divergenza del fascio e non tiene conto della attenuazione di energia dovuta all'assorbimento del materiale.

Di questa ulteriore attenuazione si dovrà tenere conto al momento della valutazione del segnale.

Poiché la taratura viene condotta direttamente sul pezzo in esame non si rendono necessarie correzioni per perdite di trasferimento.

2.- SEQUENZA OPERATIVA

2.1 - Individuare una zona possibilmente sana, con pareti opposte piano parallele o cilindriche di spessore noto.

2.2 - Facendo riferimento al diagramma AVG rilevare l'amplificazione in dB relativa alla parete di fondo (distanza espressa in termini di campi prossimi).

2.3 - Posto come difetto di riferimento un riflettore (ad es. di 2 mm) si rileva il valore in dB intercettato della relativa curva sulla verticale passante per lo spessore considerato.

Per la generalità del diagramma il ϕ del difetto è espresso in rapporto al ϕ del trasduttore impiegato.

2.4 - Determinare la frequenza in dB fra letture di cui ai punti 2.2 e 2.3

2.5 - Regolare la scansione in modo da ottenere il primo eco di fondo nella seconda metà dello schermo. Posto il trasduttore sul pezzo in esame regolare l'amplificazione non tarata in modo da far coincidere l'eco di fondo con la seconda divisione verticale dello schermo.

Sarà questa la linea di riferimento per la valutazione delle indicazioni che si andranno a rilevare durante l'esame.

2.6 - Utilizzando l'attenuatore tarato aumentare l'amplificazione di un numero di dB pari alla differenza determinata in 2.4. Qualora l'eco di fondo anziché provenire da una parete piana e parallela, oppure dalla superficie (concava) opposta di un cilindro, provenisse dalla superficie (convessa) di un foro assiale, l'amplificazione dovrà essere corretta per compensare l'effetto di curvatura del foro secondo le indicazioni dello schema allegato (allegato 1). Sarà questa l'amplificazione di riferimento per il dimensionamento delle indicazioni.

2.7 - Aumentare l'amplificazione di altri 6 dB utilizzando l'amplificazione tarata in modo che un difetto prossimo all'eco di fondo, che dia un'indicazione equivalente a quello di un foro a fondo piatto di ϕ ...2 mm vada a coincidere con la quarta divisione verticale (oppure con la seconda previa detrazione dei 6 dB).

2.8. - Senza modificare la calibrazione dello strumento si procederà all'esame del pezzo

2.9 - Ogni indicazione che si presenta durante il controllo viene portata all'altezza della linea di riferimento scelta (v. 2.5) mediante l'uso dell'attenuatore tarato.

2.10 Dalla differenza fra le due letture dell'attenuatore tarato si ricava la quantità di dB necessari per portare l'indicazione a livello della linea di riferimento.

2.11 Tale differenza deve essere corretta per compensare la maggior energia fornita al riflettore, quanto

scostato dalla parete di fondo, a causa della attenuazione specifica propria del materiale in esame. la correzione viene apportata come indicato di seguito.

$$\Delta dB = \Delta_i dB - (dB/m \cdot h)$$

dove h = differenza di percorso tra parete di fondo e discontinuità (espressa in metri)
 dB/m = attenuazione specifica (v. appendice I)
 $\Delta_i dB$ = differenza fra le letture dell'attenuatore tarato (v. 2.10)
 ΔdB = differenza dB corretta.

2.12.-Utilizzando la differenza dB (ΔdB) così corretta si procede al dimensionamento della indicazione facendo riferimento al diagramma AVG universale (v. allegato 2)

2.12.1 - Si individua la orizzontale passante per il punto determinato in 2.3

2.12.2 -Si determina la intersezione tra la verticale passante per la distanza corrispondente alla profondità della indicazione (espressa in campi prossimi) e la orizzontale di cui sopra.

2.12.3 - Partendo dalla intersezione di cui a 2.12.2 si sale (o scende) della quantità di dB (ΔdB) di cui al punto 2.12

2.12.4- Si individua in tal modo un nuovo punto sulla verticale passante per lo spessore corrispondente alla profondità indicazione, che corrisponderà all'intersezione della verticale stessa con una delle curve che esprimono la variazione teorica dell'intensità del segnale emesso dalla discontinuità.

2.12.5- La curva così intercettata (o ricavata per interpolazione) è caratterizzata da un valore che, espresso come rapporto al ϕ trasduttore fornisce il ϕ equivalente della indicazione in esame

2.13 - Difetti con estensione maggiore del ϕ trasduttore saranno valutati misurando il movimento della sonda in quattro direzioni ortogonali dall'istante in cui l'eco si riduce del 50%.

APPENDICE III

1.- MAGNETIZZAZIONE LONGITUDINALE Metodo magnetizzazione indiretta

- 1.1- Accertarsi che la superficie da controllare sia esente da tracce di unto; grasso, vernici, scaglie di trattamento e quant'altro possa nuocere alla corretta esecuzione dell'esame.
- 1.2- Poiché il campo magnetico utile si estende per circa 200 mm ad ogni lato dell'avvolgimento, lunghezze maggiori dovranno essere suddivise in settori per ulteriori magnetizzazioni mediante lo spostamento dell'avvolgimento. IL campo magnetico dell'avvolgimento, per esempio attorno ad un albero assume un andamento longitudinale ed è quindi indicato per la rilevazione dei difetti circolari.
- 1.3- Selezionare l'intensità di corrente desiderata come da tabella 1
- 1.4- Mantenere il flusso di corrente per il tempo necessario a spargere il liquido o la polvere magnetica scelta.
- 1.5- Ispezionare attentamente il settore in esame. Non tutti gli addensamenti indicano la presenza di discontinuità. Falsi addensamenti possono essere causati da asperità superficiali, profilo irregolare, eccessiva intensità del campo o altre cause. Qualora sorgano dubbi in tal senso ripetere la magnetizzazione dopo essere intervenuti sulle cause della presunta falsa indicazione.
- 1.6- Nel caso di lunghezze non magnetizzabili in un'unica soluzione ripetere le operazioni di cui ai punti 1.3 - 1.4 - 1.5 sino alla copertura dell'intera superficie in esame. Successivamente passare alla magnetizzazione in senso ortogonale operando nel modo più indicato in relazione al profilo del pezzo.
- 1.7- Registrare tutte le indicazioni non compatibili con gli standard di accettabilità sull'apposito modulo che deve essere completo di ogni altro parametro atto a definire l'esame condotto.

2.- MAGNETIZZAZIONE CIRCOLARE

- 2.1- Per la rilevazione dei difetti orientati in senso longitudinale è necessario procedere ad una magnetizzazione circolare.
- 2.2- Selezionare l'intensità di corrente desiderata come da tabella 2.
- 2.3- Piazzare gli elettrodi alle estremità dell'albero
- 2.4- Mantenere il flusso di corrente per il tempo necessario a cospargere il liquido o la polvere magnetica scelta.
- 2.5- Ispezionare attentamente l'intera superficie dell'albero. Valgono le stesse considerazioni di cui al punto 1.5.
- 2.6- In caso di alberi aventi dimensioni rilevanti o quando non sia realizzabile la magnetizzazione col passaggio di corrente attraverso l'intero pezzo si procederà alla magnetizzazione per settori utilizzando la tecnica a puntali. Ovviamente la posizione dei puntali sarà sempre orientata in modo da originare un flusso magnetico diretto in senso circolare.
- 2.7- In questo caso l'intensità di corrente verrà scelta secondo le indicazioni della tabella 3
- 2.8- L'operazione dovrà essere ripetuta sino a coprire l'intera superficie da esaminare.

2.9- Tutte le indicazioni non compatibili con lo standard di accettabilità dovranno essere registrate sul modulo di cui sopra al par. 1.7.

3. INTENSITÀ DI CORRENTE

A seconda del tipo di contatto realizzato si riportano nelle tabelle 1-2 e 3 le intensità di corrente suggerite per la esecuzione dell'esame magnetoscopico nei diversi casi.

Tabella 1 - magnetizzazione con avvolgimento

rapporto L/D	formula applicabile Ampere /Spire
≥ 4	$\frac{35000}{(2 + \frac{L}{D})}$
$4 > \frac{L}{D} \geq 2$	$\frac{45000}{(\frac{L}{D})}$

Tabella 2 - magnetizzazione completa con passaggio diretto di corrente

D (mm)	A (ogni 25 mm D)
da 25 a 125	$(700 \div 900) \frac{D}{25}$
da 125 a 250	$(500 \div 700) \frac{D}{25}$
oltre	$(300 \div 500) \frac{D}{25}$

Tabella 3 - magnetizzazione con puntali

Distanza tra puntali (mm)	
sino a 100 mm	400 ÷ 500
150	600 ÷ 750
200	800 ÷ 1500
250	3000 ÷ 1250