

*Prof. Angelo Serafino Caruso, Docente di Meccanica, Macchine ed Energia  
Istituto Tecnico Industriale "E. Majorana" – Rossano (CS)*

*Le mie lezioni:  
Gli Organi  
delle Macchine (1/5<sup>^</sup>)*

*Alberi e Assi*

*Perni Portanti e di Spinta*

*Collegamenti fissi Smontabili: Linguette e*

*Chiavette*

*Giunti e Innesti*

*9 Freni e Le Molle*

## Alberi e Assi

La potenza si trasmette tra i meccanismi tramite gli alberi.

Sono di forma cilindrica, anche cava, e sono sollecitati a torsione in quanto la potenza trasmessa è data dalla velocità angolare per il momento torcente (*Dinamica n. 11*).

Su di essi sono calettati gli organi meccanici (pulegge, ruote dentate, ecc.) che provocano, in aggiunta alla torsione, anche sollecitazioni di flessione e taglio ma anche di trazione e compressione.

L'asse, invece, non trasmette potenza e non è sollecitato a torsione, ma solo alle tensioni prodotte dagli organi meccanici calettati su di esso.

Lungo gli assi o gli alberi vengono ricavate le sedi per gli organi di accoppiamento e i perni per l'alloggiamento dei cuscinetti di sostegno, essi sono raccordati longitudinalmente dai fusti.

Per il calcolo della potenza trasmessa vale sempre la solita formula

$$M_t = 955000 \frac{P}{n} \text{ [daN mm]}$$

Ma per calcolare le altre sollecitazioni bisogna riferirsi ad uno schema ottimale di travi appoggiate in corrispondenza dei perni (supporti) e sollecitate dalle forze derivanti dagli organi meccanici rotanti (carico volano, spinta delle ruote dentate e tiro delle cinghie, ecc.), per il carico di sicurezza si tiene conto delle sollecitazioni dinamiche (*Sollecitazioni e Deformazioni*).

A certe velocità, dette **Velocità Critiche**, si innescano oscillazioni torsionali e flessionali pericolose che portano a rottura il sistema ancora prima di aver raggiunto il carico critico.

## Perni Portanti

Il perno è il tratto dell'albero alloggiato nel cuscinetto o nella bronzina e può essere portante se è caricato perpendicolarmente altrimenti è di spinta in quanto sopporta un carico parallelo al suo asse.

I perni portanti sono d'estremità se sollecitati a flessione e taglio, intermedi se sollecitati anche a torsione.

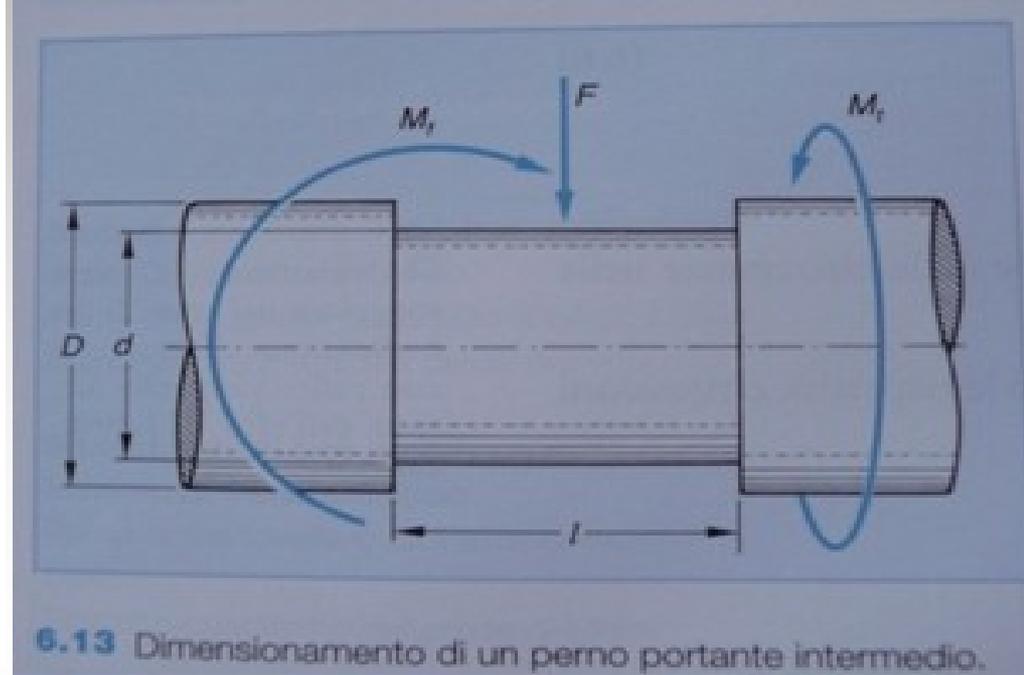
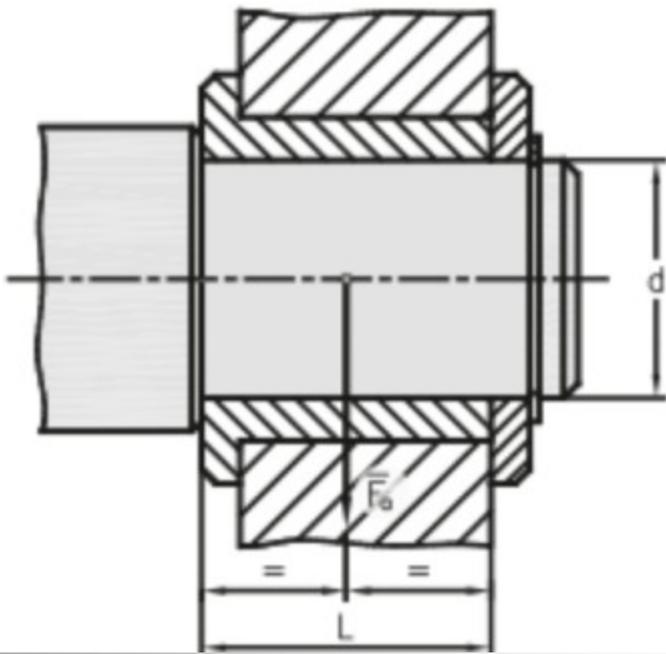
### **Perno Portante d'Estremità, Dimensionamento**

Lo schema da adottare, per il dimensionamento del perno d'estremità, è la trave a mensola, si trascura il taglio e si considera la forza "F" concentrata nel mezzo della sua larghezza "l".

$$M_f = F l / 2$$

e, dal manuale di meccanica,  $W$  (modulo di resistenza a flessione),  
per la sezione cilindrica  $= \pi d^3 / 32$

$$\text{si ha } \sigma_{\max} = M_f / W_f = F l \ 32 / 2 \ \pi d^3 = 5 \times F l / d^2 \times (l / d)$$



6.13 Dimensionamento di un perno portante intermedio.

Figura Tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato

Figura Tratta da Zanichelli, Corso Mecc. Macch. Energia

si è isolato il rapporto  $L/d$ , essendo tabellato in relazione alla velocità di rotazione dell'albero (Es. per  $n=0\sim 150$  g/m,  $L/d=1,5$ , ecc.)

Si ha,  $d = \sqrt{5 Fa / \sigma_{max}} L/d$  (tutto sotto radice)

con  $\sigma_{max} = 1/3 \sigma_{ams}$ , Verifica a fatica alternata (Sollecitazioni n.11).

Il carico deve essere ripartito su tutta la superficie che deve essere la più ampia possibile, per mantenere bassa la sollecitazione unitaria.

La rotazione del perno nella sua sede "mozzo" è causa di usura e di calore, la prima deve essere combattuta con la lubrificazione e, il secondo si deve smaltire adeguatamente.

Allora, verifica ad usura, per assicurare una buona lubrificazione si considera che l'area proiettata sul cuscinetto è  $ld$  per cui la Pressione Specifica  $P_s = Fa/Ld \leq P_{am}$  che è tabellata, Manuale di Meccanica Per la verifica a riscaldamento bisogna che la pressione specifica "Ps" per la velocità periferica del perno  $V_p$  sia inferiore al valore tabellato.

Se tale verifica non è soddisfatta si deve aumentare la lunghezza del perno o il suo diametro.

### Perni Portanti Intermedi, Dimensionamento

Essi sono sollecitati a flessione-torsione e il calcolo si effettua con il Momento Flettente Ideale (Sollecitazioni n. 25)

$$M_{fid} = \sqrt{M_f^2 + 0,75 M_t^2} \text{ (tutto sotto radice)}$$

da cui  $d = \sqrt[3]{32 M_{id} / \pi \sigma_{amf}}$  (tutto sotto radice) [ $\sigma_{amf}$ , a fatica]  
e il dimensionamento procede come per i perni d'estremità.

### Un altro modo per dimensionare i perni

Siccome possiamo esprimere la lunghezza del perno in funzione di un coefficiente "W", dipendente dal grado di lavorazione e dalle condizioni di funzionamento, regolarmente tabulato, si ha:

$$L \geq F_a n / W$$

(con n, frequenza di rotazione o numero di giri e  $W = 60.000 P_s V_p / \pi$ )

Calcolato, quindi, "L" si calcola "d" con le formule precedenti, sia per il perno di estremità che per quello intermedio, e si verifica a pressione specifica " $P_s \leq P_{am}$ ".

## Perni di Spinta

I perni di spinta di estremità hanno la superficie a contatto con un'altra adatta a sostenere il peso e le forze assiali, detta "ralla".

La superficie a contatto può essere piana, anulare o a calotta sferica.

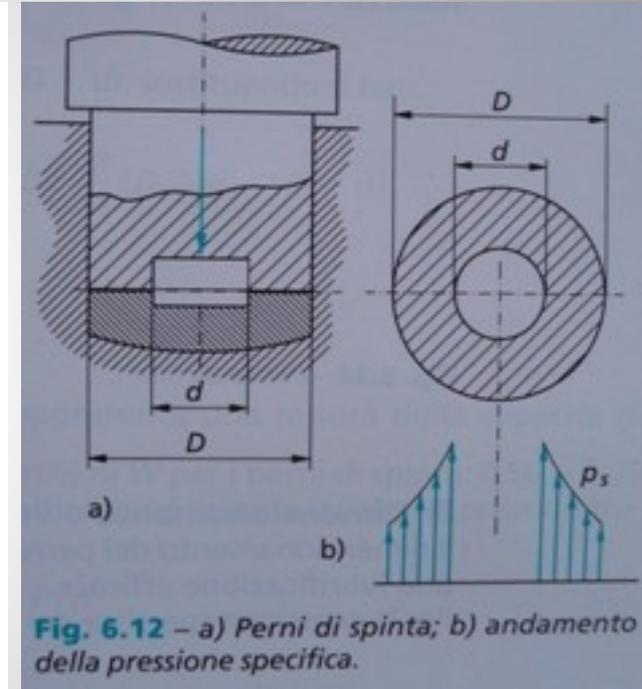
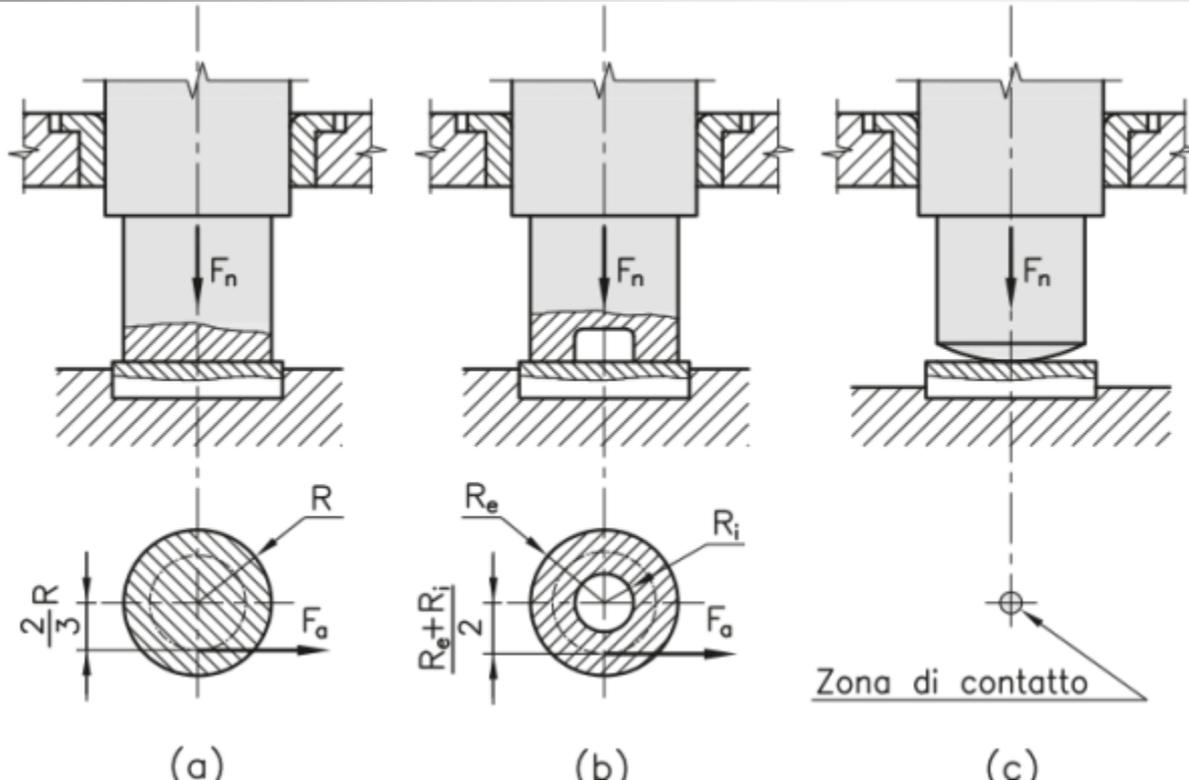


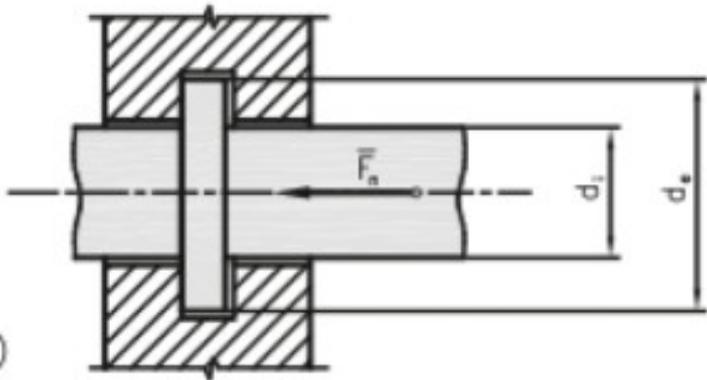
Figura Tratta da Calderini,  
Ferrigno/Giordano

Figura Tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato

Si evita, per grossi carichi, quella a superficie piana perché si sa,

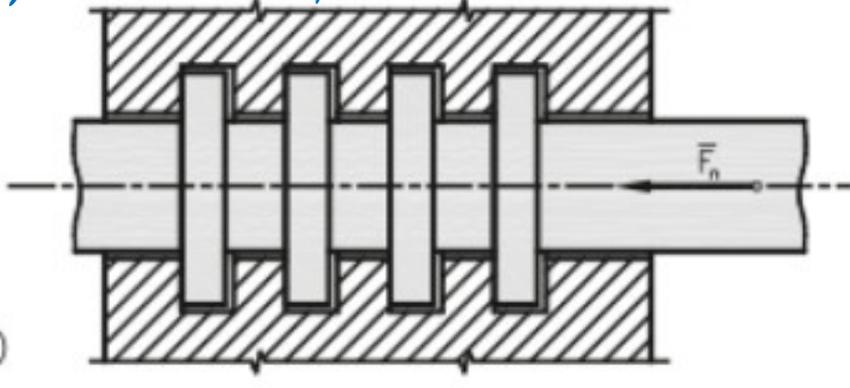
che la sollecitazione unitaria cresce notevolmente dalla periferia al centro (come in figura) per questo nella figura (b) è stata rimossa la corona interna centrale.

La spinta assiale, per azioni molto gravose, si ripartisce su più anelli "ralla" sporgenti dall'albero che la ripartiscono, a sua volta, su più superficie anulari di diametro  $d_e - d_i/2$ .



(a)

Figura Tratta da Hoeppli, Testo Scolastico Adottato



(b)

Per il dimensionamento si procede con le stesse verifiche dimensionali,

a pressione specifica e a riscaldamento dei perni portanti e con la solita formula, riferita alle grandezze della corona anulare sollecitata:

$$d_e - d_i/2 \geq F_a v/W$$

## Collegamenti Fissi Smontabili: Linguetto e Chiavette

In meccanica è il collegamento più usato per trasmettere il momento torcente.

La Linguetta "lavora" sui fianchi e presenta un piccolo gioco radiale. Per il dimensionamento si ricorre alla pressione di contatto (azione del mozzo) che deve essere inferiore allo snervamento del materiale. Quindi:

$$M_t = F \cdot x \cdot d / 2 \quad > \quad F = M_t \cdot 2 / d \quad e \quad A = h \cdot l / 2 \quad l$$

$$\text{ma } p = F / A = 4 M_t / h d l \leq p_{amm}$$

$$l = 4 M_t / h d p_{amm}$$

Se le linguetto sono più di una, la lunghezza sarà divisa per il numero delle linguetto, altrimenti,

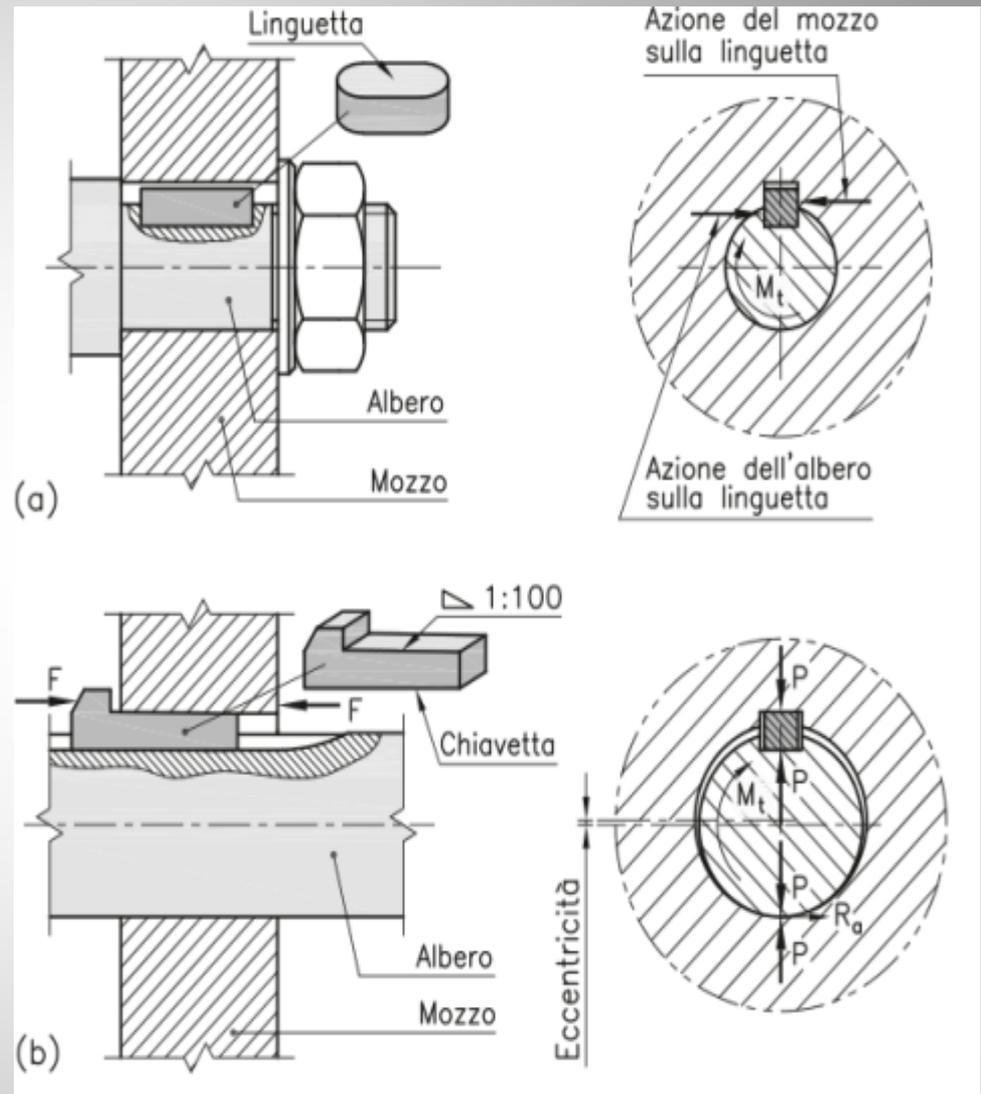


Figura Tratta da Hoepli, Testo Scolastico Adottato

se sono superiori a tre si usano gli alberi scanalati.

La Chiavetta "lavora" di testa, infatti, la superficie a contatto con il mozzo è leggermente inclinata (cuneiforme) con nasello adatto a ricevere anche martellate per l'alloggiamento forzato nella sede, così, produce un disassamento tra le parti accoppiate con conseguenziale squilibri e vibrazioni pericolose alle alte velocità di rotazione.

Il dimensionamento si esegue senza conoscere la distribuzione della pressione dovuta al forzamento e alle azioni elementari dell'attrito tra i pezzi.

Si procede, quindi, con il valore medio della tensione tangenziale.

$$\tau = F/A \leq \tau_{amm}$$

con  $F = Mt \cdot 2/d$  e  $A = b \cdot l$ , ( $b$ , larghezza come spessore)

$$\tau = F/A = 2Mt/dbl \leq \tau_{amm}$$

$$l = 2Mt/db\tau_{amm}$$

Le chiavette e le linguette sono unificate nelle norme UNI 6603.

## Giunti e Innesti

*Sono organi meccanici che trasmettono il momento torcente tra alberi coassiali e concorrenti, senza modificare il moto rotatorio.*

*Essi sono stabili e possono essere rimossi per smontaggio a macchina ferma.*

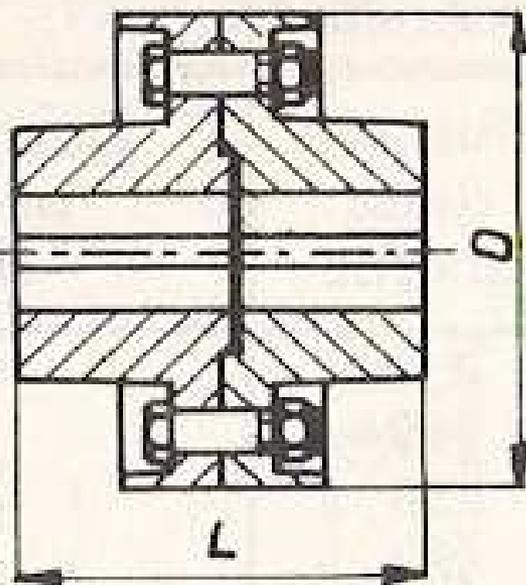
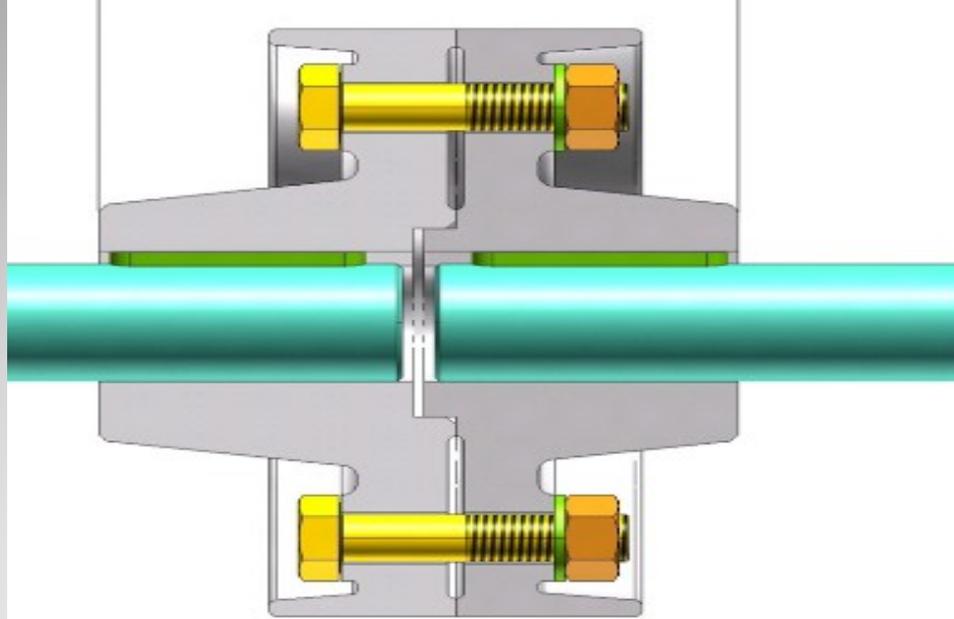
*Sono rigidi o fissi (a manicotto, a dischi e a flange), elastici, mobili e articolati (cardanico e omocinetico).*

*Gli innesti a denti o a frizione, invece, collegano e scollegano gli alberi con comandi idraulici, pneumatici o elettromagnetici tramite leve azionate dall'operatore.*

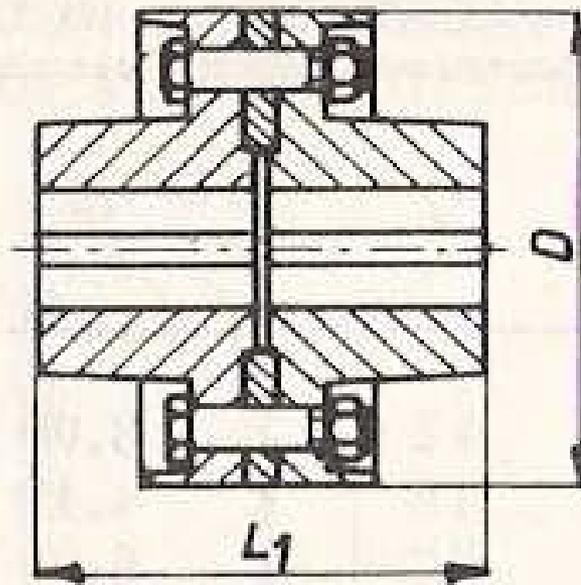
### *Giunto a Disco*

*È molto usato perché soddisfa trasmissioni con sforzi notevoli anche in presenza di carichi dinamici.*

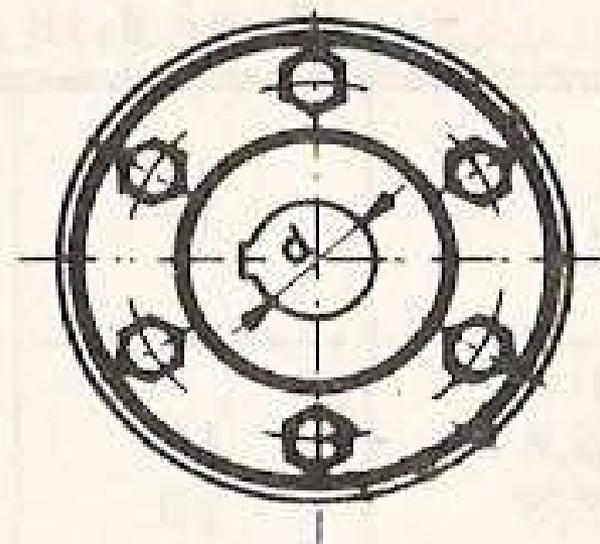
*Il centraggio è ricavato sulla faccia frontale di uno dei dischi al quale corrisponde un incavo sull'altro (a), oppure con anello distanziatore intermedio montato sui risalti delle rispettive facce (b).*



a)



b)



<http://www.bing.com/images/>

I mozzi dei dischi sono calettati all'albero forzatamente a caldo o con la pressa oppure, come in figura, mediante linguetta incassata.

La potenza è trasmessa per aderenza (attrito) tra le corone circolari delle facce dei dischi, serrati da bulloni lavoranti a trazione (a).

In (b), i bulloni sono calibrati e lavorano a Taglio.

Sul diametro medio anulare di combaciamento "dm", si può ritenere che agisca una forza tangenziale.

$$F_t = M_t \times Z / d_m \leq F_f$$

( $F_f$ , forza di serraggio e  $f$ , coefficiente di attrito).

La sollecitazione di trazione nei bulloni risulta:

$$\sigma_t = F_t / (\pi d_n^2 / 4) Z, \text{ ma } F_t = M_t Z / d_m \times f$$

con  $\pi d_n^2 / 4$ , area del nocciolo del bullone e  $Z$ , numero dei bulloni

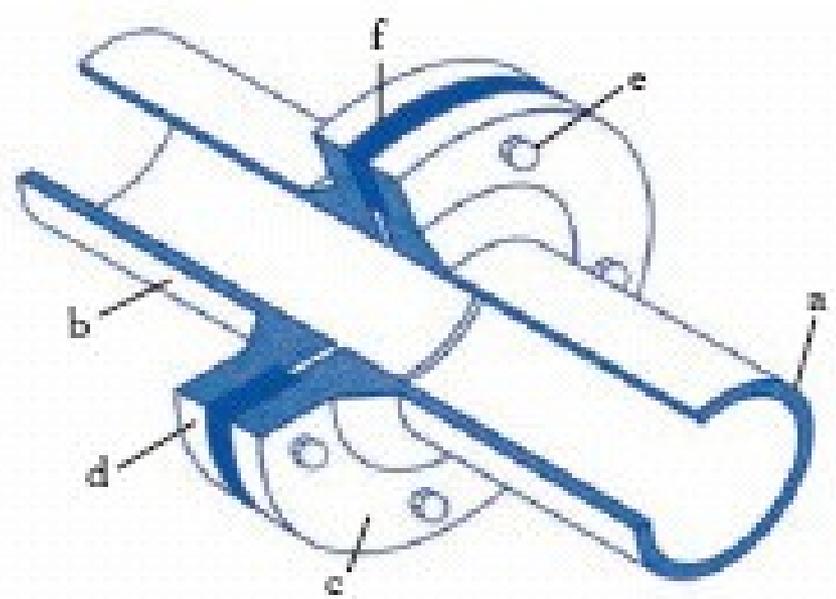
Per cui, introducendo le relazioni sovrastanti, si ha:

$$\sigma_t = 8 M_t / f d_m Z \pi d_n^2 \text{ da cui, } d_n \geq \sqrt{8 M_t / f d_m Z \pi \sigma_{ams}}$$

(tutto sotto radice)

## Giunti a flangia

I dischi sono sostituiti con le flange direttamente fucinate dagli alberi, viene eliminato così il collegamento tra il mozzo dei dischi e l'albero, punto debole dei giunti a disco, per cui superano potenze e condizioni molto gravose.



<http://www.bing.com/images/>

Le flange, pur essendo a contatto, non lavorano efficacemente per attrito come nei giunti a disco, perché il momento torcente è assorbito interamente dai bulloni che, essendo calibrati e leggermente forzati nelle loro sedi,

lavorano a taglio,  $F_t Z = M_t 2/dc$

(con  $dc$ , diametro della circonferenza passante per il centro dei fori  $Z$  dove agisce  $F_t$ )

segue  $F_t = 2 M_t / Z dc$

*La massima sollecitazione al taglio che i bulloni possono sopportare*

*è data da  $\tau_t = F_t/A = F_t/Z\pi(dg^2/4) \leq \tau_{ams} = \sigma_{ams}/\sqrt{3}$*

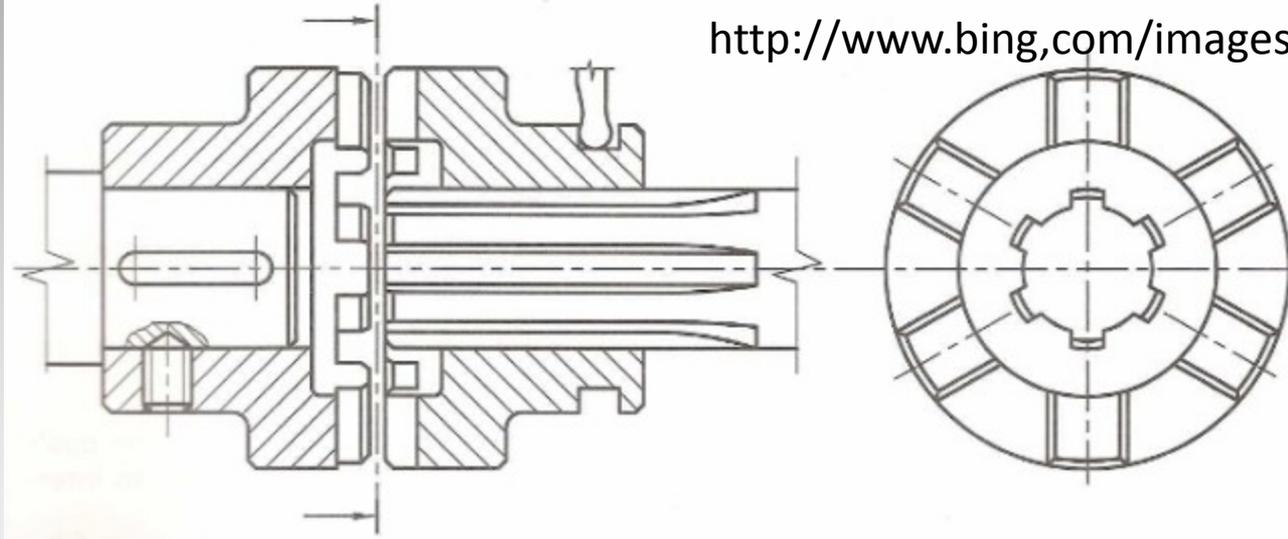
*e, il diametro del gambo dei bulloni è:*

$$dg = \sqrt{4 F_t / Z\pi \tau_{ams}} \text{ (tutto sotto radice)}$$

*Questa formula vale anche per il diametro  $d_n$  dei giunti a dischi tipo (b)*

*Le dimensioni dei giunti si ricavano  
con l'ausilio delle tabelle dei costruttori o  
mediante i manuali appositi*

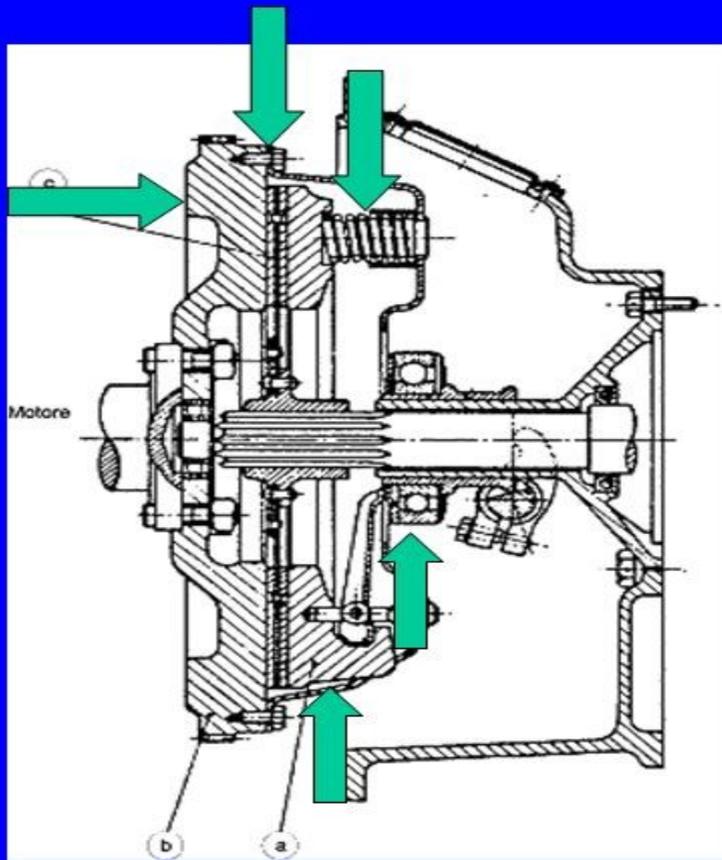
*Negli innesti i denti,  
radiali o frontali,  
realizzano collegamenti  
stabili e  
trasmettono agli alberi  
momenti torcenti molto*



*gravosi, si usano nelle macchine da lavoro (trattori agricoli,  
macchine da cantiere, ecc.) e anche nella meccanica  
di precisione (orologi da polso) e nei cambi di velocità (sincronizzatori).*

*Gli innesti a frizione, invece, sono meno rigidi, lavorano  
con l'attrito per cui le superfici a contatto sono molto abrasive  
e a dischi multipli per comunicare le coppie motrici.*

*Siccome si surriscaldano, è opportuno utilizzarli a basse velocità,  
Mentre, per le alte velocità è consigliabile l'uso di monodischi che riducono la  
superficie a contatto e resistono meglio al riscaldamento.*



Quello mostrato nella figura è un gruppo frizione di tipo automobilistico.

Esso è un innesto a frizione piano monodisco.

Si distinguono, da sinistra verso destra:

- Il volano, calettato sull'albero motore;
- Il disco frizione, calettato sull'albero condotto;
- lo "spingidisco"
- le molle di compressione;
- il cuscinetto "reggispinta"

*Il momento torcente trasmesso vale:  $M_t = n f F r_m$*

*$n$ , numero coppie di superfici d'attrito (2 nei monodisco);  $r_m$ , il raggio medio di contatto;*

*$f$ , coefficiente d'attrito;  $F$  carico assiale applicato al disco di frizione.*

## 1 Freni

Per regolare il moto occorre frenare.

La frenatura è la trasformazione di Energia Cinetica in lavoro d'attrito, e quindi in calore.

In effetti questo concetto è stato già introdotto con l'attrito come dissipazione dell'energia cinetica, intesa come strofinio di due corpi a contatto, infatti, tutti freni (a ceppi, a nastro, a disco, a espansione, ecc.) funzionano con i principi termodinamici e con le leggi della dinamica.

Se  $J$  è il momento d'inerzia della macchina (*Dinamica, n.13*) rispetto all'asse di rotazione,  $M_m$  è il momento motore,  $M_r$  è quello resistente,  $t$  è il tempo di frenatura e  $\omega_0 - \omega$  è la velocità angolare, iniziale e finale, dell'albero della macchina, si ha che il Momento Frenante.

$$M_{fr} = M_m - M_r + J/t(\omega_0 - \omega)$$

Il freno è azionato da un impianto idraulico o pneumatico o elettrico ed è applicato non solo alle ruote degli autoveicoli ma anche a macchinari e a meccanismi più o meno complessi (per es. impianti di sollevamento, funivie e seggiovie, di trascinamento o di trasporto e quant'altro).

La frenata procura il "trasferimento d'energia" che è l'effetto della forza d'inerzia, la quale, essendo rivolta nel senso di marcia, aumentare il carico sull'asse anteriore dell'autoveicolo, scaricando l'asse posteriore e procurando instabilità e sbandamento nel mezzo.

Inoltre, maggiore è il peso e maggiore è la forza frenante per cui essa deve essere sempre inferiore al limite di aderenza:

$$T_{lim} = \operatorname{tg}\varphi N = f N.$$

con  $\varphi$ , angolo di attrito;  $\operatorname{tg}\varphi$ , coefficiente d'attrito =  $f$ ;

$N$ , peso aderente verticale, e  $T$  forza frenante orizzontale.

## Le Molle

Sono organi meccanici che sotto l'azione di forze esterne subiscono forti deformazioni elastiche (Legge di Hook) con immagazzinamento di energia sotto forma di Energia Potenziale.

Anche qui valgono i principi termodinamici e le leggi della dinamica.

In meccanica ci sono le molle a flessione (balestre), a torsione (barre) a elica cilindrica con smorzatore (ammortizzatori), in generale, esse sono dette sospensioni.

Per il calcolo e il dimensionamento si seguono le regole già espresse.

Per esempio, nella molla a balestra si fa riferimento allo schema di una mensola il cui Momento Flettente,

$$M_f = Fx_l \quad \text{con} \quad \sigma_{max} = M_f / W_f$$

Nella barra di torsione, ad esempio, il Momento Torcente,

$$M_t = Fx_r \quad \text{con} \quad \tau_{max} = 16 Fx_r / \pi d^3 \quad \text{e} \quad d = \sqrt[3]{16 Fx_r / \pi \tau_{ams}}$$

## *Infine,*

*gli argomenti non si esauriscono qui, ma saranno ripresi con le esercitazioni scritte e pratiche, specifiche sui temi trattati, da svolgere in classe durante l'orario scolastico.*

*Gli esercizi completeranno la lezione con i richiesti approfondimenti, previo la lettura di tabelle e diagrammi specifici dei costruttori, la consultazione del Manuale di Meccanica e le riflessioni sul libro di testo e, all'occorrenza, ricerche su internet, senza limitare, ovviamente, la frequenza dei laboratori.*

*Le lezioni frontali e i compiti in classe arricchiranno ulteriormente la trattazione, anche se, ulteriori approfondimenti, esulano dalla presente trattazione.*