



A detailed technical drawing of a mechanical engine assembly, likely a small internal combustion engine. The drawing is a perspective view showing the engine block, cylinder head, and various mechanical components like the crankshaft, pistons, and valves. The engine is mounted on a base. The drawing is rendered in a clean, professional style with clear lines and shading to indicate depth and form. The text "SINTESI DI DISEGNO MECCANICO" is overlaid on the drawing in a white, sans-serif font.

## SINTESI DI DISEGNO MECCANICO

# INDICE

<b>Serie di renard:</b>	<b>2-3</b>
<b>Rugosità:</b>	<b>4-11</b>
<b>Tolleranze dimensionali:</b>	<b>12-16</b>
<b>Tolleranze geometriche:</b>	<b>17-19</b>
<b>Materiali:</b>	<b>20-21</b>
<b>Collegamenti meccanici:</b>	<b>22-41</b>
<b>-Chiodature</b>	<b>22</b>
<b>-Saldature</b>	<b>23-24</b>
<b>-Filettature</b>	<b>24-36</b>
<b>-Collegamenti non filettati</b>	<b>37-41</b>
<b>Metodi d'esame:</b>	<b>41-43</b>
<b>Trasmissione del moto:</b>	<b>44-48</b>

# Serie di Renard

L'unificazione porta a ridurre ad una limitata serie i valori delle dimensioni degli elementi normalizzati, anziché disporre di tutti gli infiniti valori possibili, al fine di ridurre i costi di produzione. Come scegliere, però, tali valori?

All'inizio si adottò la **serie aritmetica**, in cui la differenza tra due valori consecutivi è costante, ma in questo modo la definizione non è molto precisa per piccole misure, mentre per grandi dimensioni gli elementi sono troppo poco diversi tra loro.

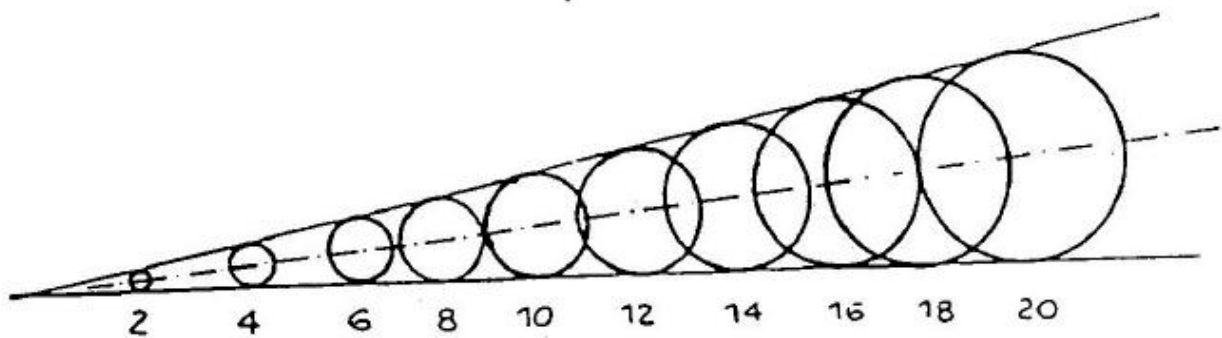


Figura 1. Serie aritmetica

Si pensò, allora, di adottare la **serie geometrica**, in cui il rapporto tra due valori consecutivi è uguale. Tale rapporto è detto *ragione* o *passo*. In questo modo, la definizione è ugualmente precisa per piccole e grandi dimensioni.

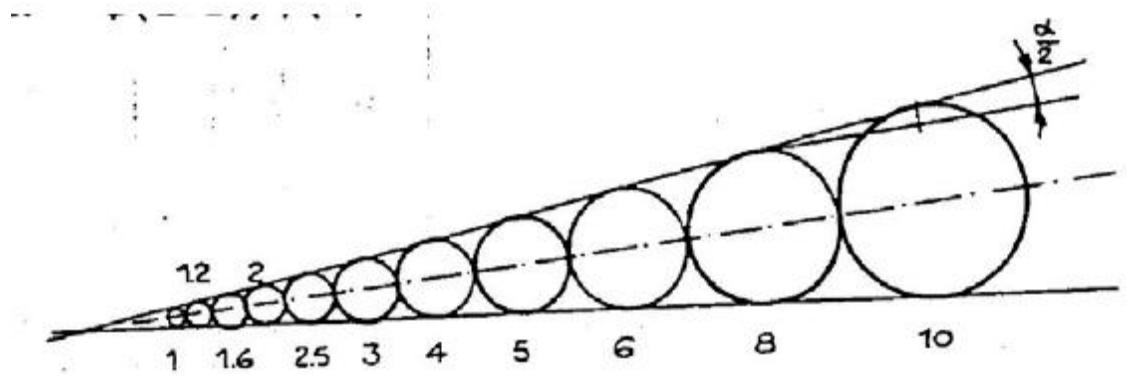


Figura 2. Serie geometrica

La **serie di Renard** è una particolare serie geometrica, in cui il passo  $k$  vale

$$k = 10^{1/n}$$

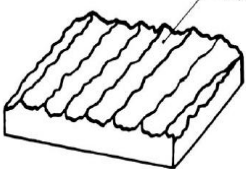
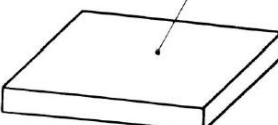
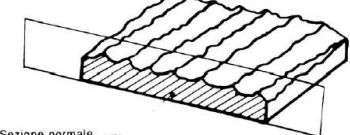
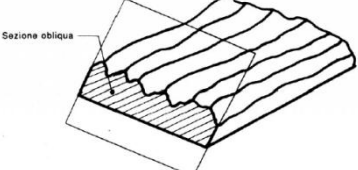
con  $n = 5, 10, 20, 40$

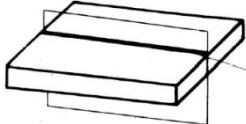

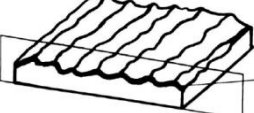

n	k	Serie	Incremento
5	$10^{1/5}$	R5	60%
10	$10^{1/10}$	R10	25%
20	$10^{1/20}$	R20	12%
40	$10^{1/40}$	R40	6%

### Proprietà della serie di Renard

- L'incremento percentuale tra due valori successivi è uguale
- Tutti i termini di una serie sono contenuti in quella superiore
- I prodotti ed i rapporti dei termini di una serie sono pure termini della stessa
- In R10:
  - $3.15 \cong \pi \rightarrow$  Le superfici cilindriche possono essere termini della serie
  - $1,4 \cong \sqrt{2} \rightarrow$  Le diagonali dei quadrati sono elementi della serie

# Superfici e profili (ISO 4287)

	Superficie reale	Superficie ottenuta dopo la lavorazione, che delimita il corpo e lo separa dall'ambiente circostante.
	Superficie geometrica	Superficie teorica, rappresentata sul disegno.
	Superficie di riferimento	Superficie rispetto alla quale vengono determinati i parametri di rugosità.
	Sezione normale	Sezione determinata da un piano di riferimento perpendicolare alla superficie di riferimento.
	Sezione obliqua	Sezione inclinata rispetto alla superficie di riferimento.

	Profilo ideale	Linea risultante dall'intersezione del piano perpendicolare con la superficie geometrica.
	Profilo reale	Linea risultante dall'intersezione del piano perpendicolare con la superficie reale.
	Profilo trasversale	Profilo reale perpendicolare alla direzione delle irregolarità.
	Profilo longitudinale	Profilo reale parallelo alla direzione delle irregolarità.

# Rugosità

Insieme delle irregolarità superficiali che si ripetono con passo relativamente piccolo, lasciate dal processo di lavorazione.

## Parametri per definire la rugosità

### Linea di riferimento

Linea data rispetto alla quale sono determinati i parametri del profilo.

### Lunghezza di base ( $l$ )

Lunghezza del tratto di linea di riferimento utilizzata per identificare le irregolarità che costituiscono la rugosità della superficie.

### Lunghezza di valutazione ( $l_n$ )

Lunghezza utilizzata per determinare i valori dei parametri di rugosità superficiale. Può comprendere una o più lunghezze di base.

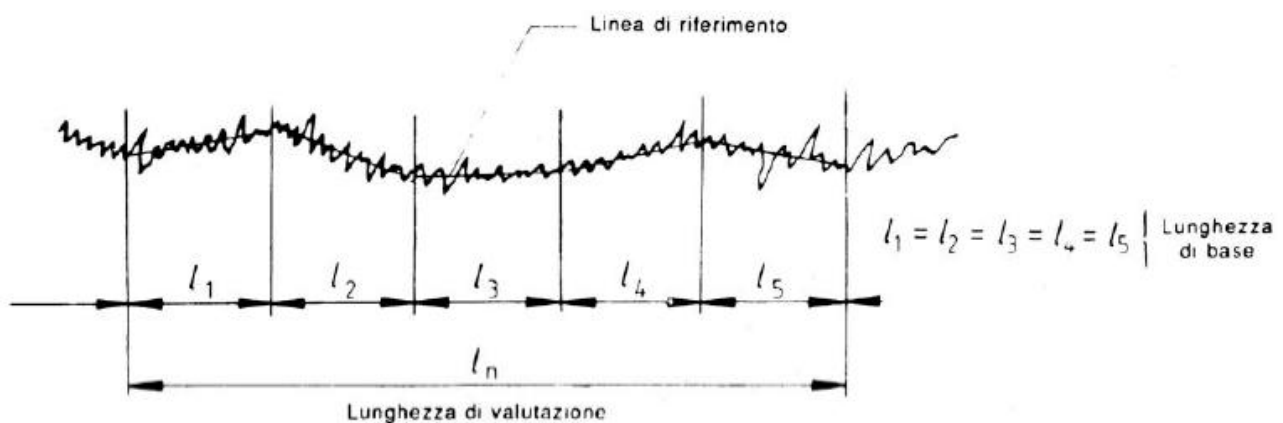


Figura 3. Linea di riferimento, lunghezza di base e lunghezza di valutazione

### Linea media del profilo ( $m$ )

Linea di riferimento avente la forma del profilo e che lo divide in modo che, all'interno della lunghezza di base  $l$ , la somma dei quadrati degli scostamenti a partire da questa linea sia minima.

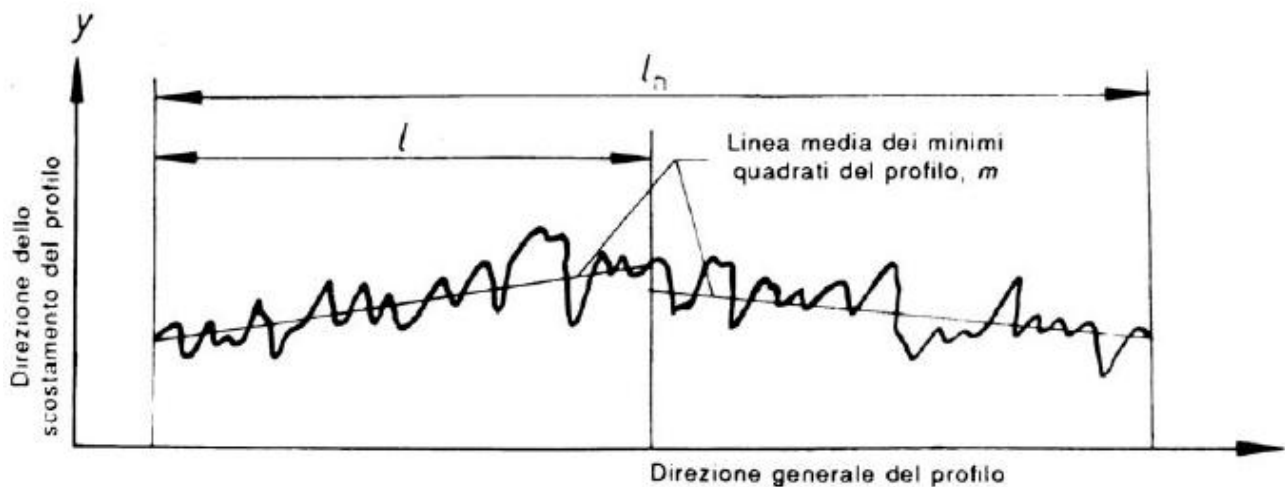


Figura 4. Linea media del profilo

### Linea centrale

Linea di riferimento avente la forma del profilo geometrico, parallela alla direzione generale del profilo e che divide il profilo in modo che, all'interno della lunghezza di base  $l$ , le aree comprese tra la linea centrale ed il profilo siano uguali da ambo i lati della linea stessa.

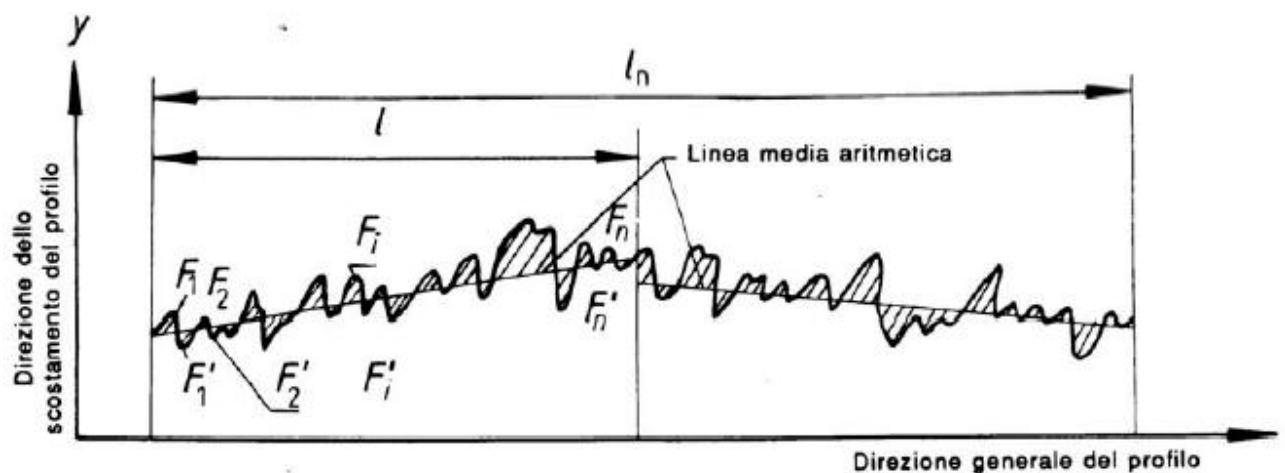


Figura 5. Linea centrale

### Altezza picco ( $y_p$ )

Distanza tra la linea media del profilo ed il punto più alto di un picco del profilo all'interno della lunghezza di base  $l$ .

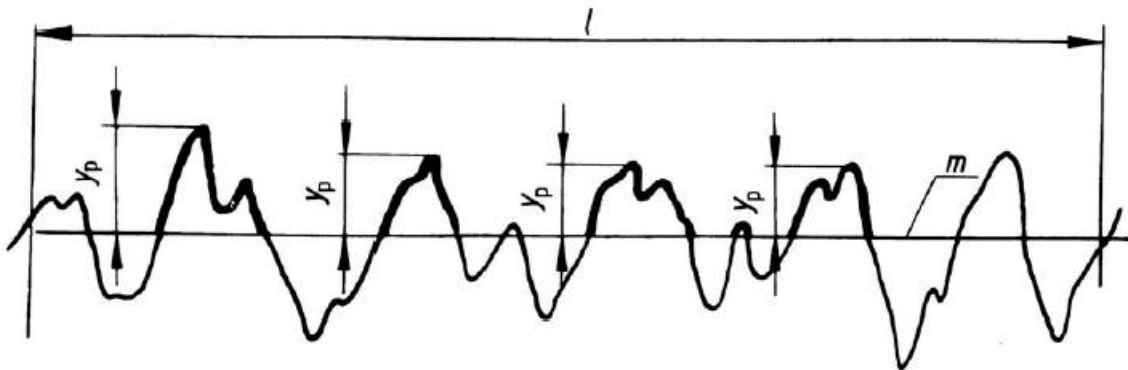


Figura 6. Altezza picco

### Profondità valle ( $y_v$ )

Distanza tra la linea media del profilo ed il punto più basso di una valle, all'interno della lunghezza di base  $l$ .

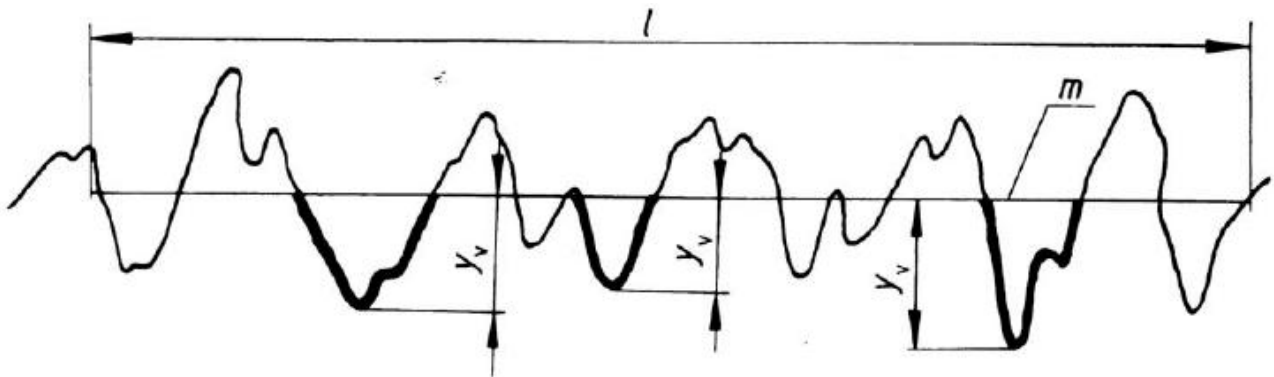


Figura 7. Profondità valle

### Altezza di una irregolarità del profilo ( $y_y$ )

Somma di  $y_p$  e  $y_v$ , ovvero tra un picco e una valle, adiacenti.

## Valori della rugosità

### Altezza delle irregolarità su 10 punti ( $R_z$ )

E' la media dei valori assoluti dei 5 picchi più alti e delle 5 valli più profonde, all'interno della lunghezza di base  $l$ .

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}$$



**Altezza media delle irregolarità del profilo ( $R_c$ )**

E' la somma dei valori medi assoluti delle altezze dei picchi del profilo e delle profondità della valli del profilo, all'interno della lunghezza di base  $l$ .

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{pi}| + \sum_{i=1}^n |y_{vi}|}{n}$$

**Scostamento medio aritmetico del profilo ( $R_a$ )**

E' la media aritmetica dei valori assoluti degli scostamenti del profilo, all'interno della lunghezza di base  $l$ .

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

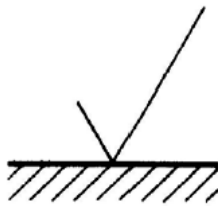
**Scostamento medio quadratico del profilo ( $R_q$ )**

E' il valore medio quadratico degli scostamenti del profilo, all'interno della lunghezza di base  $l$ .

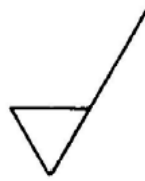
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

## Indicazione dello stato delle superfici (UNI 4600)

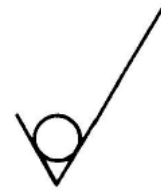
Il segno grafico di base è formato da due linee di lunghezze diverse, inclinate approssimativamente di  $60^\circ$  rispetto alla linea che rappresenta la superficie considerata.



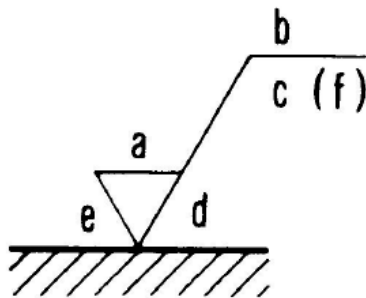
Il trattino orizzontale aggiunto indica che è richiesta una lavorazione con asportazione di materiale



Il cerchietto aggiunto indica che non è consentita una lavorazione con asportazione di materiale

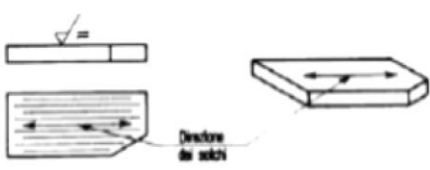
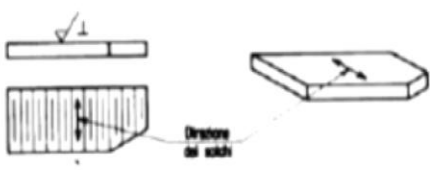
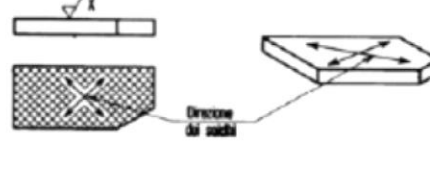
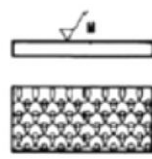

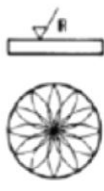


## Indicazioni aggiuntive ai segni grafici



- a      rugosità  $R_a$
- b      tipo di lavorazione, trattamento oppure rivestimento
- c      lunghezza di base (mm)
- d      direzione dei solchi
- e      sovrametallo di lavorazione (mm)
- f      altri dati relativi allo stato della superficie preceduti dal relativo simbolo (ondulazione, portanza etc.)

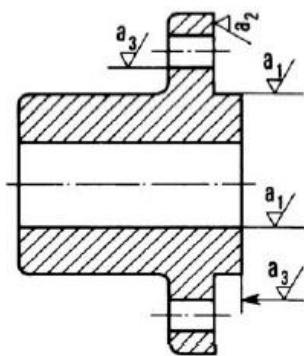
## Segni grafici per l'indicazione della direzione dei solchi

Segno grafico	Interpretazione
<b>=</b>	<p>Solchi paralleli al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico.</p> 
<b>⊥</b>	<p>Solchi perpendicolari al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico.</p> 
<b>X</b>	<p>Solchi incrociati in due direzioni oblique rispetto al piano di proiezione della vista sulla quale è applicato il segno grafico.</p> 
<b>M</b>	<p>Solchi multidirezionali.</p> 
<b>C</b>	<p>Solchi approssimativamente circolari rispetto al centro della superficie alla quale è applicato il segno grafico.</p> 
<b>R</b>	<p>Solchi approssimativamente radiali rispetto al centro della superficie alla quale è applicato il segno grafico.</p> 

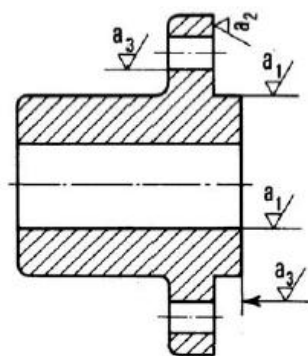
## Indicazioni sui disegni

- La punta del simbolo deve essere sempre poggiata sulla superficie in esame, oppure con delle frecce di richiamo verso l'esterno.
- Eventuali iscrizioni devono essere orientate in modo da essere lette dalla base oppure dal lato destro del disegno.
- Se per la maggior parte delle superfici del pezzo è richiesto un medesimo stato, questo è indicato aggiungendo:
  - la nota "salvo indicazioni particolari"
  - il segno grafico di base tra parentesi

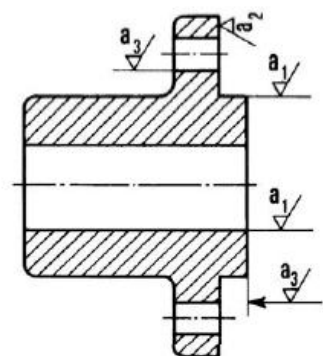
3. uno o più segni grafici tra parentesi relativi agli stati particolari delle rimanenti superfici



✓ salvo indicazione particolare

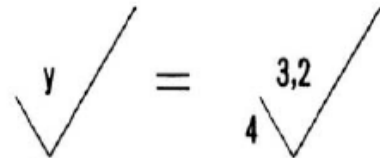
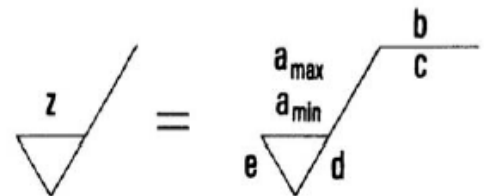
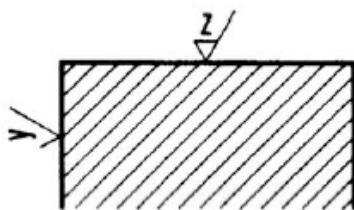


✓ ( ✓ )



✓ ( a1 / a2 / a3 )

- Per evitare di ripetere più volte l'indicazione di una prescrizione complessa o in mancanza di spazio, si possono adottare prescrizioni semplificate:



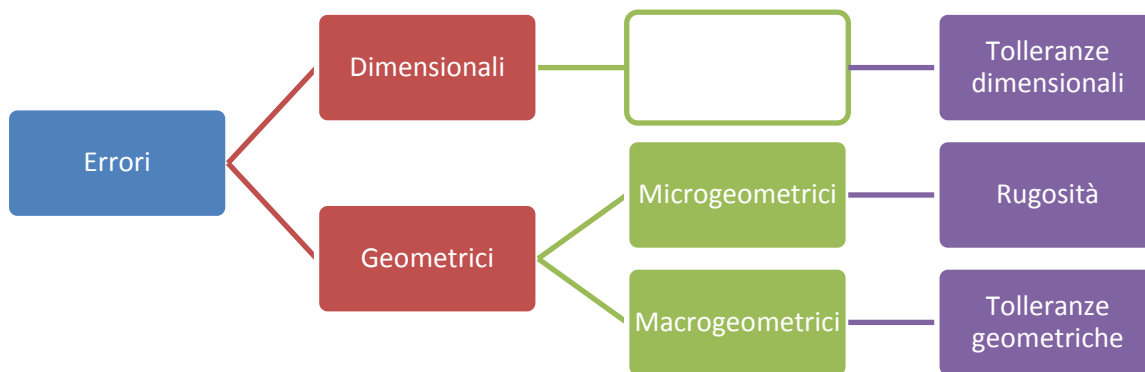
# Tolleranze dimensionali

Le dimensioni nominali assegnate dal progettista ai componenti meccanici si riferiscono a superfici geometriche ideali, che non è possibile ottenere da lavorazioni meccaniche. Dimensioni e forma reali si discostano pertanto da quelle ideali.

E' dunque necessario precisare entro quali limiti le inesattezze dimensionali non compromettano le funzionalità del componente.

E' possibile effettuare una classificazione degli errori costruttivi. Essi si dividono in:

- **Errori dimensionali:** deviazione delle dimensioni reali da quelle nominali.
- **Errori geometrici:** deviazione delle superfici reali da quelle nominali.



L'accoppiamento tra due o più parti può essere ottenuto mediante:

- **Aggiustaggio:** i pezzi da accoppiare sono adattati uno per uno al momento del montaggio (è dunque una rifinitura a freddo del pezzo meccanico).
- **Intercambiabilità:** i pezzi da accoppiare sono prodotti in lotti e le tolleranze di lavorazione sono tali da consentire l'accoppiamento di pezzi scelti a caso.

## Definizioni

### Dimensione nominale

Dimensione ideale, data dal progettista.

### Dimensione limite (massima e minima)

Dimensioni estreme ammissibili.

### Dimensione nella condizione di massimo materiale

Una delle due dimensioni limite con massimo ingombro dell'elemento (interferenza massima, gioco minimo).

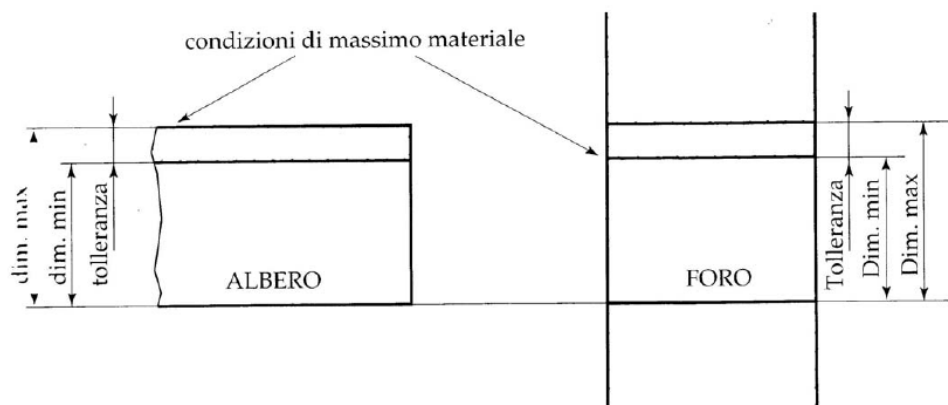


Figura 8. Condizioni di massimo materiale

### Dimensione nella condizione di minimo materiale

Una delle due dimensioni limite con minimo ingombro dell'elemento (gioco massimo, interferenza minima).

### Scostamento superiore ( $E_s$ per i fori, $e_s$ per gli alberi)

Differenza algebrica tra la dimensione massima ammissibile e la dimensione nominale corrispondente.

### Scostamento inferiore ( $E_i$ per i fori, $e_i$ per gli alberi)

Differenza algebrica tra la dimensione minima ammissibile e la dimensione nominale corrispondente.

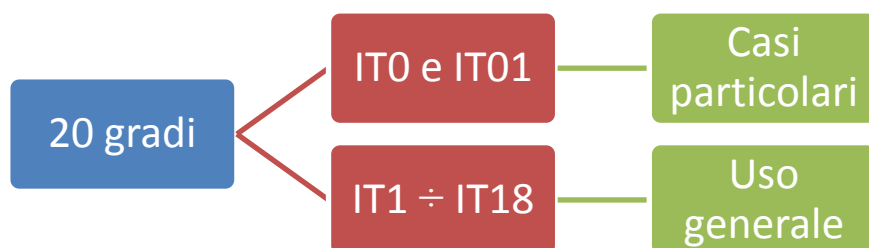
### Tolleranza

Differenza tra la massima dimensione ammissibile e la minima dimensione ammissibile, ovvero la differenza tra scostamento superiore ed inferiore.

$$IT = E_s - E_i = e_s - e_i$$

### Grado di tolleranza normalizzato

Nel sistema ISO sono previsti 20 gradi di tolleranza normalizzati.



In particolare:

- **Da IT14 a IT18**, non devono essere utilizzati per dimensioni  $\leq 1\text{mm}$ .
- **Fino a IT12**, i valori sono in  $\mu\text{m}$ , poi in  $\text{mm}$ .
- I valori sono calcolati in gruppi di dimensioni nominali e sono riferiti alla media geometrica delle dimensioni estreme:  $D = \sqrt{D_1 \cdot D_2}$
- I valori delle tolleranze tra IT2 e IT4 sono ripartiti in progressione geometrica (serie di Renard) tra i valori **di IT1 e IT5**.
- I valori delle tolleranze **tra IT5 e IT18**, per dimensioni nominali fino a 500mm, sono determinati in funzione dell'unità di tolleranza  $i$

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$$

Gradi di tolleranza normalizzati	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Moltiplicare $i$ per	2*	2,7*	3,7*	5*	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

Esempio. Per  $d = 25\text{mm} \rightarrow IT7 = 16i = 16 \cdot 1,341 \cong 21\mu\text{m}$

Inoltre:

- **Da IT1 a IT4**, sono gradi di tolleranza per lavorazioni di precisione.
- **Da IT5 a IT11**, sono gradi di tolleranza per lavorazioni normali.
- **Da IT12 a IT18**, sono gradi di tolleranza per lavorazioni grossolane.

## Posizioni delle tolleranze

La posizione della zona di tolleranza rispetto alla linea dello zero è definita da una dei due scostamenti, scelto convenzionalmente e detto **scostamento fondamentale**, legato alla dimensione nominale. Per convenzione, lo scostamento fondamentale è quello che definisce il limite più vicino alla linea dello zero.

Il sistema ISO prevede 27 posizioni, designate da una lettera maiuscola per i fori e da una lettera minuscola per gli alberi.

	Posizione	Scostamento fondamentale
Foro	A÷H	$E_i$
	K÷Z <sub>c</sub>	$E_s$
Albero	a÷h	$e_s$
	k÷z <sub>c</sub>	$e_i$

In particolare:

- $J_s$  e  $j_s$  prevedono una ripartizione simmetrica della tolleranza rispetto alla linea dello zero.
- La posizione  $H$  è quella per cui lo scostamento fondamentale (inferiore) è nullo.
- La posizione  $h$  è quella per cui lo scostamento fondamentale (superiore) è nullo.

Inoltre, nel caso di *albero base con interferenza*, quando si analizza lo scostamento  $E_s$ , si deve tener conto del  $\Delta$ , dove  $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$

## Indicazione delle quote con tolleranza

L'indicazione delle quote con tolleranza prevede che vengano indicati:

- Dimensione nominale
- Lettera indicante la posizione della zona di tolleranza
- Grado di tolleranza

*Esempio.*

$$\varnothing = 75G7$$

Si cerca innanzitutto il valore della tolleranza corrispondente alla qualità IT7, trovando 30μm. Si cerca quindi il valore dello scostamento fondamentale corrispondente alla lettera G: si trova +10μm e viene indicato, inoltre, che questo è lo scostamento inferiore  $E_i$ , quindi il valore dello scostamento superiore  $E_s$  è 40μm ( $E_s = E_i + IT$ ).

## Accoppiamenti nel sistema ISO

Esistono diversi tipi di accoppiamento nel sistema ISO:

- **Accoppiamento mobile (o con gioco):** il diametro del foro deve essere sempre maggiore del diametro dell'albero.

$$\begin{aligned} G_{max} &= D_{max} - d_{min} \\ G_{min} &= D_{min} - d_{max} \end{aligned}$$

- **Accoppiamento con interferenza:** il diametro del foro deve essere sempre minore del diametro dell'albero.

$$\begin{aligned} I_{max} &= d_{max} - D_{min} \\ I_{min} &= d_{min} - D_{max} \end{aligned}$$

- **Accoppiamento incerto:** non è noto a priori se il diametro del foro sia maggiore o minore del diametro dell'albero.

Inoltre, gli accoppiamenti possono essere classificati in due ulteriori tipologie:

- **Accoppiamenti albero base:** insieme sistematico di accoppiamenti ottenuti combinando tra loro un albero base avente posizione  $h$  e fori aventi diverse zone di tolleranza.
  - **Vantaggi:** risparmio sull'utilizzo di calibri per esterni (più costosi); facilità di reperire barre già rettificate.
  - **Svantaggi:** bisogna lavorare più fori (lavorazione più costosa rispetto a quella degli alberi)
  - **Utilizzi:** costruzione di trasmissioni, apparecchi di sollevamento, macchine agricole.
- **Accoppiamenti foro base:** insieme sistematico di accoppiamenti ottenuti combinando tra loro un foro base avente posizione  $H$  ed alberi aventi diverse zone di tolleranza.
  - **Utilizzi:** nelle principali industrie meccaniche, nella costruzione di macchine utensili e nell'industria aeronautica.



## Serie di quote tollerate sullo stesso componente

La quota totale risulta dalla somma delle quote parziali con le loro tolleranze; questa quota avrà valore minimo quando le quote parziali avranno valore minimo o valore massimo quando le quote parziali avranno valore massimo.

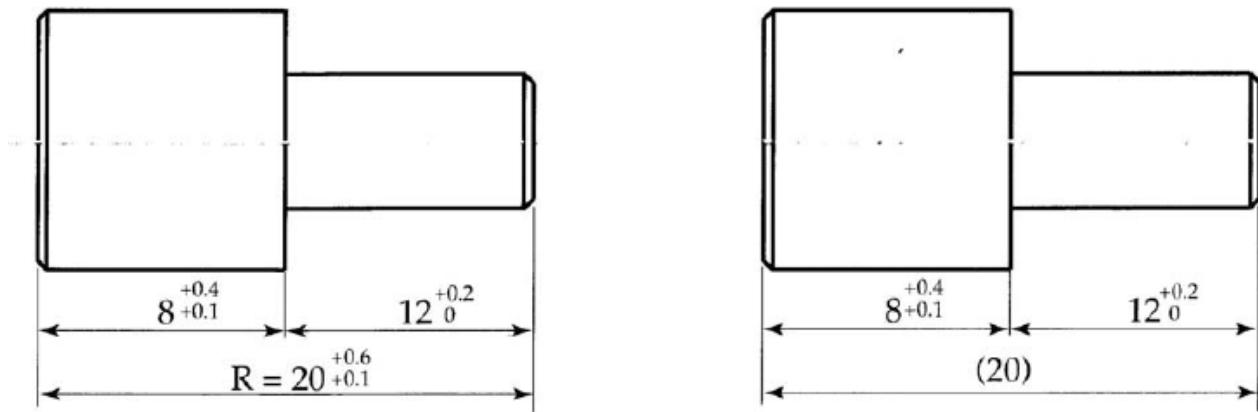


Figura 9. Serie di quote tollerate

## Catene di quote tollerate

Le catene di quote sono utili per l'analisi di montaggio, poiché determinano i valori massimi e minimi di giochi ed interferenze. Ad esempio, la somma di tutte le tolleranze dei vari pezzi, disposti in successione l'uno all'altro, deve eguagliare la tolleranza del gioco.

# Tolleranze geometriche (UNI 7226/ISO 1101)

Il **dimensionamento geometrico** è un mezzo per specificare in un progetto o in un disegno le funzionalità geometriche e le relazioni funzionali tra le singolarità di forma per ottenere la produzione più qualitativa ed economica. Indica come controllare e misurare i particolari, assicurando il rispetto delle intenzioni del progettista e consentendo al costruttore di scegliere le più appropriate procedure.

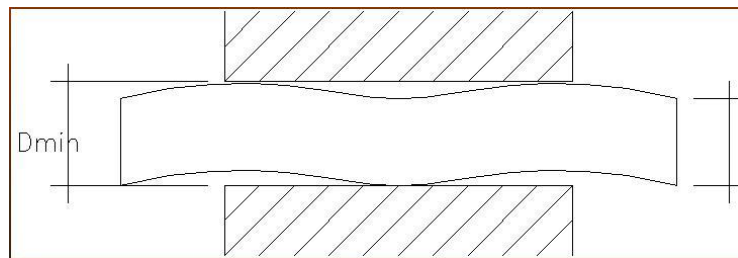


Figura 10. Esempio: se trascuriamo la forma, un accoppiamento scorrevole albero – foro tipo h/H diviene forzato in assenza di adeguata cilindricità o rettilineità.

Negli USA, si usa il termine “Geometric Dimensioning and Tolerancing” (**GD&T**) traducibile come “Dimensionamento geometrico a tolleranza”. Il GD&T si propone la creazione di un linguaggio tecnico per trasmettere in maniera univoca e fedele condizioni di forma, dimensione e funzione degli oggetti da realizzare.

Attualmente si tende ad utilizzare il termine **GPS** (Geometrical Product Specification): specifiche geometriche di prodotto.

Prima di introdurre le tolleranze geometriche, si utilizzavano unicamente le tolleranze dimensionali, le quali non sono in grado di evitare alcuni errori di forma e posizione: le superfici reali dei pezzi possono scostarsi dalla forma geometrica prescritta, pur restando all’interno della tolleranza dimensionale.

Attualmente, invece, è stato introdotto il **principio di indipendenza**, il quale sancisce che ciascuna prescrizione dimensionale o geometrica, specificata su un disegno, deve essere rispettata in modo indipendente, salvo non sia prescritta sul disegno una relazione particolare. Pertanto, in mancanza di indicazioni specifiche, le tolleranze geometriche si applicano senza tener conto delle dimensioni dell’elemento e le sue prescrizioni, dimensionali e geometriche, devono essere trattate come esigenze tra loro indipendenti.

Secondo il principio:

- Le deviazioni di forma non sono limitate dalle tolleranze dimensionali, che controllano solo le dimensioni locali reali di un elemento ma non i suoi errori di forma.
- Le tolleranze geometriche limitano lo scostamento di un elemento in rapporto a forma, orientamento e posizione senza tener conto delle dimensioni.

I disegni cui si applica il principio devono essere identificati con la sigla: “**tolleranze secondo UNI ISO 8015**”.

Le **eccezioni** al principio di indipendenza si applicano in caso di:

- **Esigenza di inviluppo.** Nel caso in cui sia necessario un incastro, tale esigenza implica che non deve essere superata la forma perfetta corrispondente alla condizione di massimo materiale. Sul disegno, dopo la tolleranza dimensionale, viene messo il simbolo *E*. Quando una dimensione locale dell'elemento si allontana dalla condizione di massimo materiale, è consentita una variazione di forma conforme alla tolleranza dimensionale.
- **Principio di "massimo materiale".** Nel caso di accoppiamento con gioco, questo ha il valore minimo quando gli elementi da accoppiare si trovano nelle condizioni di massimo materiale previsto dalle tolleranze dimensionali e si ha anche il massimo scostamento dalle condizioni geometriche nominali.

Il gioco nell'accoppiamento cresce se le dimensioni effettive degli elementi da accoppiare si scostano dai limiti di massimo materiale e se gli errori di forma e di posizione non raggiungono i valori massimi consentiti. La conseguenza è che le tolleranze di forma o di posizione (geometriche, dunque) possono essere in pratica ampliate, senza compromettere la possibilità di accoppiamento, quando le dimensioni effettive degli elementi da accoppiare non raggiungono i valori corrispondenti alla condizione di massimo materiale. Sul disegno si indica con una *M*.

## Riferimento

Elemento geometrico di forma perfetta, in base al quale si fissano caratteristiche dimensionali e geometriche degli elementi, in modo da rendere la misura **univoca e ripetibile**. Esso è costituito da una terna di piani ortogonali che non si trovano sul pezzo; piani ed assi sono posti sull'attrezzatura di riferimento.

Riferimenti parziali sono utilizzati per forme complesse o irregolari, allorché:

- solo una porzione di superficie dell'elemento è funzionale;
- la superficie irregolare non permette l'uso di superfici piane o regolari come riferimento;
- il pezzo può oscillare se posizionato con una sua superficie di riferimento.



## Classificazione delle tolleranze geometriche



Le tolleranze geometriche si dividono in:

- tolleranze di forma
- tolleranze di orientamento
- tolleranze di posizione
- tolleranze di oscillazione

### Tolleranze di forma



Esse rappresentano i limiti di variazione di una superficie dalla superficie geometrica e possono essere di:

- **Rettilineità** : la superficie in considerazione deve rimanere compresa tra 2 rette parallele, distanti il valore della tolleranza.
- **Planarità** : la superficie in considerazione deve essere compresa tra 2 piani paralleli, distanti il valore della tolleranza.

- **Circolarità** : la superficie circolare in considerazione deve essere compresa nell'anello circolare definito da 2 circonferenze concentriche, aventi la differenza dei loro diametri uguali al valore della tolleranza.
- **Cilindricità** : caratteristica per cui tutti i punti della superficie sono equidistanti da un asse; tale superficie deve essere compresa tra 2 cilindri coassiali, aventi differenza di diametro uguale al valore della tolleranza.


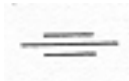

## Tolleranze di orientamento

Le tolleranze di orientamento controllano l'orientamento di un elemento rispetto ad uno o più riferimenti. Possono essere di:

- **Parallelismo**  - **Perpendicolarità** :
  1. **Asse rispetto ad asse:** l'asse deve essere compreso in un cilindro di diametro pari alla tolleranza, parallelo (perpendicolare) all'asse di riferimento.
  2. **Asse rispetto ad un piano:** l'asse deve essere compreso in un cilindro di diametro pari alla tolleranza, parallelo (perpendicolare) al piano di riferimento.
  3. **Piano rispetto ad un asse:** la superficie deve essere compresa tra 2 piani paralleli a distanza pari al valore della tolleranza, paralleli (perpendicolari) all'asse di riferimento
  4. **Piano rispetto ad un piano:** la superficie deve essere compresa tra 2 piani paralleli a distanza pari al valore della tolleranza e paralleli (perpendicolari) al piano di riferimento
- **Inclinazione:** condizione di una superficie o asse che si trova inclinato rispetto ad una asse generico ( $\neq 0^\circ$  e  $\neq 90^\circ$ ).

## Tolleranze di posizione

In questo caso, le variazioni sono consentite rispetto ad un riferimento. Esse sono di:

- **Localizzazione** : il punto deve rientrare dentro la circonferenza di diametro pari alla tolleranza e con centro nel punto di riferimento.
- **Simmetria** : condizione in cui gli elementi sono disposti simmetricamente rispetto ad un asse di riferimento.
- **Concentricità** : condizione in cui tutti i punti medi di tutti gli elementi diametralmente opposti si trovano sullo stesso asse.

# Materiali per l'ingegneria industriale

---

## Richiami storici

Legno → dall'antichità

Metalli → Rivoluzione Industriale

Plastiche → Seconda guerra mondiale

Compositi → ultimi 50-60 anni

## Materiali e caratteristiche

### Materiali metallici

- Formati da metallo puro o leghe
- **Materiale principale:** acciaio/ghisa, carbonio
- **Lavorazione:** fusione → formatura allo stato fluido in apposita forma → raffreddamento
- Buona conducibilità elettrica e termica
- Buona resistenza meccanica
- Discreta resistenza all'usura
- Elevato peso specifico
- Saldabilità e lavorabilità meccanica elevate
- Resistenza a compressione = resistenza a trazione

### Materiali ceramici

- Formati da ossidi di metalli
- **Materiali principali:** silice, alluminio, carburi, nitruri
- **Lavorazione:** formatura a freddo delle polveri → reazione di sinterizzazione con innalzamento della temperatura, senza arrivare a fusione → raffreddamento
- Buon isolamento elettrico e termico
- Buona resistenza ad alte temperature
- Buona resistenza all'usura
- Elevata durezza
- Peso specifico contenuto
- Scarsa lavorabilità dopo cottura
- Resistenza a compressione molto maggiore rispetto alla resistenza a trazione

### Materiali plastici

- Formati da catene polimeriche
- **Materiale principale:** carbonio
- **Lavorazione:** polimerizzazione di un monomero → innalzamento della temperatura sino allo stadio di un semiliquido → formatura allo stato liquido → raffreddamento
- Buon isolamento termico
- Scarsa resistenza ad alte temperature
- Costo contenuto
- Basso peso specifico
- Elevata riciclabilità

### **Materiali compositi**

- Metallo+ceramica, ceramico+resina, metallo+resina
- **Lavorazione principale:** coesione tra fibra e matrice
- Si cerca di ottenere in un unico prodotto i vantaggi dei diversi materiali

# Collegamenti meccanici

## Classificazione

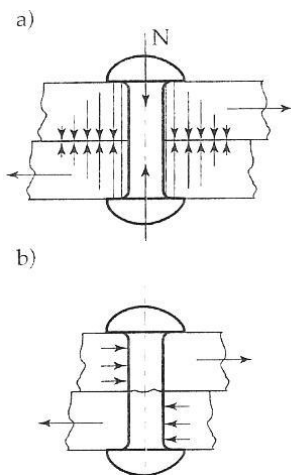
- **Permanenti**
- **Smontabili filettati**
- **Smontabili non filettati**

La scelta del tipo di collegamento dipende dalla funzione del collegamento stesso e dal materiale.

## Collegamenti permanenti

### Chiodature

I chiodi sono costituiti da un gambo cilindrico ed una testa di forma varia. Vengono inseriti in fori praticati nei pezzi da unire; successivamente la testa viene bloccata e viene ottenuta una contro-testa tramite una ricalcatura del gambo sporgente.



La chiodatura **a caldo** (900°C) è necessaria per chiodi con diametro del gambo  $\geq 8\text{mm}$ . Garantisce una buona tenuta verticale per la compressione generata dal ritiro del gambo dovuto al graduale raffreddamento; l'attrito tra le lamiere evita il rischio di traslazioni per i vuoti che si possono creare nel ritiro del metallo del chiodo.

La chiodatura **a freddo** viene effettuata con ribattini o rivetti. Buona tenuta alla traslazione, per l'attrito generato nella ricalcatura del chiodo sia tra le lamiere che tra chiodo e cavità cilindrica.

#### Processo:

- Foratura
- Cianfrinatura: svasatura della parte esterna del foro
- Inserzione del chiodo
- Ricalcatura

Figura 11. (a) chiodatura a caldo;  
(b) chiodatura a freddo

Le chiodature non vengono quasi più utilizzate perché:

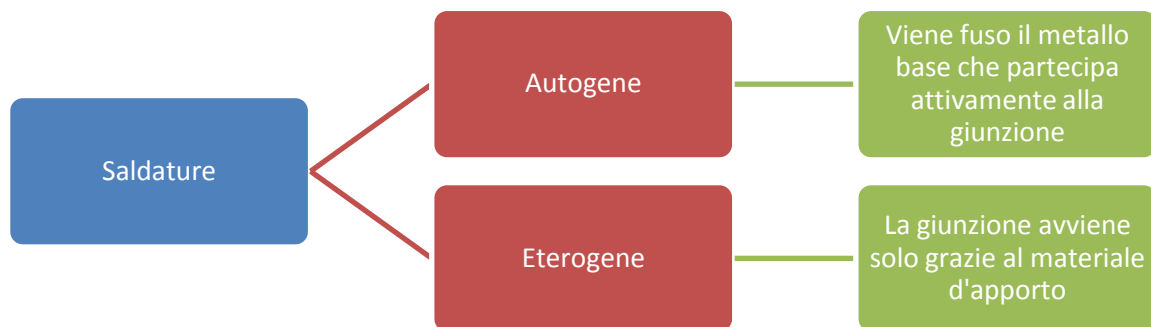
- metodi di controllo moderni consentono di utilizzare le saldature, più convenienti e che non appesantiscono i giunti
- la saldatura può essere fatta più agevolmente in opera
- le chiodature richiedono una elevata precisione nel montaggio

Le chiodature vengono ancora molto utilizzate in aeronautica perché

- i materiali compositi non possono essere saldati
- le leghe leggere hanno il problema della "mappatura"
- la bulloneria crea problemi aerodinamici e di sicurezza

## Saldature

Processo per cui si realizza l'unione di 2 o più parti mediante la parziale fusione del materiale in prossimità della giunzione, per effetto di un riscaldamento localizzato.



### Saldature autogene per fusione

Ottenute mediante fusione localizzata dei 2 lembi di giunzione, si dividono in saldature:

- **a gas (3300°C):** prevede come attrezzatura una bombola di comburente (ossigeno) ed una di combustibile (acetilene con fiamma ossiacetilenica o idrogeno con fiamma ossidrica). In entrambi i casi, si sviluppa vapore acqueo dalla combustione.
- **ad arco elettrico (5000°C/30000°C):** l'energia è ottenuta da un arco elettrico, compreso tra un elettrodo (catodo) ed il metallo base (anodo); la parte da saldare è collegata al secondo polo del generatore mediante un morsetto.  
Gli elettrodi sono costituiti da metallo d'apporto, simile a quello da saldare e rivestito da una guaina protettiva, avente la funzione di proteggere il metallo dall'ossidazione.  
Nei processi industriali si può avere la **saldatura in atmosfera protettiva**, dove l'arco si trova in atmosfera inerte; l'elettrodo può essere fusibile o infusibile.
- **a laser**
- **alluminotermica**

### Saldature autogene per pressione

- **a resistenza elettrica:** il calore è prodotto dall'effetto Joule del materiale che mostra una certa resistenza elettrica al flusso di corrente. Al punto di fusione, le due parti vengono premute l'una contro l'altra, senza l'aggiunta di materiale d'apporto. La fusione è localizzata in un punto preciso, detto nocciolo.
- **ad attrito**
- **ad esplosione**
- **ad ultrasuoni**

### Saldature eterogene

Si usano con i metalli non saldabili o per ridurre le deformazioni dovute alla fusione.



Si dividono in:

- **saldobrasatura (650°C ÷ 950°C):** i lembi vengono preparati come per le saldature autogene; la differenza è, ovviamente, che i lembi non vengono portati a fusione.
- **brasatura:** i lembi vengono accostati tra loro lasciando un piccolo spazio in cui si deve inserire il metallo d'apporto fuso. L'unione si realizza senza la formazione di leghe ed è opportuno che il giunto presenti la maggior superficie possibile.

La saldatura è caratterizzata da:

- tipo di giunto
- forma della saldatura
- dimensione del cordone
- processo utilizzato

A saldatura terminata, ci può essere la rimozione delle scorie in eccesso.

### Rappresentazione sul disegno

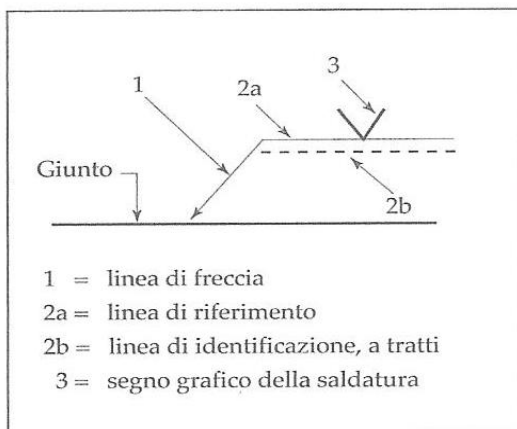


Figura 12. Indicazione di una saldatura secondo la UNI 1310

- Se il segno grafico sta sul tratteggio, significa che bisogna saldare il lato opposto alla freccia.
- Alla sinistra del segno grafico ci sono le quote della sezione trasversale.
- Alla destra ci sono le quote della sezione longitudinale, con 2 numeri: il primo indica la lunghezza, il secondo la distanza.
- Con saldature ad angolo ( $\Delta$ ),  $a$  indica la lunghezza dell'ipotenusa,  $z$  la lunghezza del cateto.

### Incollaggi

Sono collegamenti stabili, ottenuti per mezzo di adesivi interposti tra le 2 parti da collegare.

Si usa per materiali non saldabili, né riscaldabili.

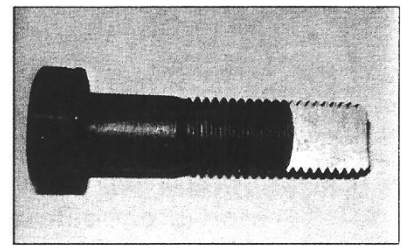
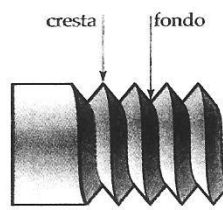
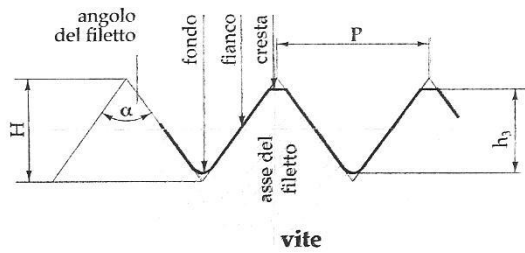
Le molecole del collante o delle resine termoplastiche/termoindurenti garantiscono resistenza alla giunzione con azioni chimico-fisiche.

I lembi da congiungere vengono preferibilmente smussati, mentre l'incollaggio ad angolo non è molto resistente.

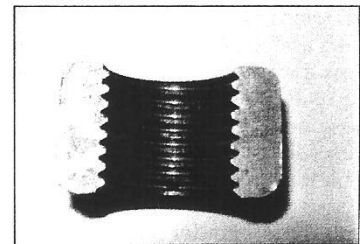
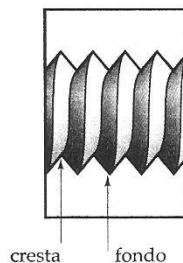
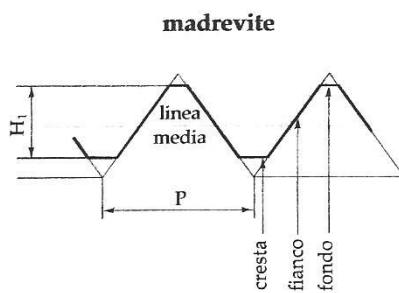
### Collegamenti smontabili filettati

#### Filettature

Il **filetto** è un risalto a sezione costante, avvolto ad elica sulla superficie esterna di un elemento (cilindrico o conico) che prende il nome di **vite**, o sulla superficie interna di un elemento analogo che prende il nome di **madrevite**.



8. Elementi caratteristici di una filettatura: la vite.



9. Elementi caratteristici di una filettatura: la madrevite.

Figura 13. Vite e madrevite

La vite avanza in direzione assiale; i collegamenti filettati sono quindi collegamenti per attrito e le viti agiscono comprimendo i pezzi da collegare.

Gli elementi filettati possono agire come:

- organi di collegamento (fissaggio);
- organi di trasmissione.

Per ottenere una filettatura, si può procedere mediante asportazione del materiale eccedente dal gambo con un utensile (**filiera**) manovrato manualmente, oppure con macchine utensili di vario tipo (**tornio**, **fresatrice**, **filettrice**).

La filettatura delle viti e madreviti di legno viene effettuata sempre col tornio.

Per gli altri materiali, le filettature si effettuano mediante **stampaggio** (processo di sagomatura meccanica mediante deformazione plastica di materiali metallici, gomma, ceramica, ecc.). Lo **stampaggio a caldo** è un caso particolare di **fucinatura**; lo **stampaggio a freddo** offre il vantaggio di una maggiore rapidità di esecuzione e di una migliore finitura superficiale del prodotto.

### Elementi principali di una filettatura

#### Elica

La forma di una filettatura. E' una curva descritta da un punto che si muove secondo due moti: uno circolare e uno rettilineo uniforme.

## Forma del profilo

Figura risultante dall'intersezione del filetto con un semipiano avente per origine l'asse della filettatura.

Il profilo si divide in:

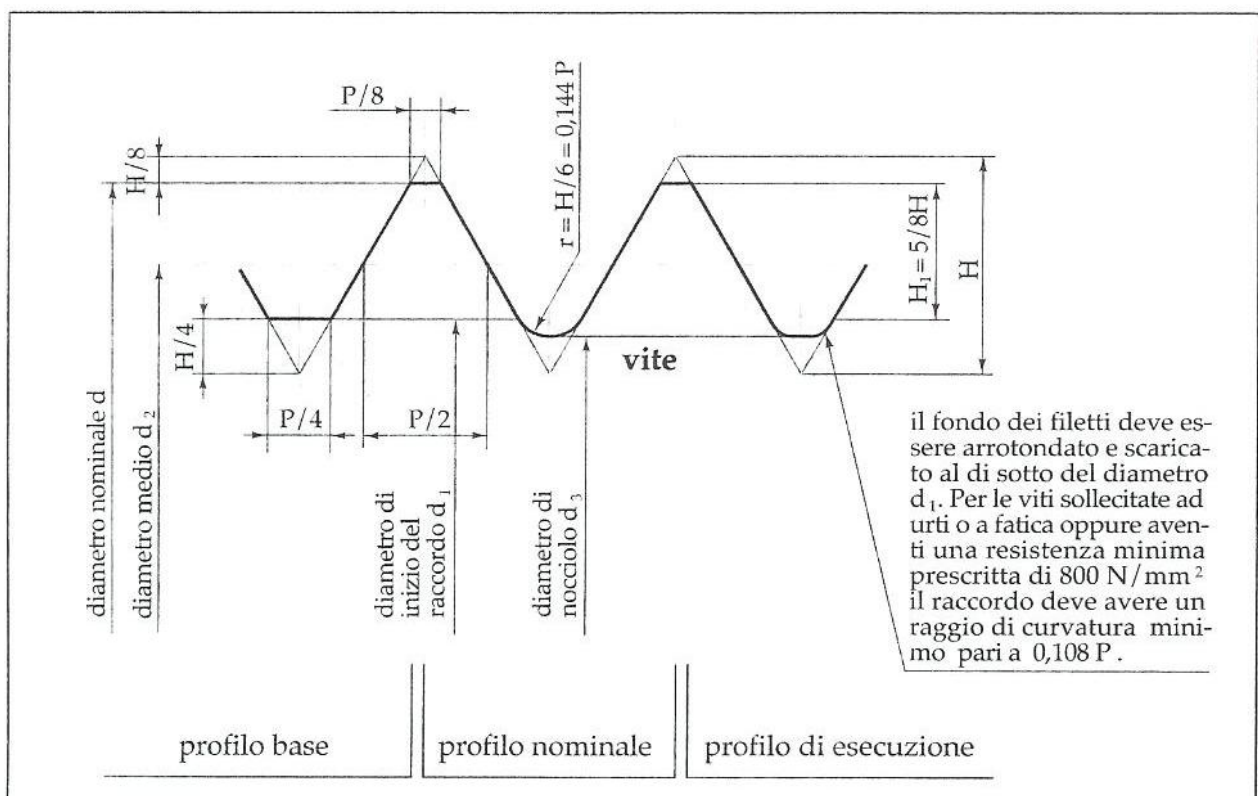
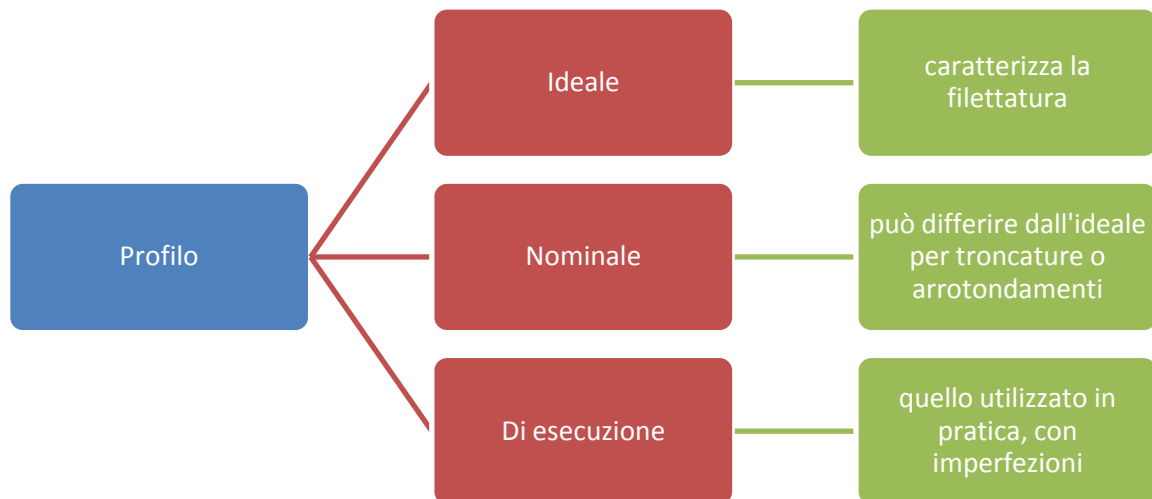


Figura 14. Forma del profilo per la vite

Elementi che caratterizzano la forma del profilo sono l'**angolo del filetto** (angolo al vertice del triangolo generatore), **cresta** e **fondo** (inversi per vite e madrevite). Vedi fig. 13.

**Passo**

Distanza tra 2 creste o tra 2 punti corrispondenti situati su fianchi paralleli consecutivi.

**Numero dei principi**

Per ottenere passo lungo con filetto non molto alto, si ricorre all'uso di 2 principi anziché 1: sul medesimo elemento conico si avvolgono più filetti elicoidali contigui. Il passo della filettatura è il passo normale moltiplicato per il numero di principi.

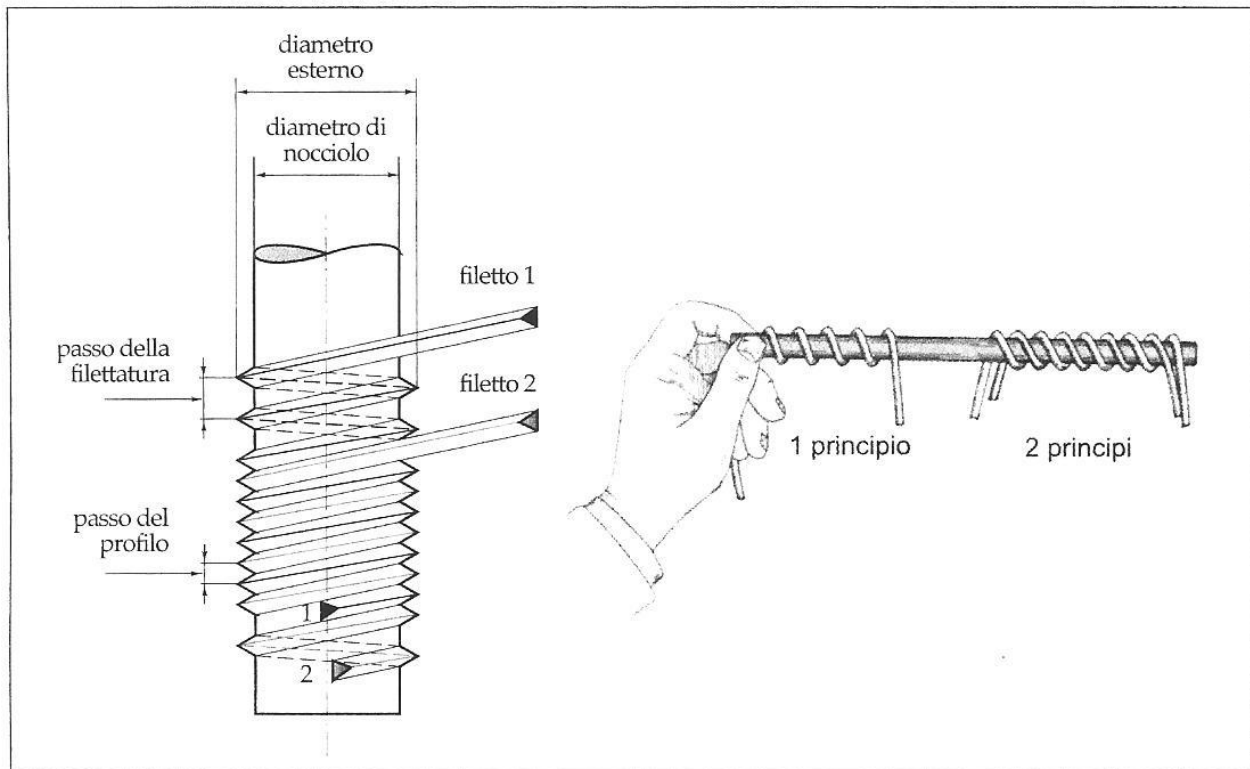


Figura 15. Numero di principi

**Diametro nominale**

- Diametro esterno  $d$  della vite (con filettatura)
- Diametro corrispondente  $D$  della madrevite

**Diametro esterno**

Si considerano le creste per la vite ( $d$ ) e i fondi per la madrevite ( $D_3$ ).

**Diametro di nocciolo**

Misurato sul fondo del filetto nella vite ( $d_3$ ) e sulla cresta del filetto nella madrevite ( $D_1$ )

**Diametro di raccordo**

Per la vite, è misurato in corrispondenza del punto del profilo dove il fianco rettilineo si unisce al raccordo  $d_1$  (v. fig. 14).

### Diametro medio

Misurato sulla linea media (linea parallela all'asse e passante per il punto medio tra cresta e fondo).  $d_2$  per la vite e  $D_2$  per la madrevite.

### Angolo e senso dell'elica

- **Angolo:** è l'angolo formato tra un piano perpendicolare all'asse della filettatura e la tangente condotta per un punto dell'elica. Il suo valore è minore dell'angolo di attrito ( $5^\circ$ - $7^\circ$ ) per evitare il pericolo di svitamento spontaneo.
- **Senso:**
  - se si avvita in senso **orario** → **destrorso** (nessuna specificazione sul progetto);
  - se si avvita in senso **antiorario** → **sinistrorso** (va indicato *LH* sul progetto).

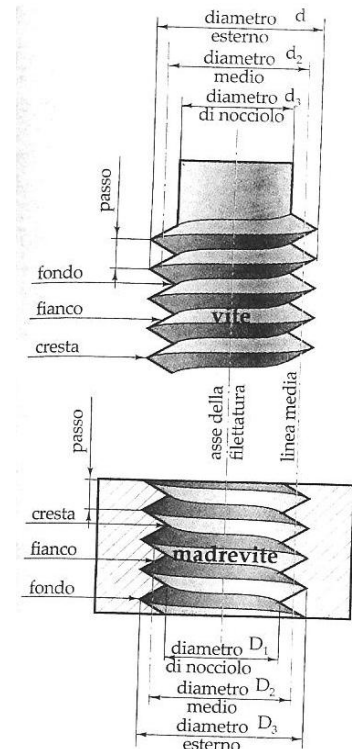


Figura 16. Elementi geometrici di un collegamento vite-madrevite

### Sistemi di filettature

#### 1. Filettature metriche ISO a profilo triangolare

Il profilo è un triangolo equilatero (angolo del filetto  $\alpha = 60^\circ$ ) con il lato uguale al passo.

**Profilo ideale:** triangolo con vertici troncati.

**Profilo nominale:** quello della madrevite è uguale a quello ideale, mentre quello della vite ha un raccordo sul fondo di raggio  $H/6$ .

**Profilo di esecuzione:** per le madreviti con arrotondamento sul fondo e per le viti con diametro di nocciolo leggermente maggiore.

Queste filettature non sono a tenuta stagna perché c'è **gioco**.

La **designazione** (in mm) prevista è la seguente:

- **unificate a passo grosso:** il passo è unico: "*M* - diametro nominale";
- **unificate a passo fine:** ci possono essere anche 3 passi: "*M* - diametro nominale - *x* - passo";
- **non unificate:** "diametro nominale - *x* - passo - *M*".

N.B.: in caso di più principi, si indica con *L* il passo della filettatura e con *P* il passo del profilo.

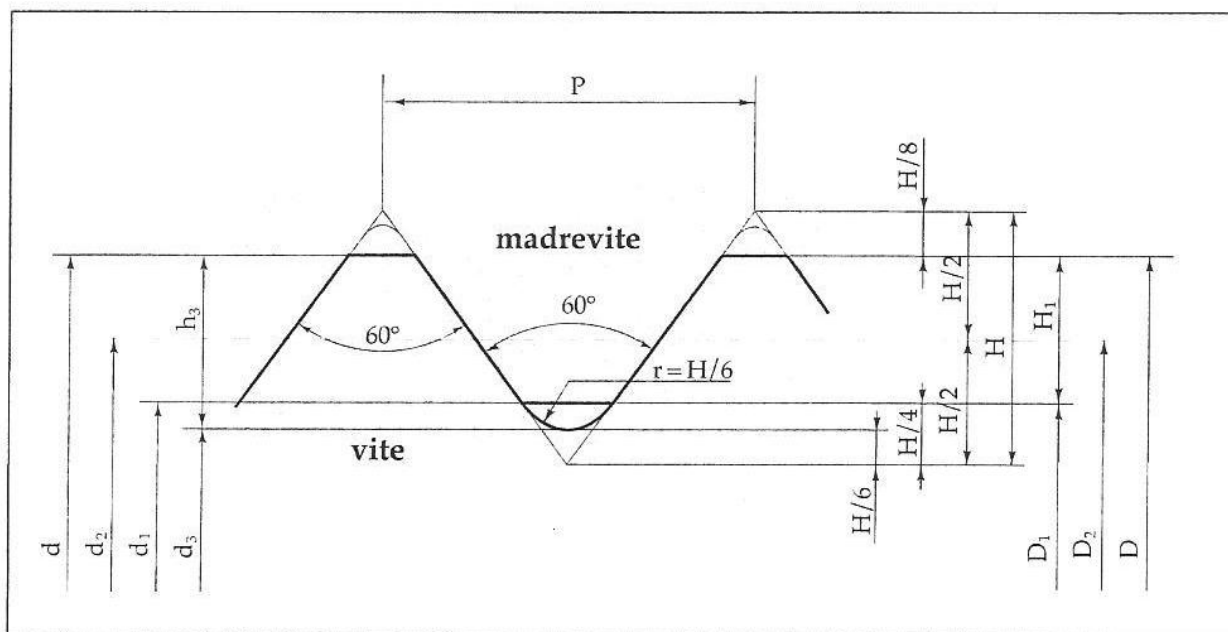


Figura 17. Sintesi degli elementi geometrici del profilo nominale per le filettature metriche ISO

## 2. Filettature Whitworth

Il profilo è generato da un triangolo isoscele con angolo del profilo  $\alpha = 55^\circ$ ; fondo e creste sono arrotondati sia nella vite che nella madrevite.

A parità di diametro, il passo Whitworth è maggiore rispetto all'ISO.

La **designazione** (in pollici o frazioni) prevista è la seguente:

- **unificate**: "diametro nominale – W"
- **non unificate**: "diametro nominale – x – filetti per pollice – W"

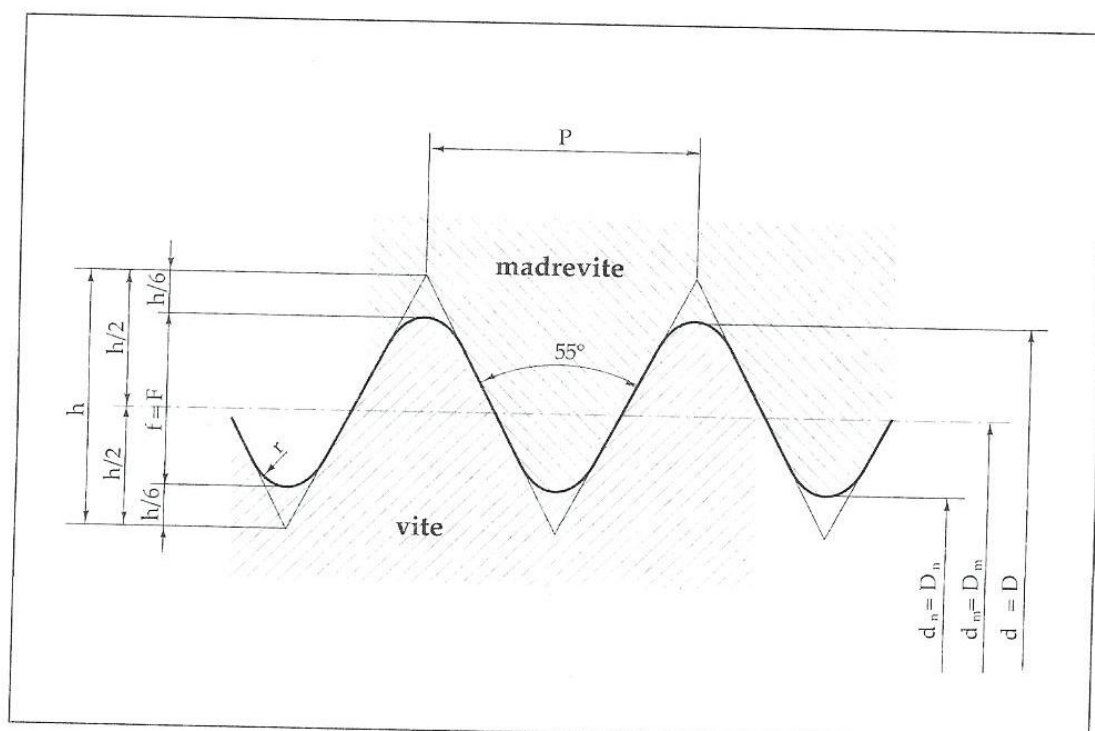


Figura 18. Profilo della filettatura Whitworth



### 3. Filettature gas

Derivano dalle Whitworth e sono utilizzate per i tubi del gas.

Le norme prevedono la **classificazione** in:

- **non a tenuta stagna:** vite e madrevite cilindriche; l'ermeticità è garantita dall'utilizzo di una guarnizione.

**Designazione:** ci sono 2 classi di tolleranza (*A* e *B*). La designazione (in pollici o frazioni) si indica con: "*G* – diametro nominale – *A/B*".

- **a tenuta stagna:** vite conica, madrevite cilindrica o conica; l'ermeticità è già garantita.

**Designazione:** (in pollici o frazioni)

- filettature interne cilindriche: "*R – p* – diametro nominale"
- filettature interne coniche: "*R – c* – diametro nominale"
- filettature esterne coniche: "*R* – diametro nominale"

### 4. Filettatura per viti autofilettanti

La filettatura della madrevite è ottenuta mediante avvitarimento del maschio, di materiale più duro, e può avvenire per deformazione plastica del materiale della madrevite.

### 5. Filettatura per viti di manovra

Sono destinate a trasformare il moto rotatorio in moto traslatorio. Sono generalmente a profilo trapezoidale o quadrato, poiché sono soggette a sforzo assiale maggiore.

### 6. Profilo a dente di sega

Utilizzato nei tubi soggetti a sforzi interni nel senso assiale; il profilo è a forma di trapezio asimmetrico, con inclinazione di 3°. Tra vite e madrevite è previsto un forte gioco assiale e un centraggio sul diametro esterno.

**Designazione:** (in millimetri)

- "diametro nominale – *SgN* (sega normale) / *SgF* (sega fine) – numero filetti (se  $\neq 1$ ) – *sin* (se è sinistra)"

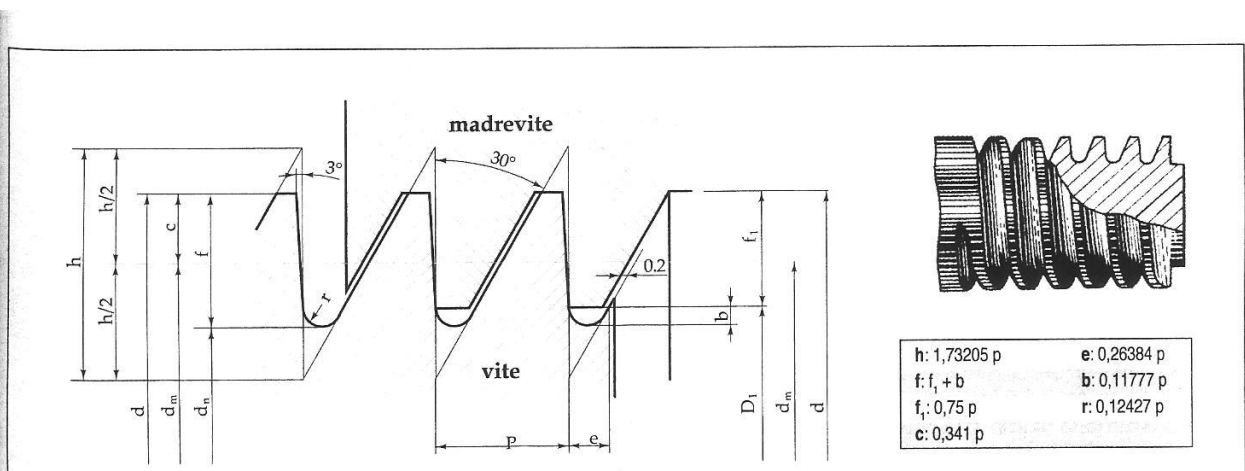


Figura 19. Filettatura a dente di sega con le formule di dimensionamento

## 7. Viti da legno

Passo del profilo molto grande, l'elica ha una differente inclinazione.

## 8. Profilo Edison

Utilizzato per le lampadine, è semicircolare (per evitare l'effetto punta).

### *Esecuzione delle filettature*

Le filettature possono essere eseguite in vari modi:

- **Deformazione plastica a freddo (o rullatura)**: adottata per grosse produzioni. Il cilindro da lavorare viene inserito nello spazio tra 2 lastre o 2 rulli, che hanno l'aspetto del profilo e sono posizionati sfasati di mezzo passo. Uno dei 2 cuscinetti è fisso, mentre l'altro compie il movimento. Non produce truciolo e, grazie all'incrudimento, il filetto è più resistente.
- **Con asportazione di truciolo**
  - **Maschi**: corpi rettilinei con scanalature che separano i pettini filettatori. Agganciato al giramaschio, inserito nel foro, si ruota a mano. Le scanalature servono per l'asportazione di truciolo e il diametro del foro deve essere sempre leggermente maggiore per evitare l'intasamento del truciolo.

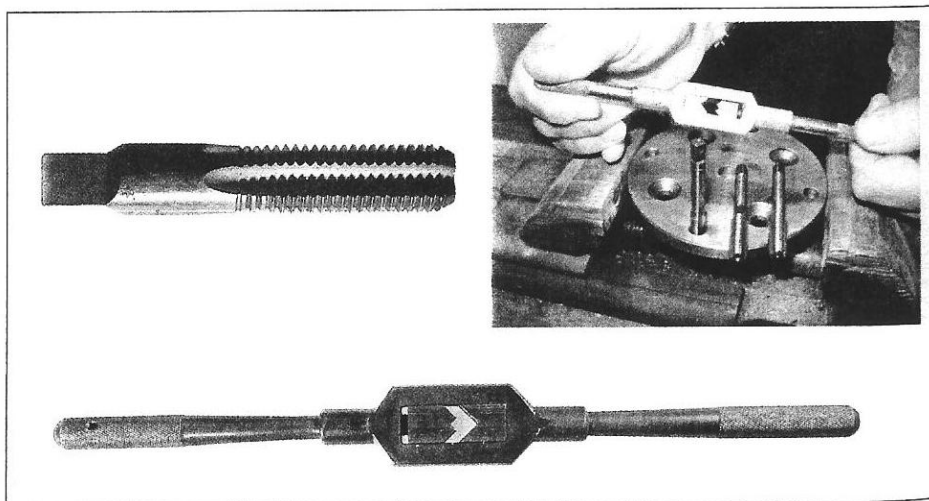


Figura 21. L'utensile maschio filettatore col giramaschi. Nel caso della maschiatura effettuata a mano, viene usata una serie di tre maschi (sgrossatore, intermedio, finitore)

- **Filiere**: eseguono una filettatura su una barra cilindrica avente il diametro corrispondente a quello nominale del filetto che si vuole ottenere. La figura 20 illustra una filiera, costituita da un cilindretto forato di acciaio, munito internamente di un certo numero di pettini radiali e separati da scanalature circolari destinate ad evacuare i trucioli. La qualità della superficie è mediocre ed inoltre, al termine della lavorazione, la filiera va svitata dal pezzo, con problemi di tempo e col rischio di danneggiare i filetti ottenuti.



Figura 20. L'attrezzo "girafiliera"



- **Filettature a tornio:** l'utensile del tornio ha la forma sagomata; il tornio avanza mentre il cilindro della vite e della madrevite gira su se stesso. Sono necessarie più passate.
- **Fresatura di filetti:** impiegata principalmente su pezzi di elevata precisione dimensionale.

## Rappresentazione degli elementi filettati

### Vite

Diametro esterno → linea grossa

Diametro nocciolo → linea fine

Asse di simmetria

Tratto di fine filettatura → linea grossa trasversale

Smussi (profili incompleti)

### Madrevite

Diametro nocciolo → linea grossa

Diametro esterno → linea fine

Asse di simmetria

Fine filettatura → linea grossa trasversale

Svasature

## Elementi utilizzati in collegamenti filettati

### 1. Vite

Elemento costruttivo meccanico costituito da un **gambo** cilindrico filettato e da una **testa** di forma varia, utilizzata per impegnarla nella madrevite. Le teste delle viti possono essere varie e ad ogni testa corrisponde una chiave o un giravite.

### *Tipi di collegamento*

- **Bullone**, dado + vite, attraverso fori passanti non filettati → collegamento per compressione.
  - I fori devono avere diametro leggermente maggiore della vite
  - Il rapporto tra diametro e lunghezza della vite deve essere tale da consentire una buona elasticità del pezzo
  - A collegamento effettuato, devono eccedere almeno 2 filetti
  - Per migliorare l'appoggio, può essere necessario l'utilizzo di una rosetta
- **Vite mordente**, vite nella madrevite, attraverso un foro passante non filettato ed un foro cieco filettato → collegamento per

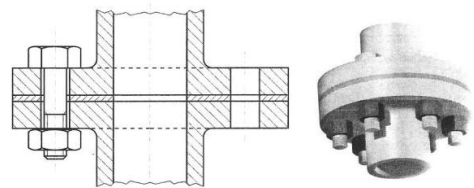


Fig. 1. Collegamento con vite passante e dado (bullone).

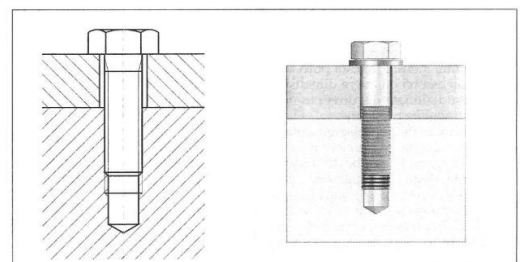


Fig. 2. Collegamento con vite mordente.

Figura 22. Collegamenti con bullone e vite mordente

pressione tra vite e madrevite.

- **Vite di pressione** → la vite fa pressione sul pezzo, impedendogli di muoversi.
  - Le estremità delle viti possono essere sia a punta (notevole pressione, poca superficie di appoggio) che piane (minore pressione, maggiore superficie d'appoggio, maggiore stabilità)

### Tipi di viti

- **Viti senza testa o grani** → utilizzate per viti di pressione.
- **Viti prigioniere o prigionieri** → cilindri filettati, senza testa da entrambe le parti; una parte, detta **radice**, viene avvitata a fondo con forzamento in un foro, mentre l'altra, detta **gambo**, viene collegata con un dado di serraggio.
- **Tiranti** → Simili ai prigionieri, sono filettati soltanto alle estremità e sono utilizzati per organi di collegamento.
- **Autofilettanti** → viti in grado di costruirsi la madrevite in un foro. La madrevite può essere ottenuta per deformazione plastica o per asportazione di truciolo.
- **Viti da legno** → sono dotate di filetti più grandi e passi lunghi.

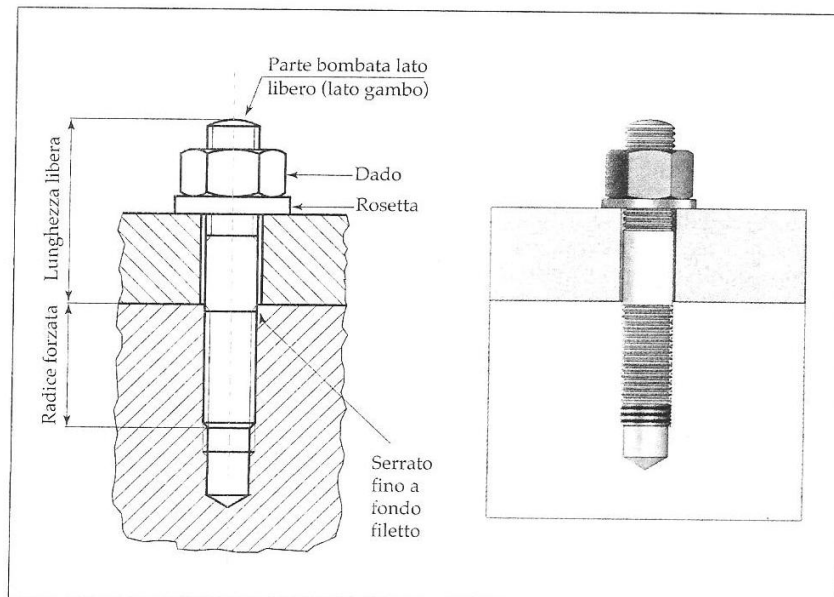


Figura 23. Collegamento con prigioniero; si nota l'utilizzo di una rosetta.

## 2. Inserti filettati

Gli inserti sono cilindri internamente filettati al fine di essere delle vere e proprie madreviti "mobili". Possono essere sia con filettatura esterna che per forzamento.

## 3. Dado

Elemento con foro assiale, con dispositivo di trascinamento e destinato ad essere montato su una vite.

I dadi più comuni sono quelli esagonali e possono essere bassi, normali o alti.



Figura 24. Inserti filettati con filettatura esterna

### *Tipi di dadi*

- **Quadri** → usati in costruzioni pesanti, presentano un minore rischio di arrotondamento.
- **Ciechi** → proteggono le estremità sporgenti delle viti.
- **Ghiere** → dadi cilindrici con eventuali intagli laterali.

#### **4. Rosette (o rondelle)**

Dischetti piatti, forati, non filettati, posti tra il dado e il pezzo da serrare allo scopo di aumentare la superficie di appoggio.

Nel caso di contorno quadrato o rettangolare si parla di **piastrine**.

Ci sono diversi tipi di rosette:

- Rosette di appoggio per tiranti (più spesse)
- Rosette doppie con appoggio sferico
- Rosette aperte (facilmente asportabili)
- Rosette per perni

#### **5. Rosette elastiche**

Funzionano come una molla, assicurando una spinta assiale tra dado e pezzo.

Le più comuni sono:

- Rosette tagliate o spaccate
- Rosette a tazza
- Rosette dentate
- Rosette ondulate

#### **6. Controdado**

Viene inserito un secondo dado, vicino al primo, che agisce come se, tra la vite ed il primo dado, ci fosse una forza di compressione assiale, mentre tra il secondo dado e la vite, una compressione opposta. Tutto ciò aumenta la pressione tra i 2 dadi.

#### **7. Ancoraggio o dado di sicurezza**

Rosetta elastica filettata e sagomata esternamente.

#### **8. Dispositivi anti-svitamento**

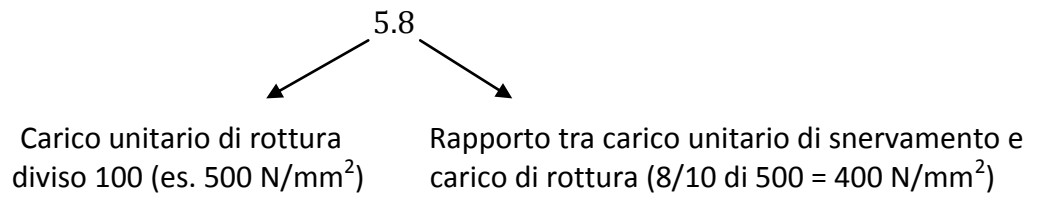
Esistono 3 metodi:

- Mantenere sempre a contatto filetti della vite e della madrevite, supportando il collegamento con rosette elastiche, controdadi ed ancoraggi.
- Impedendo la rotazione con bloccaggio elastico, con dadi frenati, inserto elastico, dadi autobloccanti, dadi tagliati.
- Impedendo la rotazione con un dispositivo di arresto, applicando rosette e piastrine di sicurezza, copiglie con dadi ed intagli, spine e legature.

### **Classi di bulloneria**

Classificazione di viti e dadi secondo la loro resistenza a trazione.

Per le **viti** sono 9 classi, indicate da 2 cifre separate da un punto e incise nella testa:  
Esempio.



Per i **dadi** si hanno 7 classi, indicate con una cifra ed una lettera, ed ogni classe corrisponde ad un determinato valore di durezza Vickers.

### Momento torcente per evitare lo svitamento

In un accoppiamento filettato, si generano varie forze tra le superfici delle filettature di vite e madrevite.

Vediamole in figura.

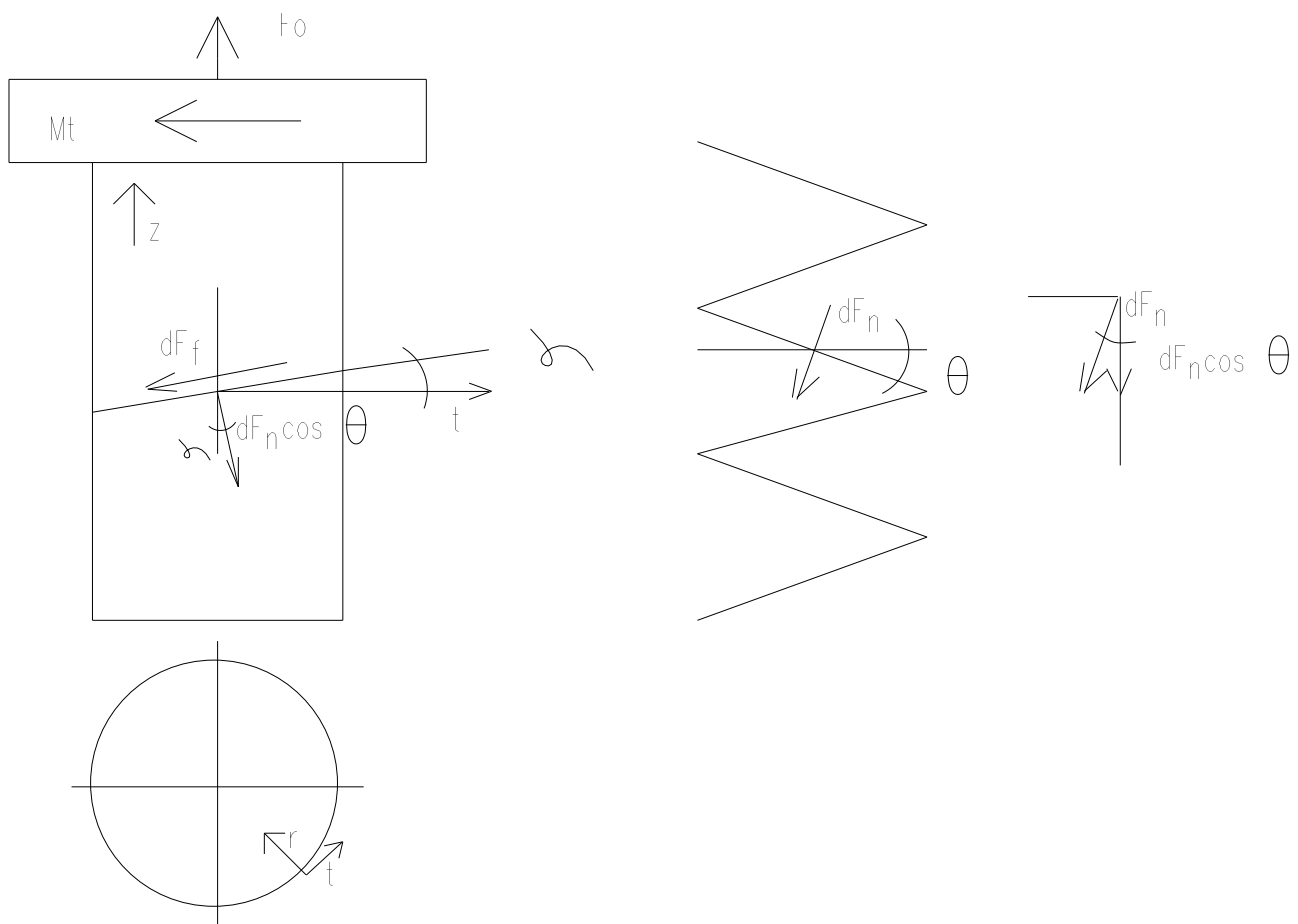


Figura 25. Forze di accoppiamento vite/madrevite

Vi sono quindi 2 componenti:

$dF_n \rightarrow \perp$  alle superfici delle filettature

$dF_f \rightarrow \parallel$  alle superfici delle filettature

Ognuna di esse è scomponibile lungo 3 assi:

**asse  $t$**  → tangente al diametro di nocciolo della vite

**asse  $r$**  → radiale al cilindro

**asse  $z$**  → || all'asse di simmetria della vite, diretto verso l'alto

Definiamo gli angoli in considerazione:

**$\theta$**  → è la metà dell'angolo del profilo della filettatura ( $\theta=30^\circ$  nel caso di filettatura metrica ISO)

**$\alpha$**  → è l'angolo d'inclinazione del filetto rispetto all'asse  $t$  e si calcola  $\frac{p}{\pi D}$  in quanto dobbiamo immaginare il filetto svolto dal suo avvitamento attorno al nocciolo.

Consideriamo il profilo della filettatura: la proiezione di  $dF_n$  sul piano  $\perp$  sarà  $dF_n \cos \theta$ .

Considerando ora la filettatura inclinata di  $\alpha$  rispetto all'asse  $t$ , la proiezione di  $dF_n \cos \theta$  sui 3 assi sarà:

$$\begin{aligned} dF_{n(r)} &= -dF_n \sin \theta \\ dF_{n(z)} &= -dF_n \cos \theta \cos \alpha \\ dF_{n(t)} &= dF_n \cos \theta \sin \alpha \end{aligned}$$

Proiettiamo anche  $dF_f$  sui 3 assi:

$$\begin{aligned} dF_{f(r)} &= 0 (\perp \text{ a } r) \\ dF_{f(z)} &= -dF_f \sin \alpha \\ dF_{f(t)} &= -dF_f \cos \alpha \end{aligned}$$

Al limite di scorrimento,  $dF_f = f \cdot dF_n$ , ovvero la forza coincide con la forza di attrito ( $F_{at} = \mu \cdot F_{\perp}$ ). Sostituendo questo valore di  $dF_f$  e sommando le componenti su  $z$  e  $t$  delle di  $dF_n$  e di  $dF_f$ , abbiamo:

$$\begin{aligned} (1) \quad dF_z &= -dF_n(\cos \theta \cos \alpha + f \sin \alpha) \\ (2) \quad dF_t &= dF_n(\cos \theta \sin \alpha - f \cos \alpha) \end{aligned}$$

Il momento sarà dato da

$$d\overline{M}_{torc} = d\overline{F}_t \times \overline{R}$$

dove  $\overline{R}$  è il raggio, con l'asse  $t$  su cui giace  $d\overline{F}_t \perp$  all'asse  $r$  di  $\overline{R}$ .  
Quindi sarà:

$$(3) \quad dM_{torc} = dF_n(\cos \theta \sin \alpha - f \cos \alpha) R \sin 90^\circ$$

Integrando le equazioni 1, 2 e 3 lungo l'arco di contatto, si ha:

$$\begin{aligned} F_z &= F_n(\cos \theta \cos \alpha + f \sin \alpha) \\ F_t &= 0 \\ M_{torc} &= F_n(\cos \theta \sin \alpha - f \cos \alpha) R \end{aligned}$$

Sostituendo il valore di  $F_n$  ricavato dopo l'integrazione di  $F_z$ , si ha:

$$M_t = \frac{R F_z}{\cos \theta \cos \alpha + f \sin \alpha} \cdot (\cos \theta \sin \alpha - f \cos \alpha)$$

Affinché, per quanto grande sia  $F_z$ , non si possa avere uno svitamento,  $M_t$  dovrà sempre avere segno contrario, e sarà:

$$M_t \leq 0$$

E poiché l'unico termine  $\leq 0$  è  $(\cos \theta \sin \alpha - f \cos \alpha)$ , avremo la condizione di non svitamento allorché:

$$f \geq \tan \alpha \cos \theta$$

## Collegamenti smontabili non filettati

Questi collegamenti prevedono l'unione di parti meccaniche mediante elementi che possono essere rimossi in caso di necessità senza alterazione né delle parti collegate, né degli elementi stessi, che potrebbero essere riutilizzati. Viene effettuata nella maggior parte dei casi con elementi filettati, tuttavia in numerosi casi si fa uso di svariati altri organi di collegamento.

I principali collegamenti meccanici smontabili sono:

- Chiavette
- Linguette
- Spine
- Fermagli, copiglie

Sono collegamenti che possono essere agevolmente montati per:

- Evitare rotazione reciproca
- Evitare traslazione reciproca
- Garantire un centraggio o una posizione
- Evitare uno smontaggio spontaneo o garantire il limite di uno spostamento

ELEMENTI ESIGENZE	chiavette	linguette	spine	anelli elastici	scanalati
impedimento alla rotazione					
impedimento alla traslazione					
centraggio o riferimento					
sicurezza od arresto					

Fig. 1. Uso di diversi elementi smontabili secondo le esigenze di collegamento.

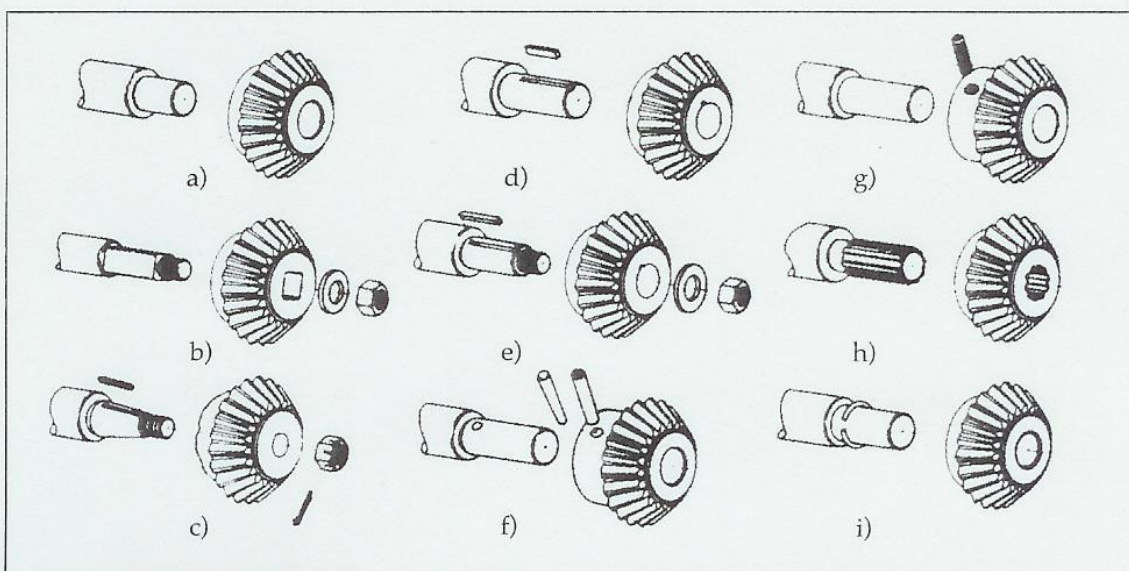


Fig. 2. Il collegamento fra albero e mozzo può essere effettuato in diversi modi: a) forzamento; b) con estremità prismatica e codolo filettato per dado d'arresto; c) su estremità conica con dado o ghiera di forzamento (la linguetta è una sicurezza supplementare); d) con chiavetta; e) con linguetta e dado d'arresto; f) con spina trasversale (cilindrica o conica); g) con grano di pressione; h) con accoppiamento scanalato; i) per brasatura o saldatura (non smontabile).

Figura 26. (1) Utilizzo di collegamenti smontabili non filettati in base all'esigenza e (2) collegamenti albero-mozzo

## 1. Chiavette

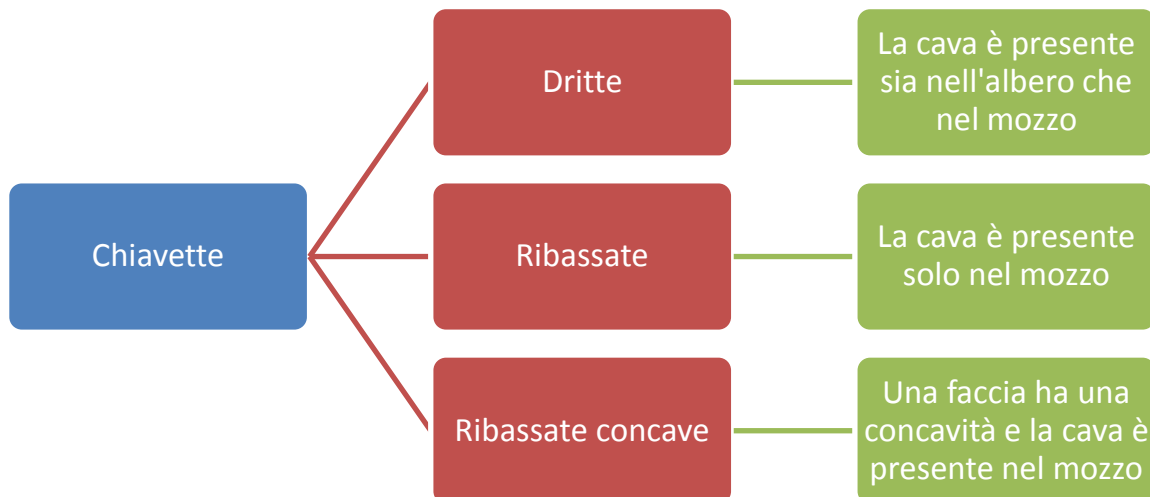
Prismi a sezione rettangolare, di larghezza costante e spessore decrescente da un'estremità all'altra, che vengono incastrati per circa metà del loro spessore nel mozzo e per l'altra metà nell'albero, in apposite scanalature dette **cave**.

L'inserimento forzato della chiavetta tende ad allontanare tra loro l'albero ed il mozzo, che sono invece fortemente premuti l'uno all'altro nella zona diametralmente opposta; si realizza,



così, un forzamento e la trasmissione del moto avviene per attrito nelle zone di contatto. Nel caso in cui si renda necessario l'uso di 2 chiavette, è preferibile non collocarle a 180°.

Le chiavette possono essere:



#### Caratteristiche:

- Le cave per forme dritte hanno lunghezza doppia rispetto alla chiavetta
- Le chiavette hanno spigoli smussati per evitare forzamenti
- Alcune chiavette possono essere dotate di un **nasello** (un rialzo all'estremità di spessore maggiore, in grado di fornire un appoggio per rimuovere la chiavetta)

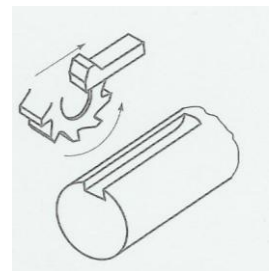


Figura 27. Chiavetta con nasello

## 2. Linguette

Simili alle chiavette, ma hanno tutte facce parallele, a sezione costante. Anziché per attrito a seguito del forzamento, la spinta viene trasmessa dal fianco della cava sull'albero, a quello della cava nel mozzo tramite la linguetta, che viene quindi assoggettata ad una forza di taglio.

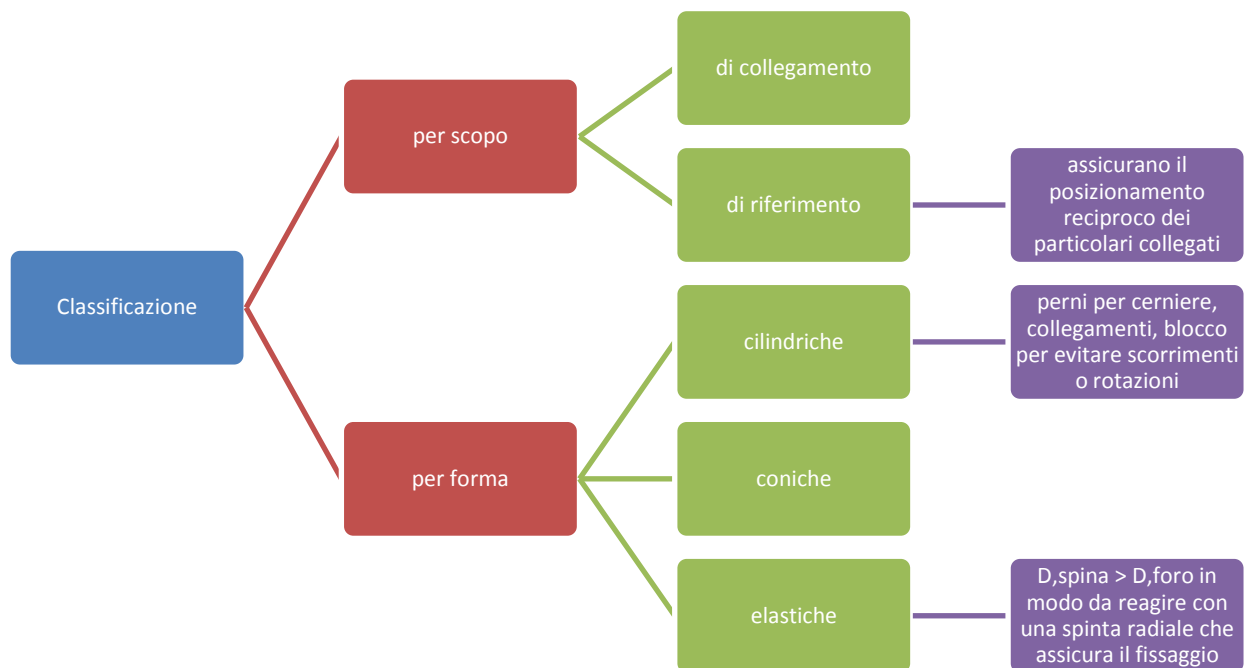
#### Caratteristiche:

- La linguetta deve essere montata con precisione sui fianchi, mentre è consentito un certo gioco in direzione radiale.
- Le linguette sono più usate delle chiavette perché, non essendoci forzamento, non ci sono eccentricità.
- Le linguette **a disco, americane o Woodruff**, sono linguette semicircolari che si collocano in cave della stessa forma; esse rendono facili i montaggi, in quanto possono assumere inclinazioni variabili. Non sono adatte a trasmettere forti momenti torcenti.

## 3. Spine

Elementi cilindrici costituenti particolari di macchine, con funzione di fulcro per parti rotanti, di arresto, di centraggio e di collegamento.





Esempi di spine elastiche sono quelle:

- **Tagliate:** hanno una fenditura longitudinale e permettono la deformazione a C
- **A spirale:** formate da un foglio di lamierino avvolto a formare un cilindro deformabile

#### 4. Copiglie

Dispositivi di arresto, antisvitamento; a sezione semicircolare, ripiegata in modo che le due sezioni affacciate configurino un cerchio. Vengono utilizzate per piccoli sforzi.



Figura 29. Una copiglia elastica e 3 normali



Figura 28. Copiglia in funzione

#### 5. Accoppiamenti scanalati

Alberi troppo piccoli o che dovessero trasmettere elevati momenti torcenti non sarebbero collegabili al mozzo con semplici linguette; le cave, infatti, per eccessive profondità rispetto al diametro, indebolirebbero troppo l'albero. Per questo motivo, si usano gli **alberi scanalati**: la parte sporgente viene utilizzata per trasmettere forza e movimento a corrispondenti

scanalature presenti nel mozzo, mentre tutto il nucleo centrale dell'albero viene utilizzato per sopportare il momento torcente.

Le scanalature possono essere:

- A fianchi paralleli
- Ad evolvente

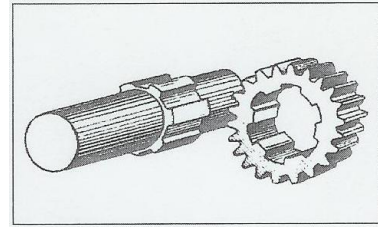


Figura 30. Accoppiamento scanalato

**Rappresentazione sui disegni:**

- Per albero
  - Simbolo grafico indicante la scanalatura
- Per mozzo
  - Riferimento alla norma
  - Dimensioni caratteristiche
  - Eventuali tolleranze e finiture superficiali

## 6. Anelli di sicurezza ed arresto

Utilizzati per impedire lo spostamento assiale relativo di 2 elementi. Sono costituiti da anelli in acciaio per molle, aperti per un breve tratto, con diametro interno inferiore a quello dell'albero su cui vengono collegati.

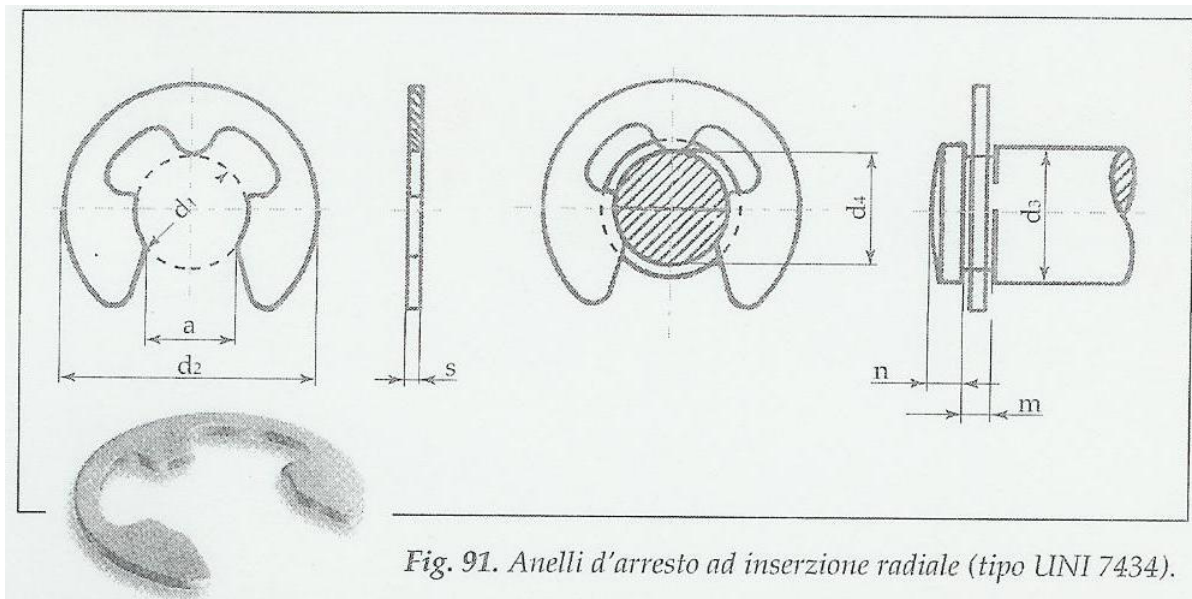


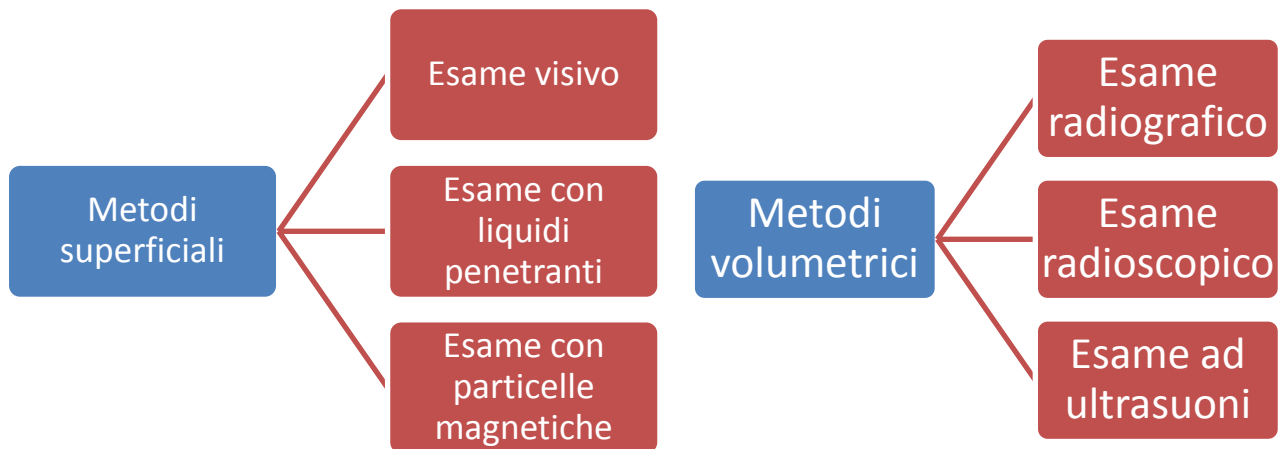
Figura 31. Esempio di anello d'arresto

## Metodi d'esame

I controlli non distruttivi si dividono in due famiglie:

- **Controlli non distruttivi superficiali:** si analizza il pezzo solo superficialmente; si ha la possibilità di localizzare il difetto ma non di analizzarlo.
- **Controlli non distruttivi volumetrici:** si riesce a verificare l'integrità del pezzo, però alcune volte non si individuano i difetti superficiali.

Dal momento che sia i metodi di esame volumetrici che quelli superficiali hanno dei limiti, per aumentare l'affidabilità del controllo, è buona norma abbinare una tecnica di controllo volumetrico con una di controllo superficiale.



### 1. Liquidi penetranti (PT)

Sfrutta le capacità di alcuni liquidi di penetrare, per capillarità, nei difetti superficiali (cricche, cavità). La bassa tensione superficiale permette ai liquidi di entrare anche in discontinuità sottilissime. Tali liquidi possono essere applicati su qualsiasi corpo, ad eccezione dei materiali porosi.

Procedimento:

- a. **Preparazione della superficie:** le superfici devono essere pulite ed asciugate
- b. **Penetrazione:** il liquido deve essere applicato in modo da formare un film che ricopra un'area di almeno 15mm oltre la zona da ispezionare.
- c. **Rimozione del penetrante in eccesso:** può bastare un panno o l'acqua, in alcuni casi si adopera un solvente; dopo si passa all'asciugatura con aria calda o con panni di cotone.
- d. **Applicazione del rilevatore e sviluppo:** il rilevatore viene applicato in modo che formi un film sulla superficie sottoposta a prova e favorisce la fuoriuscita del penetrante dalle discontinuità affioranti in superficie, con l'effetto di ingrandire notevolmente la grandezza apparente del difetto.
- e. **Ispezione:** La superficie viene esaminata visivamente per controllare le tracce ed il liquido:
  - **Tecnica visibile:** l'ispezione viene eseguita in luce bianca con luminosità  $\geq 2000$  lux.
  - **Tecnica fluorescente:** l'ispezione viene eseguita in un'area oscurata e la superficie viene illuminata per mezzo di una lampada Wood con un'emissione luminosa  $\geq 6000\mu\text{W}/\text{cm}^2$  che permette al liquido di lasciare un'impronta visibile.

### 2. Metodi ferromagnetici

Vengono utilizzati per analizzare e localizzare le discontinuità sub-superficiali in materiali ferromagnetici; in prossimità di difetti, si ha una deviazione delle linee di flusso del campo magnetico stesso.

### 3. Controllo ad ultrasuoni

Il pezzo viene investito da onde ultrasoniche. Il segnale di partenza e quello di arrivo vengono visualizzati sullo schermo dello strumento con dei picchi; se, durante tale percorso, il fascio ultrasonico incontra delle discontinuità, esso sarà riflesso, assorbito, deviato o rifratto e sullo schermo appariranno altri picchi.

L'onda che colpisce il difetto tornerà indietro deviata e, analizzandola, sarà possibile ottenere informazioni riguardo la posizione, la dimensione e la geometria del difetto.

#### **4. Metodo radiografico (RT)**

Il principio di funzionamento di tali tecniche si basa sulle alterazioni subite da radiazioni elettromagnetiche quando incontrano un difetto nel loro percorso all'interno del materiale.

Le onde elettromagnetiche investono il pezzo ed impressionano una lastra fotografica posta oltre il pezzo; su tale lastra le variazioni di spessore, densità e composizione dell'oggetto, vengono visualizzate come variazioni di densità dell'immagine.

# Trasmissione del moto

## Ruote di frizione e ruote dentate

Lo scopo è trasmettere il moto rotatorio da una ruota, detta **conduttrice**, ad un'altra, detta **condotta**.

Nel caso in cui le ruote siano lisce (**ruote di frizione**), la trasmissione del moto avviene per attrito tra le superfici; tale trasmissione non può essere assicurata in caso di elevate potenze, poiché avverrebbe lo slittamento.

Il verso di rotazione delle due ruote è opposto; per avere lo stesso verso di rotazione bisogna utilizzare una terza ruota, detta **ruota oziosa**.

A seconda della **posizione degli alberi**, possono essere a:

- Assi paralleli
- Assi concorrenti
- Assi sghembi

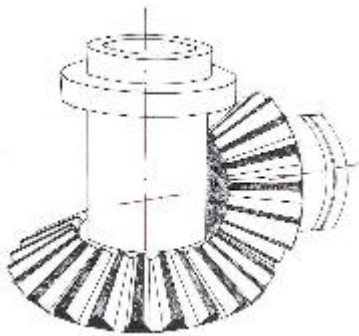


Figura 33. Assi concorrenti

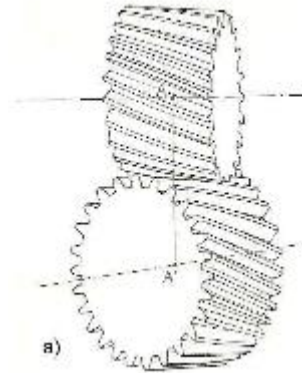


Figura 32. Assi sghembi

A seconda della **dentatura**, possono essere a dentatura:

- Dritta
- Elicoidale (denti inclinati di  $6^\circ$ ,  $12^\circ$  o  $15^\circ$ )
- Bieloidale

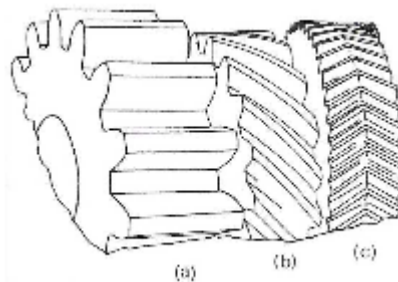


Figura 34. (a) dritta, (b) elicoidale, (c) bieloidale

A seconda delle **ruote**, possono essere:

- Cilindriche
- Coniche
- Ipoidi (solo con assi sghembi)

Il **profilo dei denti** può essere di due tipi: cicloidale od evolvente.

**Cicloide:** traiettoria seguita da un punto su una circonferenza che rotola senza strisciare su un piano.

**Evolvente:** traiettoria di un punto su una retta che ruota lungo una circonferenza.

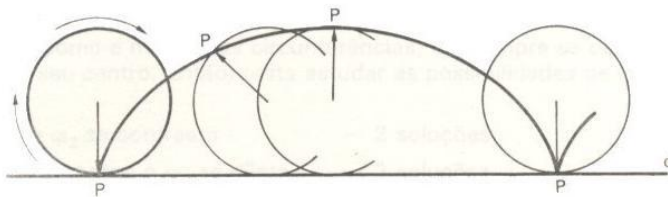


Figura 35. Cicloide

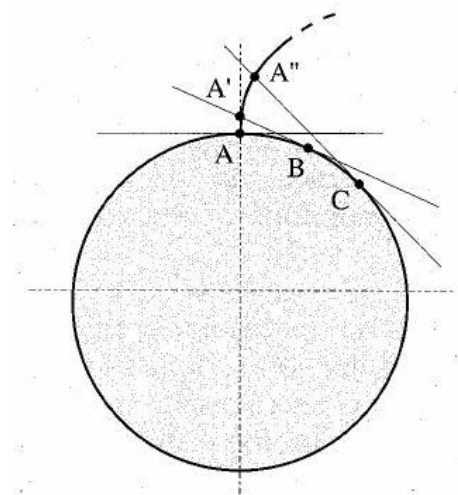


Figura 36. Evolvente

## Parametri fondamentali

**Modulo (m):** rapporto tra diametro primitivo  $D$  e numero di denti  $z$ :

$$m = \frac{D}{z}$$

**Addendum:** distanza tra circonferenza primitiva e circonferenza di troncatura esterna.

- Modulo  $m$  per dentature normali
- $0,8m$  per dentature a profilo ribassato

**Dedendum:** distanza tra circonferenza primitiva e circonferenza di troncatura interna.

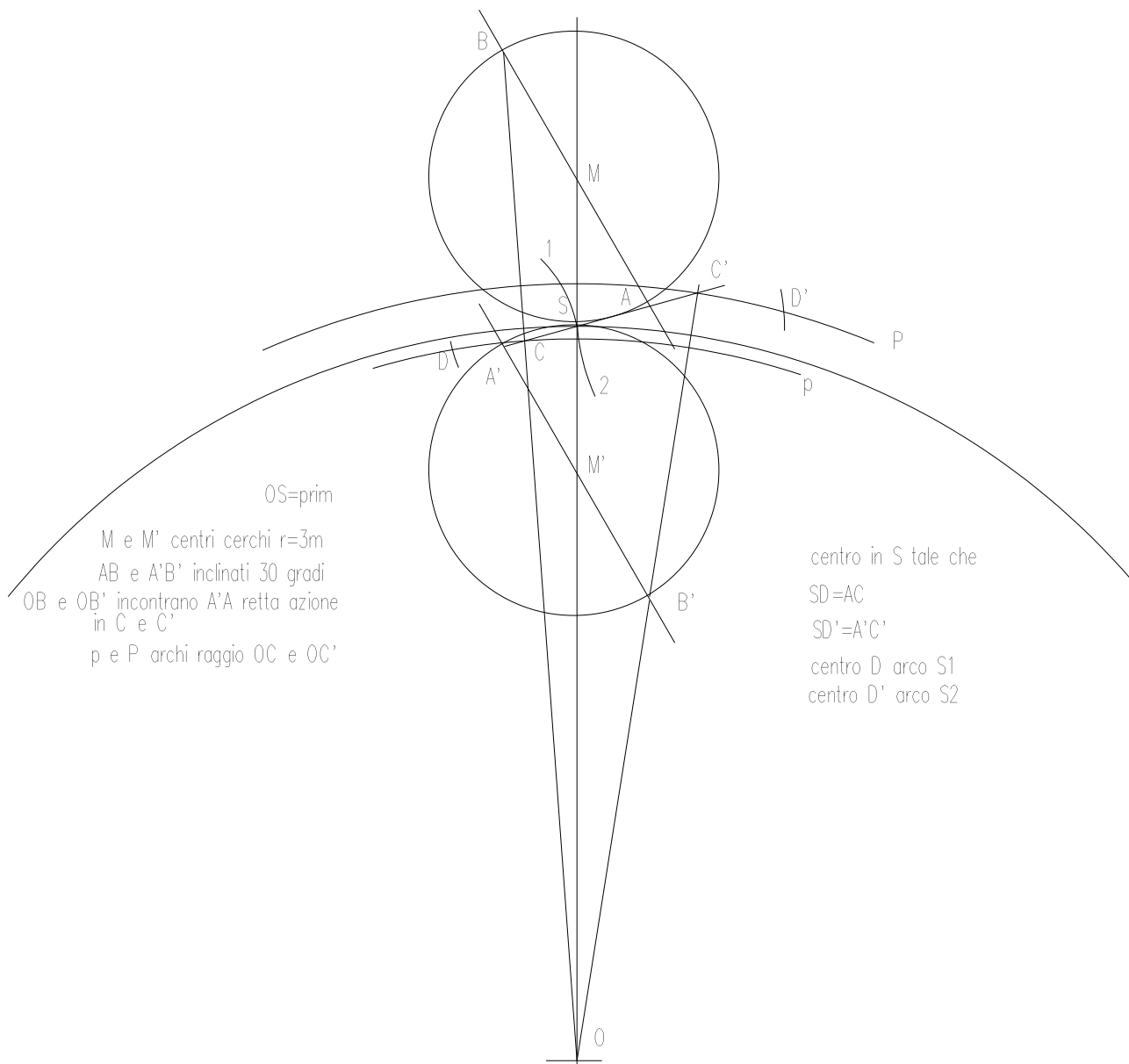
- $1,25m$  per dentature normali
- Modulo  $m$  per dentature a profilo ribassato

**Altezza del dente:** addendum + dedendum

**Diametro interno:** diametro primitivo –  $2\text{dedendum}$

**Diametro esterno:** diametro primitivo +  $2\text{addendum}$

## Costruzione del dente a profilo cicloidale



S1: profilo dell'addendum

S2: profilo del dedendum

## Dentature elicoidali

**Vantaggi:** ingranaggio silenzioso poiché ingranano più denti contemporaneamente.

**Svantaggi:** oltre alle forze tangenziali agenti sulla retta d'azione, sono presenti altre forze perpendicolari che si scaricano direttamente sull'asse. Si può ovviare a ciò costruendo dentature bieloidali (a freccia o chevron).

**Numero minimo di denti:**

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$$

con  $\alpha$  angolo di pressione.

## Cinghie e catene

Vengono usate quando gli alberi sono molto distanti l'uno dall'altro.

Le **cinghie** vengono avvolte su particolari dischi detti **pulegge**, delle quali una viene detta **conduttrice** e l'altra **condotta**. La puleggia motrice tira la cinghia da un lato, tendendola, e la rilascia dall'altro lato, non rendendola tesa. Per ovviare a ciò si utilizza un tendi-cinghia.

Ci sono 3 tipi di cinghie:

- **Piatte**, in nylon, sono completamente lisce; adatte a potenze leggere.
- **Trapezoidali**, in genere in tessuto metallico, offrono un ottimo compromesso tra dimensione, potenza trasmissibile e velocità.
- **Dentate**: sono usate quando è importante trasmettere una grande potenza senza slittamenti e perdite di potenza, e quando è richiesta una particolare silenziosità. Viene anche impiegata in applicazioni di precisione, perché garantisce assenza di slittamenti e mantiene regolare il movimento degli organi meccanici in fase tra di loro. La puleggia ha un profilo esterno dentato che ingrana con i denti della cinghia, assicurando una trasmissione stabile, veloce e precisa, per questo viene anche definita "cinghia sincrona".

Le **catene** sono usate per trasmettere il moto tra 2 alberi paralleli e con potenze elevate; sono molto rumorose.

Quelle più usate sono **a rulli**, formate da maglie adiacenti, collegate da perni trasversali portanti i rulli, che si appoggiano sui denti di opportune ruote dentate.

## Supporti e cuscinetti

Sono definiti **supporti** gli elementi funzionali destinati a sorreggere gli elementi rotanti ed a vincolarne la posizione degli assi.

Il **cuscinetto** è la parte di un supporto a contatto con l'elemento rotante, in genere vincolata al supporto ma costruita con materiale diverso e con altre caratteristiche che riducano l'attrito al contatto. Ha le funzioni di:

- Supportare l'elemento rotante
- Ridurre l'attrito di rotazione
- Preservare l'albero

I cuscinetti possono essere:

- **Ad attrito radente**: nei quali si ha un contatto di strisciamento fra la superficie del cuscinetto e quella dell'albero (contatto che può essere diretto oppure mediato dalla interposizione di un velo lubrificante).
- **Ad attrito volvente**: nei quali fra albero e sede vengono interposti dei corpi volventi (sfere, rulli e rullini) in modo da diminuire l'attrito trasformandolo da radente in volvente.

Inoltre possono essere suddivisi, a seconda della direzione del carico supportato, in:

- **Radiali**
- **Assiali**

E' costituito da 2 anelli di diverso diametro, concentrici, tra i quali sono posizionati gli elementi principali, come sfere, rulli o liquidi.



## Molle

Le molle sono organi meccanici deformabili in grado di consentire variazioni di posizione di altre parti mantenendole in contatto, di assorbire energia cinetica trasformandola in potenziale, di immagazzinare la forza che ha prodotto la deformazione restituendola all'annullarsi della deformazione stessa: vengono quindi usate per assorbire urti e deformazioni.

Il comportamento delle molle può essere sintetizzato nella formula:

$$F = kx$$

Le molle più comuni sono:

- **Ad elica**
- **A balestra**

## Tenute e guarnizioni

Nel caso di alberi rotanti o di altri meccanismi contenuti in spazi chiusi ma comunicanti con l'esterno, si tratta spesso di evitare fuoriuscite di lubrificante ed impedire le infiltrazioni di impurità verso l'interno.

Per ottenere questo obiettivo, si ricorre a guarnizioni o tenute.

# INDICE

<b>Metodi di rappresentazione:</b>	<b>2-3</b>
<b>Serie di renard:</b>	<b>4</b>
<b>Tolleranze dimensionali:</b>	<b>5-7</b>
<b>Tolleranze geometriche:</b>	<b>8</b>
<b>Materiali:</b>	<b>9-10</b>
<b>Rugosità:</b>	<b>11</b>
<b>Processi di lavorazione:</b>	<b>12</b>
<b>Collegamenti meccanici:</b>	<b>13-19</b>
<b>Metodi d'esame:</b>	<b>20-25</b>
<b>Trasmissione del moto:</b>	<b>26-33</b>

# Altro

---

Vedere:

- Proiezioni ed assonometrie
- Integrazione e derivazione grafiche
- Norme UNI