

CORSO INTRODUTTIVO ALLA CONOSCENZA E  
ALL'UTILIZZO DEI RIDUTTORI MECCANICI DI  
VELOCITA'

## PERCHE' SI UTILIZZA IL RIDUTTORE MECCANICO

- ✓ PER RIDURRE LA VELOCITA' DEL MOTORE ( DI QUALSIASI TIPO ESSO SIA )
- ✓ PER AUMENTARE LA COPPIA UTILE , CON BUONA APPROSSIMAZIONE A PARITA' DI POTENZA :

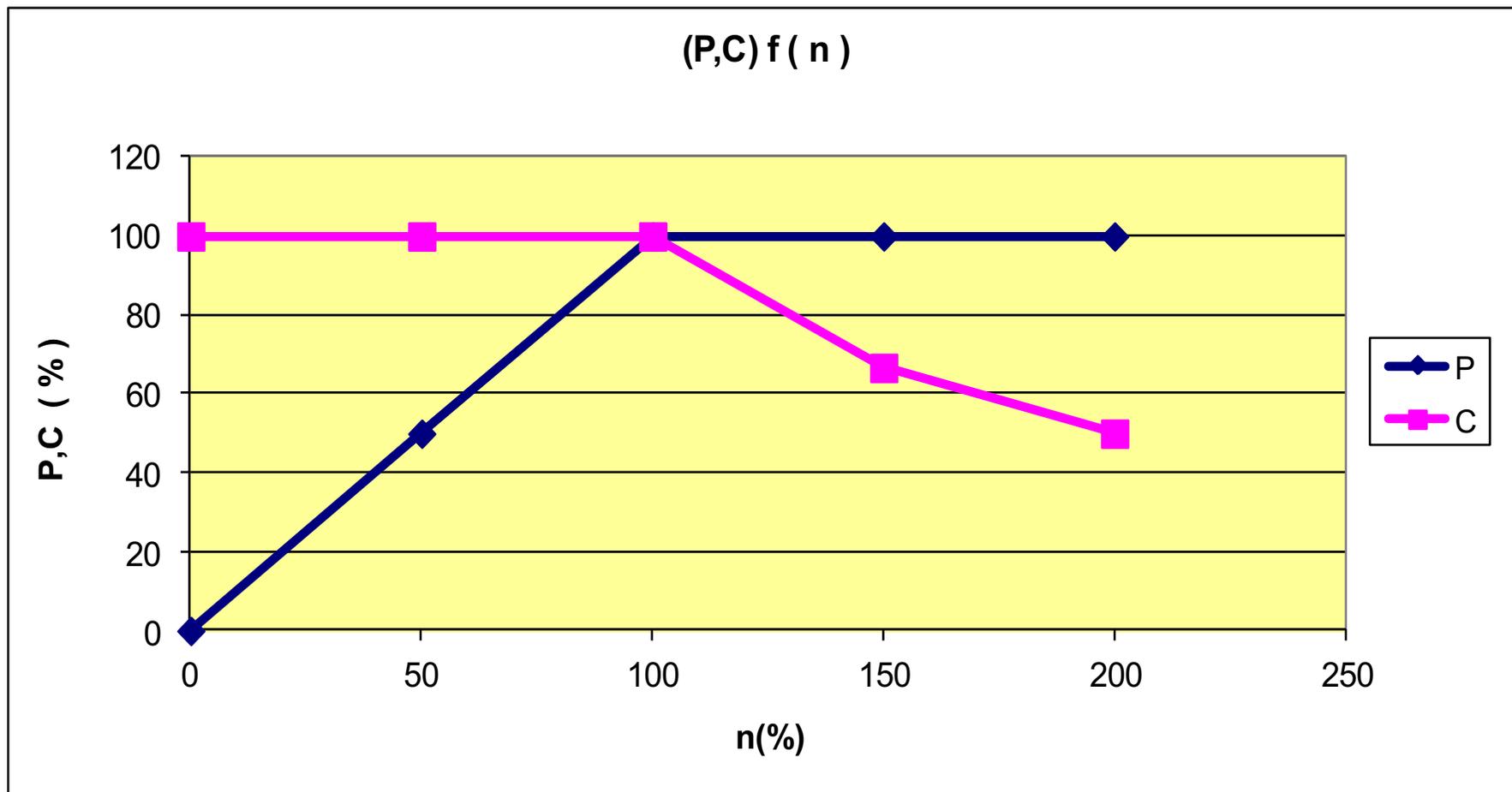
$$P = C * \omega$$

"IL RIDUTTORE E' UNA LEVA"

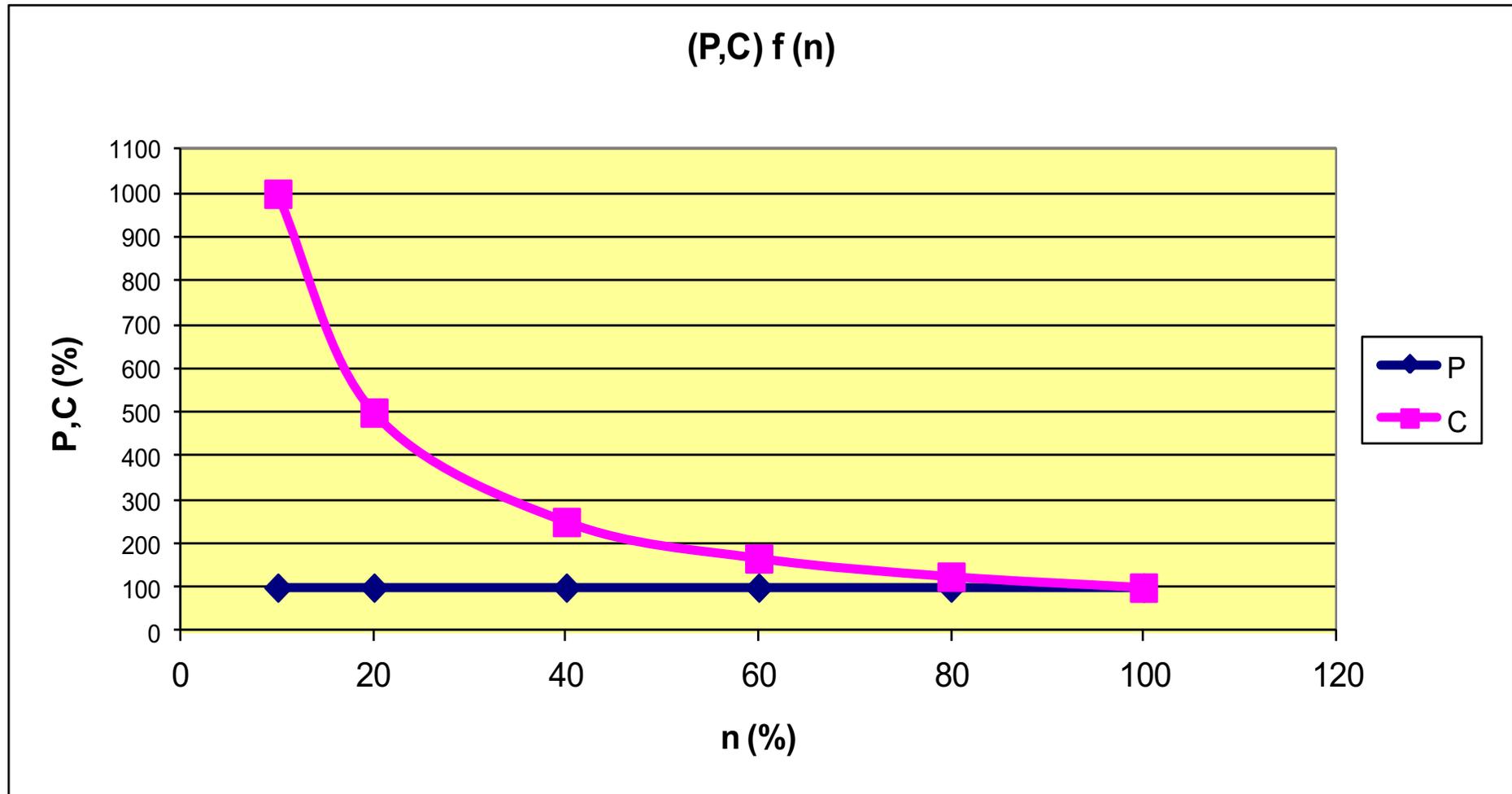
## LA RIDUZIONE DI VELOCITA' E' NECESSARIA PER RAGIONI LEGATE A :

- ▶ SICUREZZA ( PRESENZA DI OPERATORI )
- ▶ PROCESSO TECNOLOGICO ( AGITATORI, MESCOLATORI, TRASPORTATORI ORIZZONTALI E VERTICALI, VIE A RULLI )
- ▶ LIMITI STRUTTURALI

# MOTORE ELETTRICO + INVERTER



# MOTORE + RIDUTTORE



## RIDUTTORE vs INVERTER ?

- ❑ Non è vero che l'Inverter renda inutile il riduttore;
- ❑ Anzi, è sempre più frequente l'uso combinato di gruppi:  
Inverter + Motore + Riduttore ( ved. per esempio impianti completi nelle miniere e nei settori siderurgici ).

## SETTORI APPLICATIVI

**A**

**B**

### OEMs :

- ALIMENTAZIONE
- MOVIMENTAZIONE ( GRU , CARRI -  
PONTE, ecc.)
- IMBALLAGGIO
- TESSILE
- LEGNO
- PLASTICA
- MACCHINE UTENSILI
- CONVOGLIATORI
- CAVE E LAVORAZIONE MARMO, -  
GRANITO
- MECCANICA GENERALE

- CARTIERE
- CEMENTIFICI
- AUTOMOTIVE
- FONDERIE
- ACCIAIERIE
- IMPIANTI DI GALVANIZZAZIONE

## SETTORI APPLICATIVI ( segue )

La suddivisione tra tipologia A e B vuole ricordare, in modo generale, che :

- ▶ A : questo settore richiede di solito tipologie e taglie poco variabili, in grandi quantità e abbastanza prevedibili;
- ▶ B : in questo caso normalmente i tipi e le taglie sono molto variabili, con domanda fluttuante e di difficile previsione ( commesse).

N.B. Molto spesso e sempre più frequentemente i riduttori sostituiscono le trasmissioni tradizionali a cinghie/pulegge e pignoni/catene .

## SETTORI APPLICATIVI ( segue )

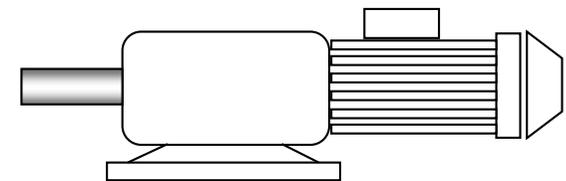
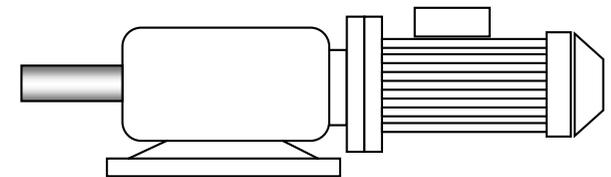
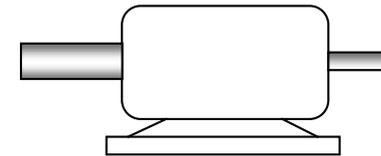
- ❖ In generale , in quasi tutti i settori applicativi ricordati nella tavola precedente , è sempre più frequente l'uso combinato di motorizzazioni a velocità variabile ( motore elettrico + Inverter ) corredate di riduttori meccanici . In questo modo, gli impianti acquistano un elevato grado di flessibilità, potendosi adattare a diverse tipologie di prodotti ( pesi, dimensioni, consistenze e quantità diverse ) usufruendo nel contempo dei vantaggi dei riduttori : riduzione di velocità e aumento di coppia .

I riduttori , intesi come scatole di ingranaggi di varie tipologie, come vedremo in seguito, vengono in prima battuta classificati come segue :

Con albero d'ingresso, atti cioè ad essere collegati all'unità motrice mediante un organo di collegamento ( giunto, cinghie/pulegge, ecc.)

Con flangia e manicotto d'ingresso , per il collegamento diretto all'unità motrice

In versione compatta, cioè con il motore ( elettrico ) in esecuzione speciale, parte integrante dell'insieme

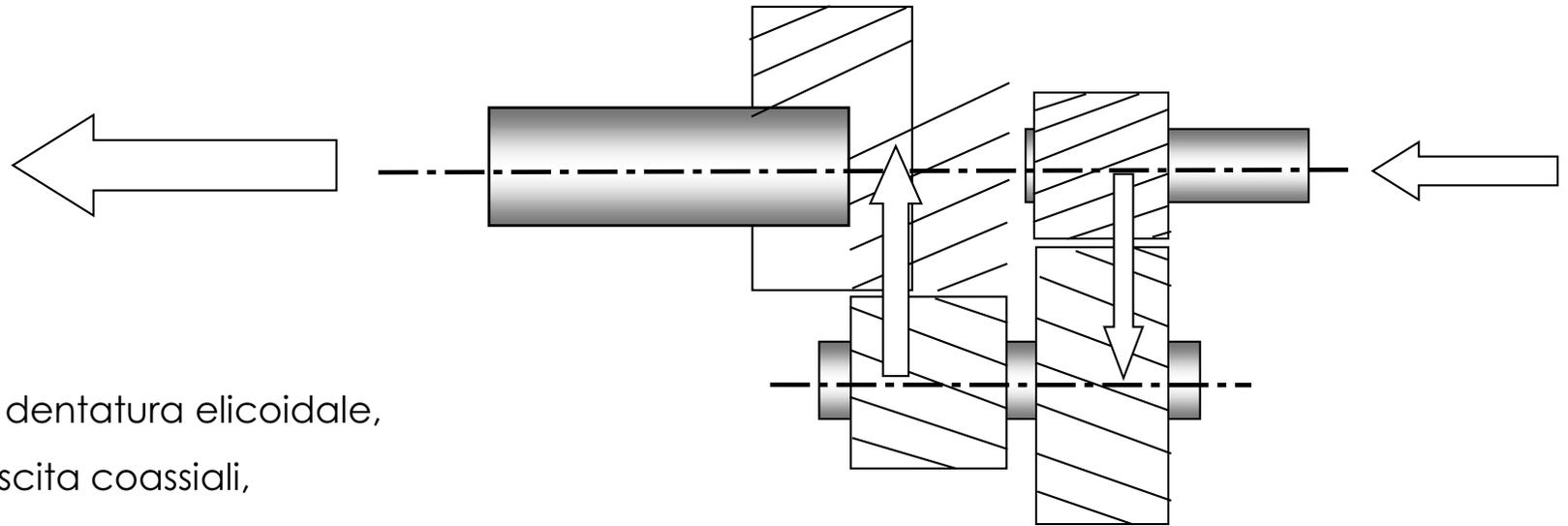


Naturalmente, per tutte le tipologie, esiste poi la variante con piedi ( B3) o con flangia ( B5)

# RIDUTTORI COASSIALI



## RIDUTTORI COASSIALI - SCHEMA



- Ingranaggi cilindrici a dentatura elicoidale,
- Alberi in ingresso ed uscita coassiali,
- Stadi componibili da 1 fino a 4-5,
- Rapporti da 1,5 fino a >1000,
- Ingombro in senso longitudinale,
- Rendimento elevato,
- Possibilità di esecuzione compatta con motore integrato,
- Generalmente per potenze/coppie piccole – medio – grandi,
- Buone capacità di carico sull'albero d'uscita.

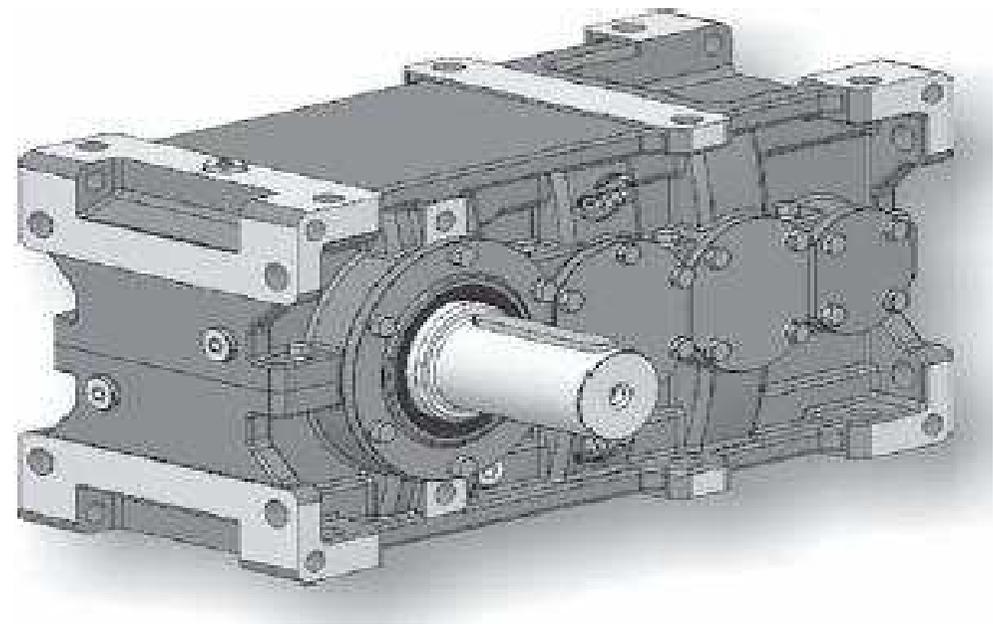
## RIDUTTORI COASSIALI-APPLICAZIONI



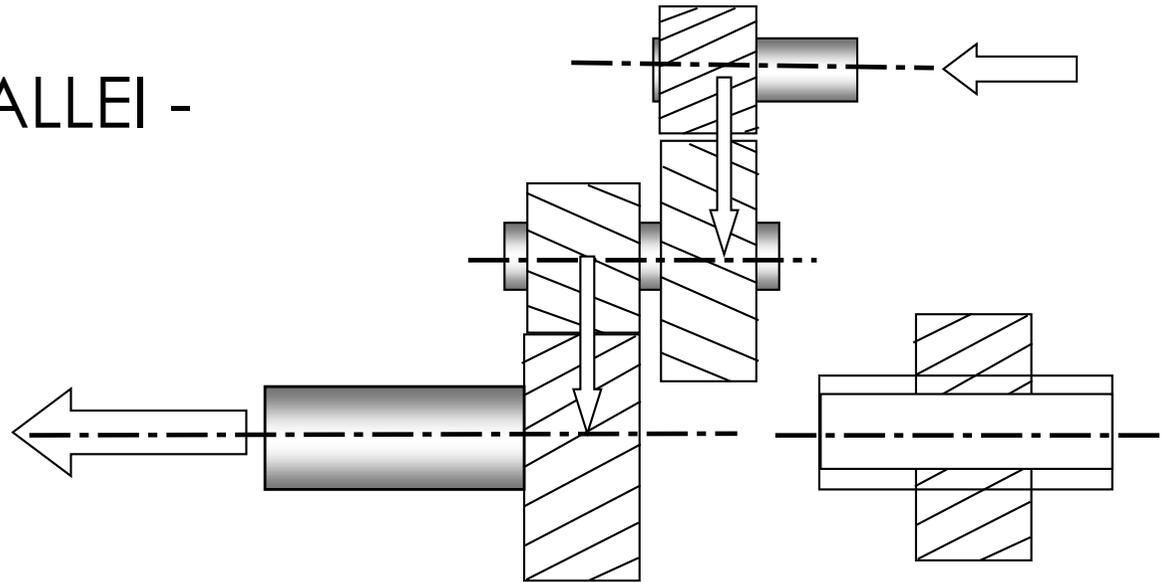
- ▶ Riduttori “ General Purpose “ molto diffusi
- ▶ Fino a potenze/coppie medio alte ( ca. 20.000 Nm )
- ▶ Dove non ci sono limiti d'ingombro assiale

# RIDUTTORI AD ASSI PARALLELI

- Non è possibile la versione autocentrante.



## RIDUTTORE AD ASSI PARALLELI - SCHEMA



- Ingranaggi cilindrici a dentatura elicoidale,
- Composizione stadi da 1 fino a 4 – 5,
- Alberi in ingresso ed uscita paralleli,
- Possibilità di più alberi in uscita , anche di tipo cavo,
- Rapporti da 1.5 fino a  $> 1000$ ,
- Ingombro in senso trasversale,
- Elevato rendimento,
- Generalmente per potenze/coppie medio – elevate,
- Generalmente per impieghi pesanti ( calandre, laminatoi, estrusori ).

## RIDUTTORI AD ASSI PARALLELI- APPLICAZIONI

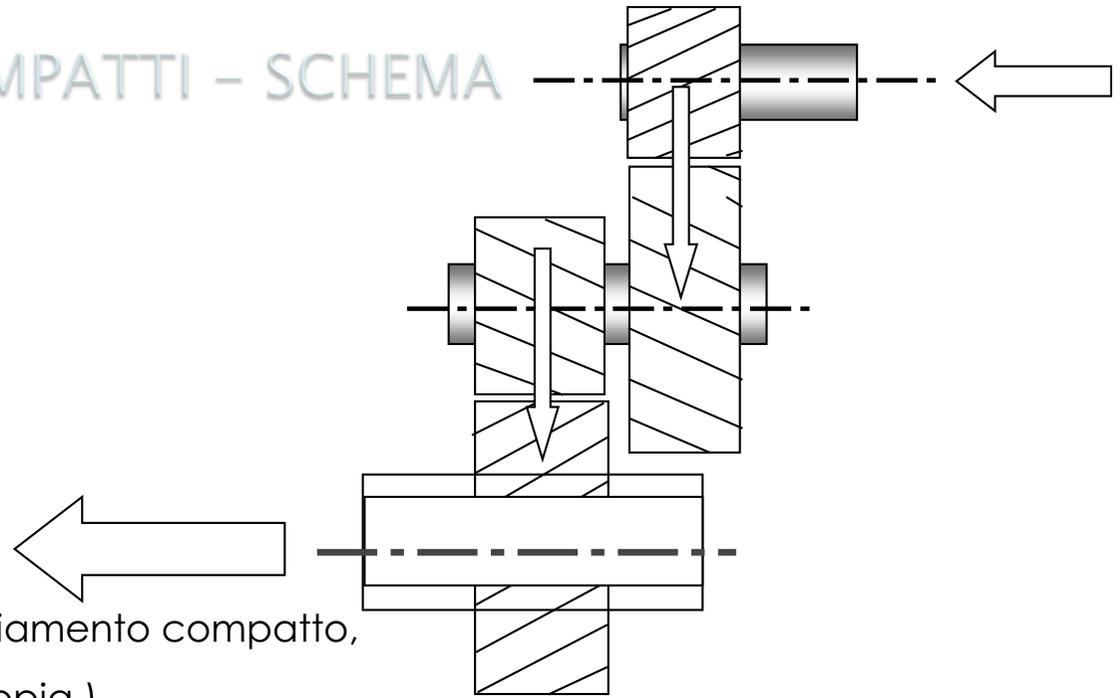


- ▶ Sono riduttori in genere per impieghi gravosi, fino a 700.000 Nm e oltre,
- ▶ Spesso utilizzati al posto dei coassiali dove ci sono limiti d'ingombro assiale,
- ▶ Possibilità di montaggio autocentrante e con antiretro,
- ▶ La possibilità di assi d'uscita multipli consente l'impiego in macchine complesse.

# RIDUTTORI AD ASSI PARALLELI COMPATTI



## RIDUTTORI AD ASSI PARALLELI COMPATTI – SCHEMA

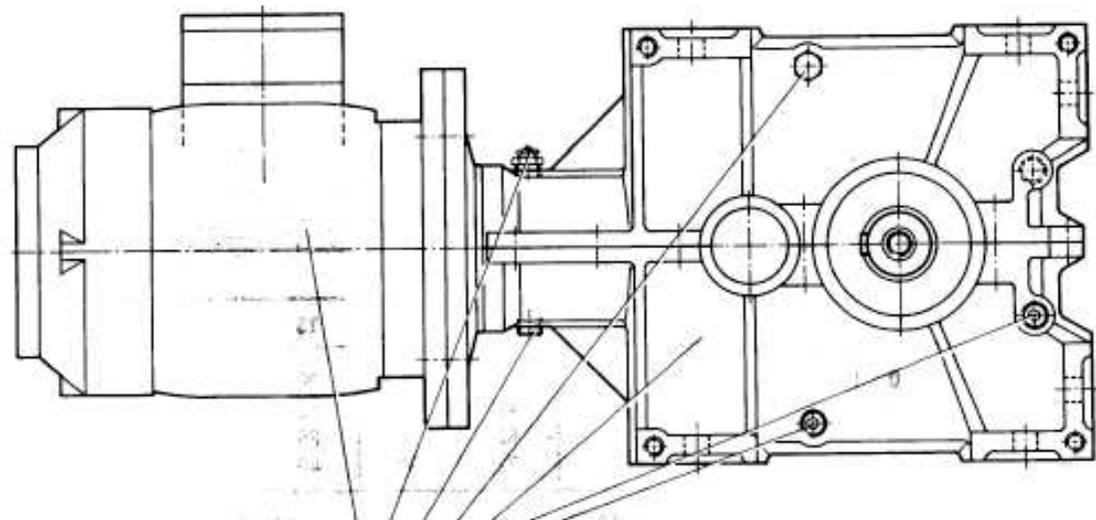
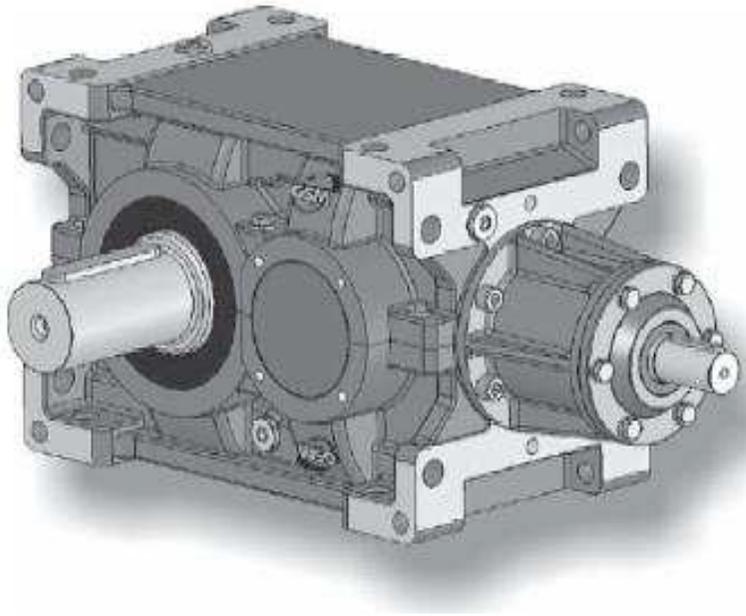


- Ingranaggi cilindrici a dentatura elicoidale,
- Alberi in ingresso ed uscita paralleli in alloggiamento compatto,
- Stadi componibili da 2 fino a 4 ( con pre-coppia ),
- Rapporti da 10 fino a 200,
- Ingombro in senso trasversale,
- Rendimento elevato,
- Possibilità di esecuzione compatta con motore integrato ( come coassiali ),
- Generalmente per potenze/coppie piccole – medie,
- Generalmente albero lento cavo per montaggio pendolare.

## RIDUTTORI AD ASSI PARALLELI COMPATTI – APPLICAZIONI

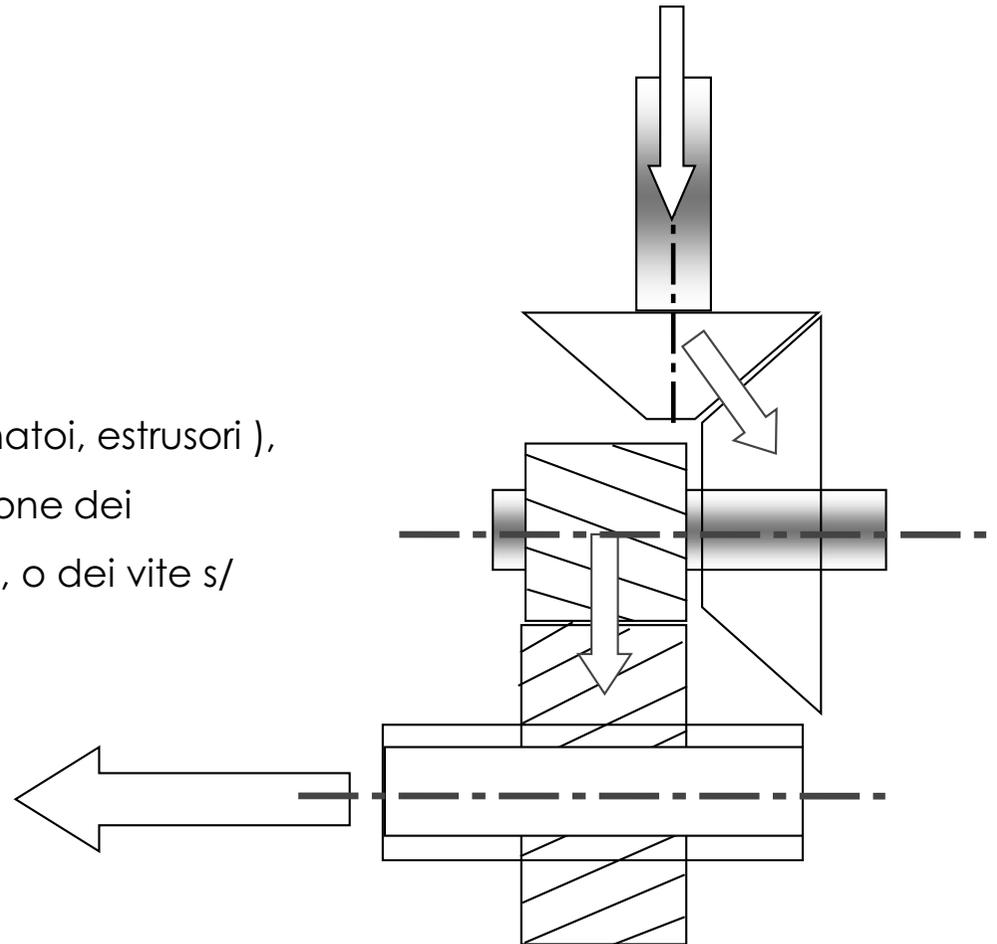


- ▶ Sostituiscono i coassiali dove ci sono problemi d'ingombro;
- ▶ In genere vanno su applicazioni piccole/medie fino a ca. 3000 Nm;
- ▶ Sono abbastanza recenti e in origine pensati per le testate dei carri ponte;
- ▶ La carcassa monoblocco assicura un'elevata rigidità dell'insieme e robustezza , a scapito di difficoltà di montaggio;
- ▶ Recentemente trovano largo impiego in vie a rulli siderurgiche.

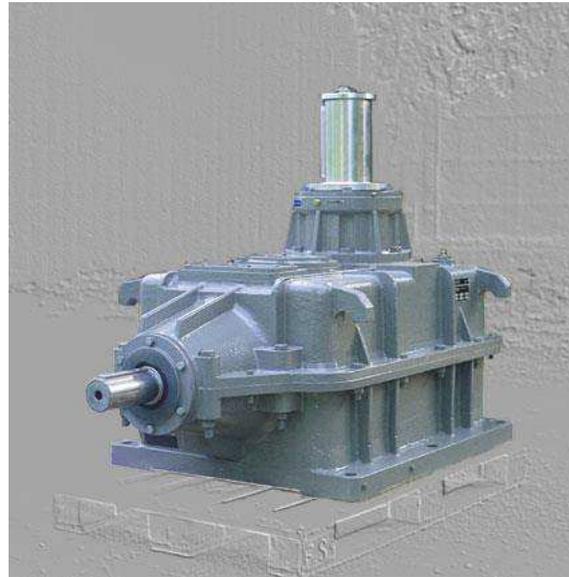


## RIDUTTORI AD ASSI ORTOGONALI – SCHEMA

- Ingranaggi cilindrici a dentatura elicoidale + coppia conica,
- Composizione stadi da 1 ( rinvio ad angolo ) fino a 4 – 5,
- Alberi in ingresso ed uscita ortogonali,
- Possibilità di più alberi in uscita , anche di tipo cavo,
- Rapporti da 1.5 fino a  $> 1000$ ,
- Ingombro in senso trasversale,
- Elevato rendimento,
- Generalmente per potenze/coppie medio – elevate,
- Generalmente per impieghi pesanti ( calandre, laminatoi, estrusori ),
- Possibilità di avere versioni medio-piccole , in sostituzione dei paralleli compatti pemdolari , per ragioni d'ingombro , o dei vite s/ fine per ragioni di rendimento.



## RIDUTTORI AD ASSI ORTOGONALI – APPLICAZIONI



- ▶ Normalmente sono comparabili al tipo ad assi paralleli, che sostituiscono per ragioni d'ingombro, e quindi vanno in applicazioni pesanti,
- ▶ Recentemente sono molto diffusi riduttori ad assi ortogonali “piccoli”, che sostituiscono i tipi a vite-senza-fine per ragioni di rendimento e minor riscaldamento , a scapito di maggiori costi.

# RIDUTTORI PENDOLARI PIATTI



## RIDUTTORI PENDOLARI PIATTI – APPLICAZIONI



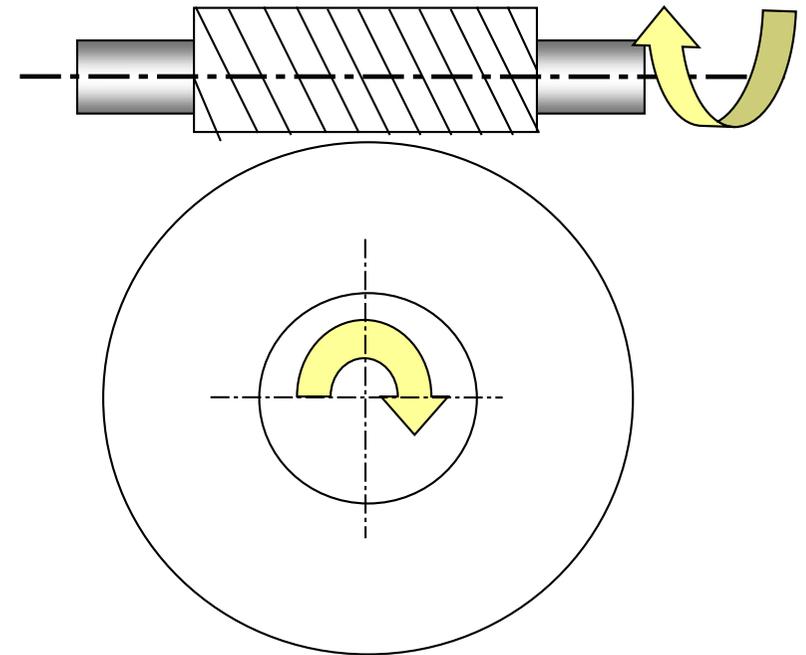
- ▶ Sono stati i primi riduttori in esecuzione pendolare , cioè autocentrante.
- ▶ La loro applicazione tipica è nelle testate di comando di lunghi e pesanti trasportatori di materiale sfuso.
- ▶ Attualmente stanno andando un po' in disuso.

# RIDUTTORI A VITE S/FINE



## RIDUTTORI A VITE S/FINE – SCHEMA

- Cinematismo composto da vite e corona,
- Alberi d'ingresso e uscita ortogonali,
- Generalmente albero d'uscita cavo,
- Rapporti da 5 fino a  $> 1000$  ( anche con precoppia cilindrica ),
- Fino a due stadi in cascata,
- Bassa rumorosità,
- Scarso rendimento,
- Può essere irreversibile (dipende dall'angolo d'elica),
- Ingombro ridotto e facilità di montaggio,
- Costi ridotti,
- Generalmente per potenze medio-basse.



## RIDUTTORI A VITE S/FINE – APPLICAZIONI



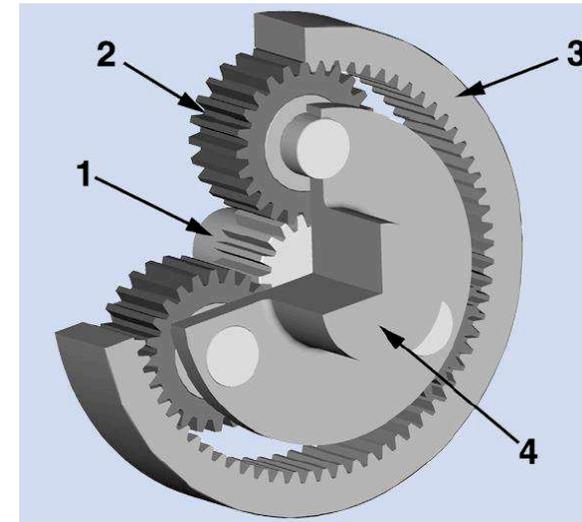
- ▶ Sono molto diffusi nelle applicazioni leggere.
- ▶ Dato il loro basso prezzo , sono largamente applicati negli impianti con motorizzazioni multiple .
- ▶ Sono adatti ad impieghi dove sono necessari ingombri molto ridotti ed è richiesta ridotta rumorosità .
- ▶ Possono avere diversi gradi di irreversibilità del moto, fino a quella totale , anche se per ragioni di sicurezza occorre sempre un freno.
- ▶ Stanno passando un po' di moda a causa del loro basso rendimento.

# RIDUTTORI EPICICLOIDALI



1 = solare o pignone  
2 = satellite o planetario  
3 = corona fissa  
4 = portaplanetari o portatreno

$$\tau = (\omega_3 - \Omega) / (\omega_1 - \Omega) = -\zeta_1 / \zeta_3$$



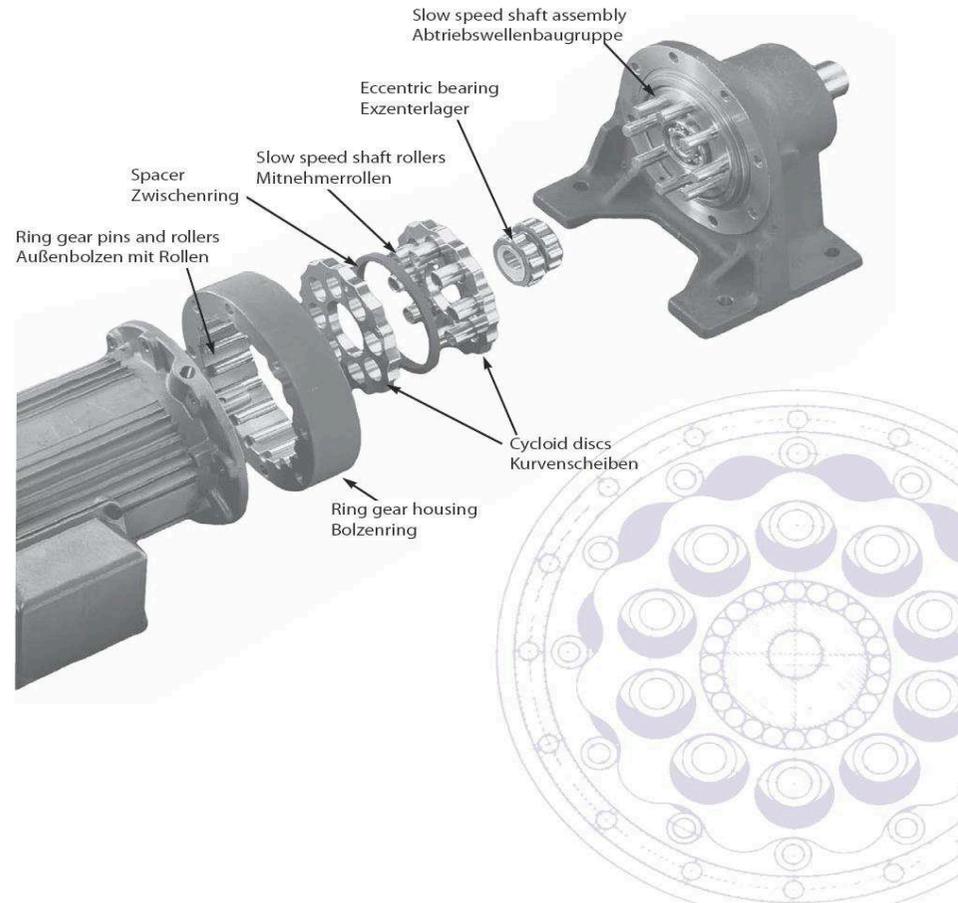
- Ingranaggi cilindrici a dentatura diritta , di rado elicoidale ( difficile!),
- Alberi d'ingresso e uscita coassiali e con stesso senso di rotazione,
- Possibilità di averi più stadi in cascata,
- Rapporti da 3 fino a  $> 2000$ ,
- Ingombri in senso radiale molto contenuti,
- Elevate potenze/coppie d'esercizio e alta sovraccaricabilità,
- Elevati rendimenti,
- Generalmente molto costosi a causa della loro complessità costruttiva e di montaggio ( in genere 5 ingranaggi per stadio ! ).



- ▶ Sono i riduttori “ General Purpose ” di maggior pregio.
- ▶ Sono intrinsecamente molto robusti ( forze interne simmetriche ed equilibrate ) e quindi atti a sopportare forti coppie, fino a 900.000 Nm, e forti sovraccarichi.
- ▶ Molto compatti, si prestano alla realizzazione di soluzioni tecniche “ eleganti ” e con ingombri sempre in asse.
- ▶ Storicamente sono i riduttori degli assi delle macchine movimento –terra.
- ▶ Ultimamente trovano largo impiego come unità ” speed increaser “ sui generatori eolici ( tra pale e generatore ).

# RIDUTTORI "STRANI" -1

## CYCLO



**Circular Spline**

Un anello rigido d'acciaio con una dentatura all'interno.

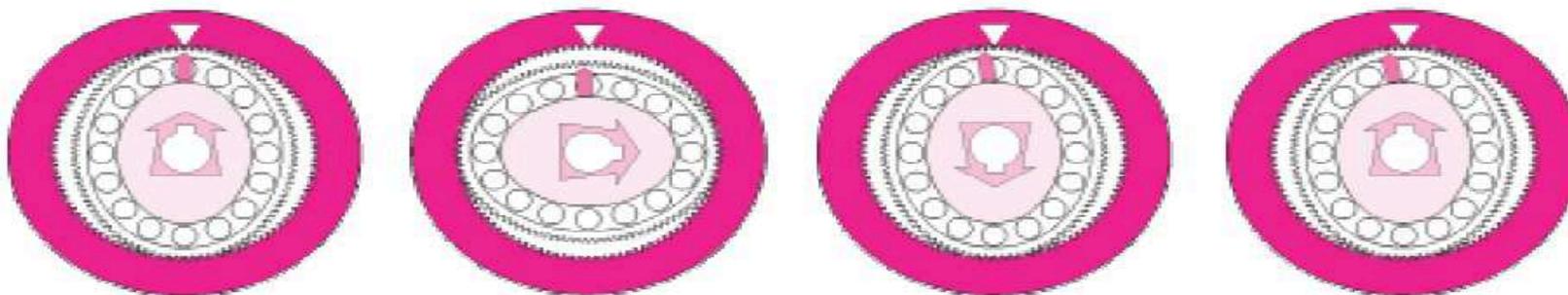


**Flexspline**

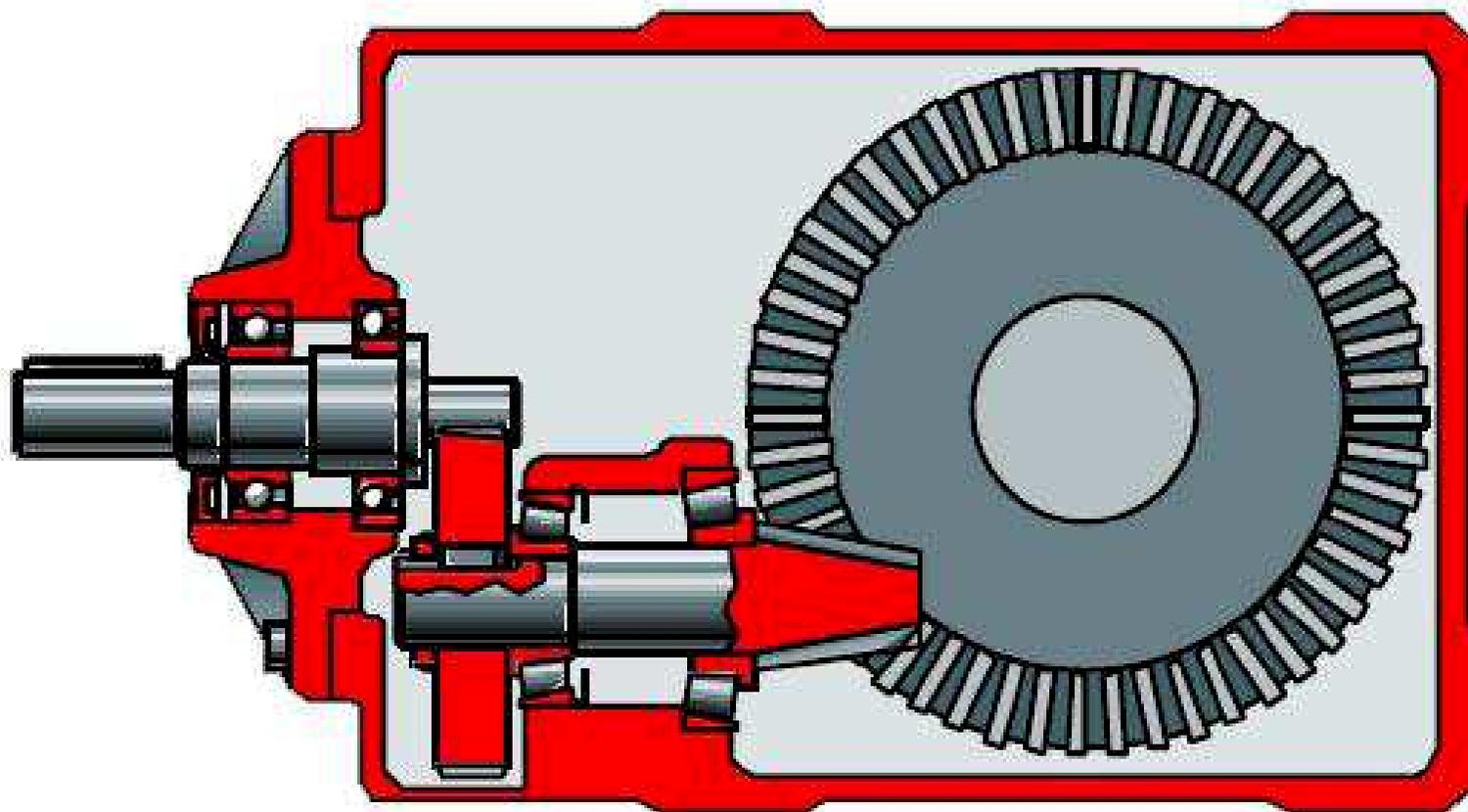
Un cilindro d'acciaio flessibile con una dentatura ed una flangia di montaggio.

**Wave Generator**

Il Wave Generator è un cuscinetto a sfere, sottile, montato su di un mozzo ellittico e funzionante come convertitore di coppia ad alto rendimento.



## HARMONIC DRIVE

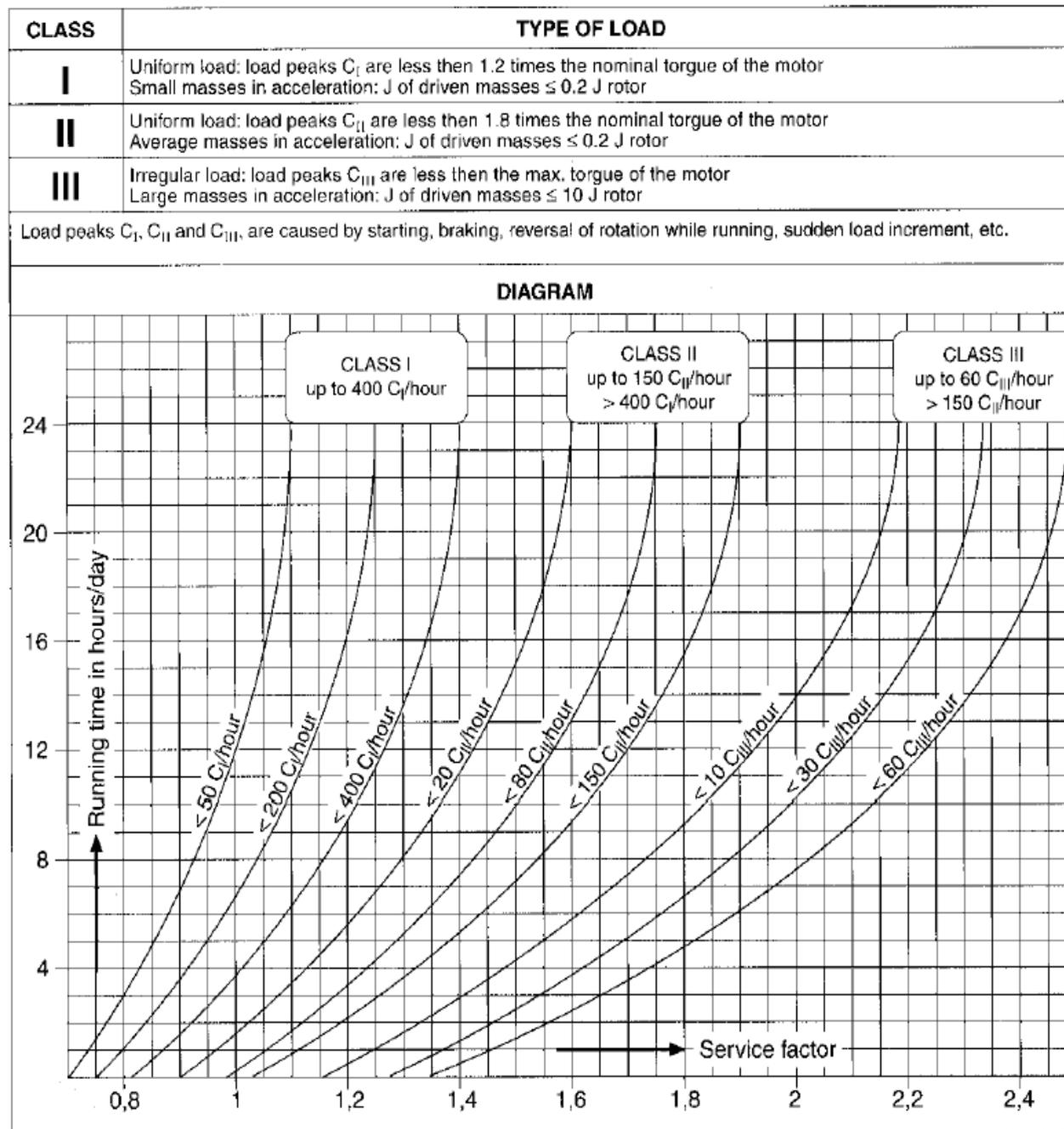


RIDUTTORI A COPPIA IPOIDE

## COME SI SCEGLIE UN RIDUTTORE

- ▶ Analisi delle caratteristiche cinematiche del sistema.
- ▶ Analisi delle possibilità/opportunità di installazione.
- ▶ Definizione della potenza richiesta dal sistema :  $P_1$
- ▶ Scelta del motore (velocità, taglia, potenza ) :  $P_m \geq P_1$
- ▶ Definizione del rapporto di riduzione.
- ▶ Scelta del fattore di servizio ( ved.in seguito ) :  $f_s$
- ▶ Scelta del riduttore adatto :  $P_r \geq P_m * f_s$  , in funzione del rapporto più prossimo a quello richiesto e della velocità di ingresso.
- ▶ Verifica della compatibilità del riduttore con il motore.
- ▶ Eventualmente .... , si ricomincia !

## FATTORE DI SERVIZIO $f_s$ (1)



## FATTORE DI SERVIZIO $f_s$ (2)

- I riduttori sono progettati con fattore di servizio  $f_s = 1$  , cioè :
  - 8 ore/giorno per circa  $1700 \div 2000$  ore/anno.
  - Servizio senza urti o con urti moderati.
  - Basso numero di avviamenti e/o frenature.
  - Nel caso ci siano avviamenti e frenature, le inerzie comandate sono basse.
  - Le condizioni ambientali ( temperatura, presenza di polveri , vibrazioni ) sono normali.
  - Impossibilità di moto retrogrado ( moltiplicatore ) .

**Se le condizioni sopra elencate non sono soddisfatte , in tutto o in parte , si sceglie un  $f_s > 1$**

**Le tabelle precedenti possono dare un'idea , molto purtroppo è frutto d'esperienza .**

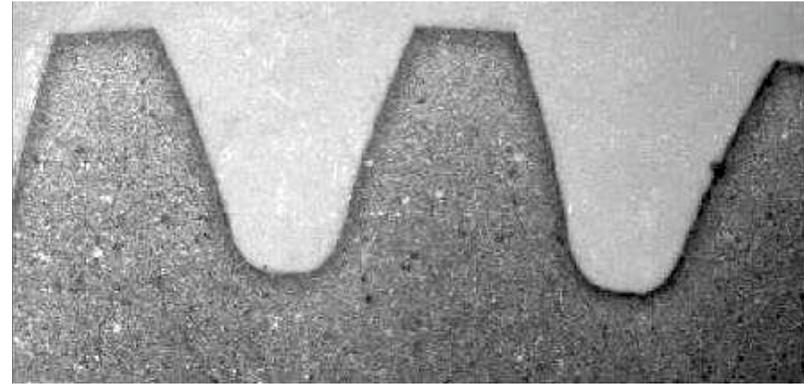
NOTA : La presenza di Inverter ha un effetto positivo , in quanto “ addolcisce ” il servizio, riducendo le criticità dei transitori

# Calcolo degli Ingranaggi

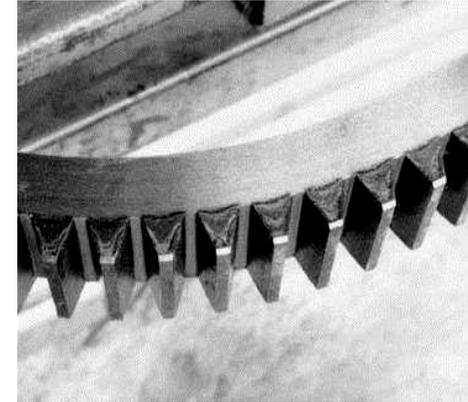
- ▶ Gli ingranaggi vengono calcolati secondo vari standard ( AGMA, BSS, JGMA, DIN, ecc.) oppure in accordo a vari progettisti di fama ( Dudley , Henriot , Giovannozzi, Castellani , ecc.).
- ▶ Tutti però vengono ricondotti al considerare il dente come una mensola caricata ( Lewis ) e di applicare vari coefficienti correttivi , in funzione delle condizioni al contorno : materiale , trattamento termico , geometria , accuratezza di esecuzione e di montaggio , lubrificazione , vibrazioni, ecc.
- ▶ Gli ingranaggi vengono valutati in funzione della resistenza al Pitting ( usura ) e alla Rottura, dove naturalmente la resistenza a quest'ultima è condizionante.
- ▶ Personalmente , calcolo gli ingranaggi secondo lo Std. ISO 6336 , che fornisce una guida di calcolo sia della geometria che della resistenza al Pitting e alla Rottura .

## TRATTAMENTI TERMICI(1)

- ▶ Nei moderni riduttori, i principali organi meccanici subiscono una qualche forma di trattamento termico per aumentarne le prestazioni, ed in particolare :
  - Alberi : vengono comunemente impiegati acciai al C o alto-legati e sottoposti a bonifica per avere elevata tenacità.
  - Ingranaggi : vengono di norma realizzati in acciai alto-legati e sottoposti a trattamenti d'indurimento superficiale , cercando di mantenere una elevata tenacità al cuore .



- ▶ Cementazione + tempra : è quello più diffuso e consiste in un trattamento in ambiente carburante con riscaldamento fino a  $880^{\circ}\text{C} \div 930^{\circ}\text{C}$ , con formazione di carburi di tipo  $\text{Fe}_3\text{C}$ , seguito da tempra classica. Si raggiungono spessori dello strato indurito fino a parecchi decimi di mm, durezze tipiche  $58 \div 60 \text{ HRc}$  e buone caratteristiche al cuore dell'ingranaggio. Pericolo di deformazione del pezzo.
- ▶ Tempra + nitrurazione : si esegue prima la tempra in modo classico, seguita da eventuale rinvenimento e poi si passa alla nitrurazione in ambiente nitrurante con riscaldamento fino a  $500^{\circ}\text{C} \div 550^{\circ}\text{C}$ , con formazione di nitruuri di tipo  $\text{Fe}_4\text{N}$ . Si raggiungono spessori inferiori a quelli della cementazione, ma molto più duri,  $> 60 \text{ HRc}$ . E' meno diffuso della cementazione a causa dei lunghi tempi (costi) necessari alla diffusione dell'azoto nella matrice ferrosa, avendo però il vantaggio di un minor pericolo di deformazione del pezzo.



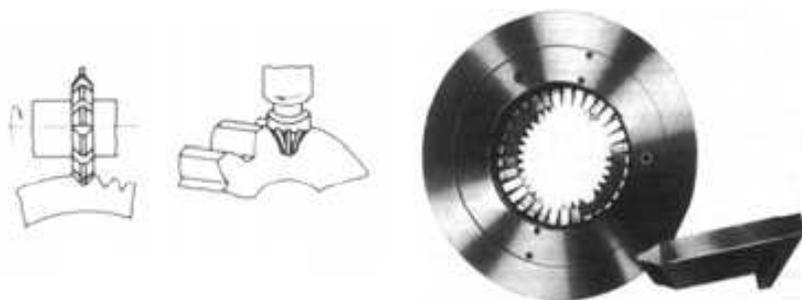
- ▶ *Carbonitrurazione + tempra* : è un compromesso tra cementazione e nitrurazione e consiste in un riscaldamento fino a  $775^{\circ} \text{C} \div 850^{\circ} \text{C}$  in ambiente carburante e nitrurante , seguito da tempra più eventuale distensione . Le caratteristiche finali sono molto simili a quelle della cementazione , con minor pericolo di deformazioni del pezzo. Costi più alti della cementazione.
- ▶ *Tempra ad induzione* :è un trattamento di tempra localizzata , al fine di evitare grandi deformazione del pezzo. Si effettua su ingranaggi piuttosto grandi, mediante passaggio di un induttore ad alta frequenza di fronte alla dentatura. Nel pezzo vengono indotte correnti localizzate ( effetto pelle ) che provocano il riscaldamento della zona interessata per effetto Joule. Tali zone vengono immediatamente raffreddate in sequenza per realizzare la tempra. Costi ridotti ma forti pericoli di criccate localizzate.

## FINITURA SUPERFICIALE DENTI

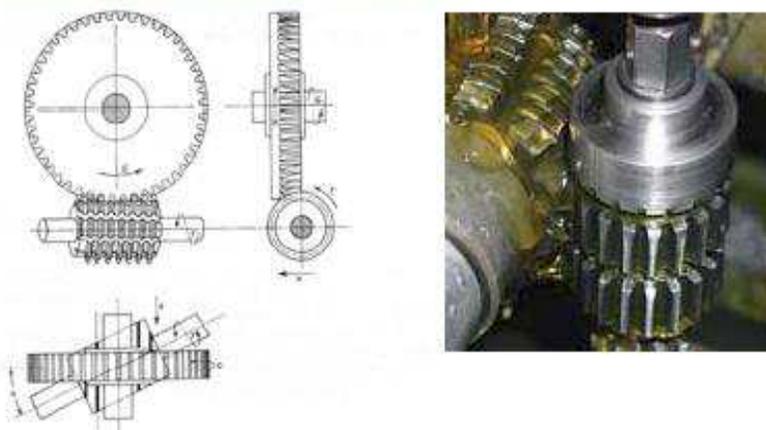
- ▶ La finitura superficiale dei denti tagliati a creatore, a coltello Fellows, a fresa Gleason, ecc , può avere diversi gradi di accuratezza :
  - Finitura con utensile finitore : precisione non molto elevata, adatta a riduttori di basso costo e/o agli stadi lenti;
  - Finitura di sbarbatura : buona precisione , ottenuta con coltello sbarbatore, che è una ruota dentata sui denti della quale sono realizzati numerosi profili taglienti e che viene fatta ingranare in modo sghembo ad alta velocità con il pezzo da sbarbare;
  - Finitura di rodaggio : molto usata per le coppie coniche , si ottiene con ingranamento della coppia con interposizione di polveri abrasive;
  - Finitura di rettifica : di alta qualità , ottenuta con mole profilate. Consente la migliore qualità d'ingranamento e quindi le migliori prestazioni, soprattutto ad alta velocità;
  - Lappatura : piuttosto rara , solo per macchine di alta precisione e alta velocità per applicazioni particolari, ottenuta ingranando la ruota con altre ruote in ghisa ed interposizione di miscele d'olio e polveri abrasive.

**Taglio diretto**

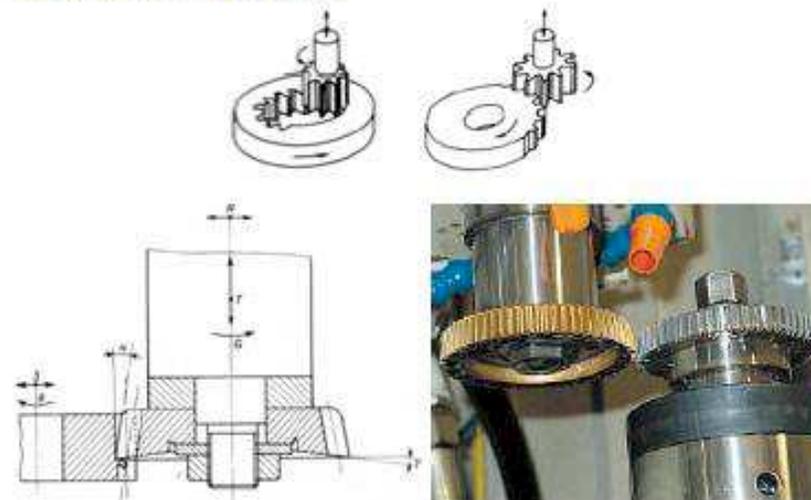
- Procedimenti utilizzati: **fresatura, stozzatura e brocciatura.**
- Per ogni tipo di modulo e per ogni numero di denti ho un utensile apposito, pena una precisione scarsa.



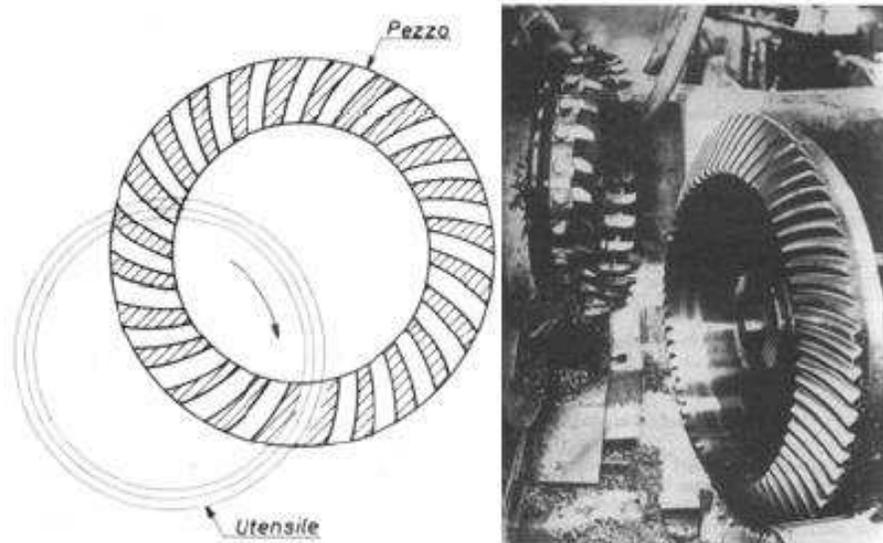
□ **Dentatrice a creatore - PFAUTER**



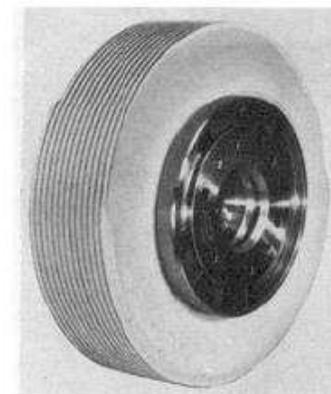
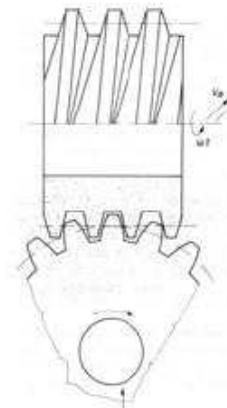
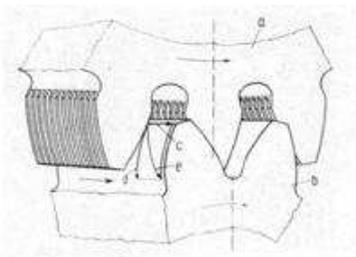
□ **Stozzatura FELLOWS**



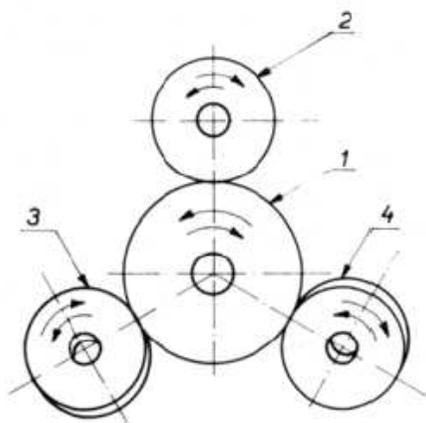
**Metodo Gleason**



## FINITURA SUPERFICIALE DENTI (3)



**Lappatura delle ruote dentate**



Metodo	Rumorosità	Rendimento Precisione geometria Resistente usura	Costo	Numero di giri di impiego
Nessuno	ALTA	BASSO	NULLO	BASSISSIMO
Sbarbatura	MEDIA	MEDIO	BASSO	INTERMEDIO
Rettificazione	BASSA	ALTO	ALTO	ALTO
Lappatura	BASSISSIMA	ALTISSIMA	ALTISSIMO	MOLTO ALTO



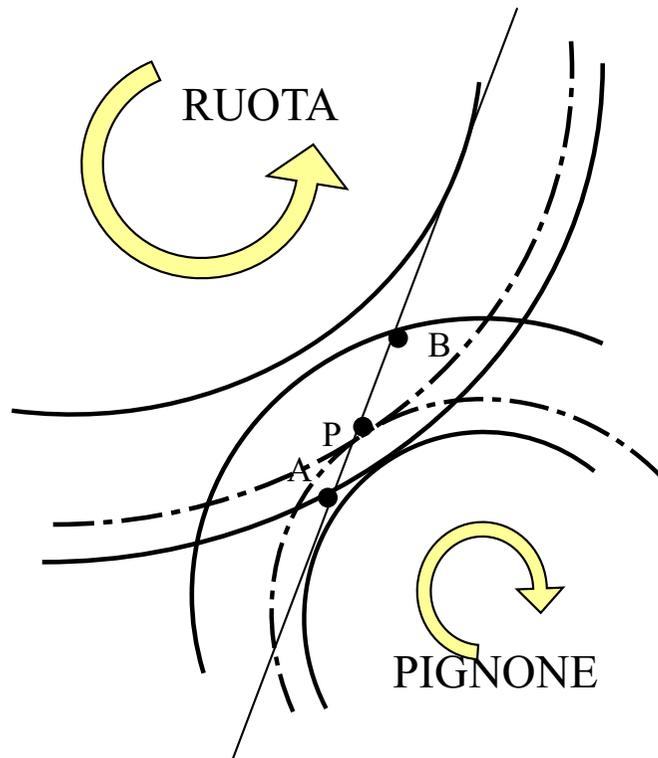
Pignone



Ruota

Nel dimensionamento normale da riduttore , il dente del pignone viene comunemente tagliato con spostamento positivo della primitiva verso il piede , per renderlo più robusto, mentre la ruota viene tagliata al contrario, con spostamento negativo . Questo diventa indispensabile quando il numero di denti del pignone scende al di sotto di un certo valore , funzione di molti parametri ( angolo di pressione , rapporto , angolo d'elica ) . Ciò crea un aumento dell'arco di recesso ed un aumento dell'arco di accesso ( bene ! ) quando conduce il pignone, mentre avviene il contrario quando conduce la ruota ( male !).

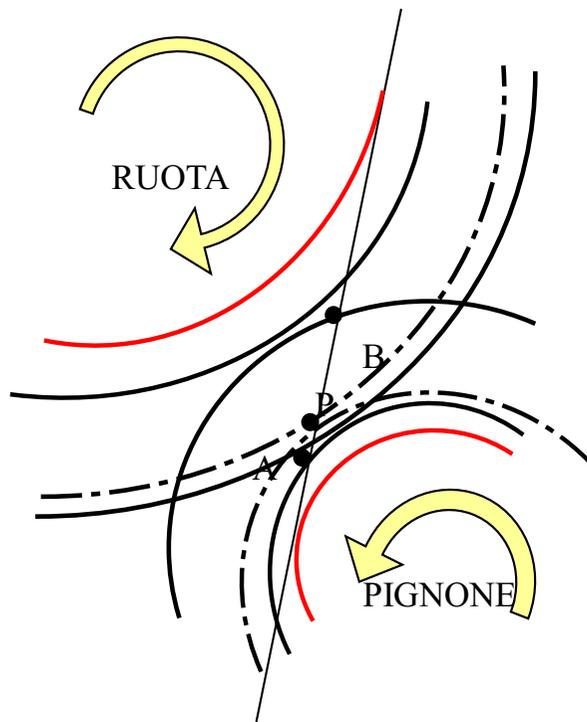
## DIMENSIONAMENTO NORMALE FUNZIONAMENTO DA RIDUTTORE



Nel funzionamento da riduttore :

- Il pignone conduce la ruota
  - Il contatto avviene lungo APB
  - AP è l'arco d'accesso ( sfavorevole )
  - PB è l'arco di recesso (favorevole )
- In questo caso , normale , il tratto sfavorevole in accesso è molto più corto di quello favorevole in recesso e quindi il funzionamento è corretto.

# DIMENSIONAMENTO NORMALE FUNZIONAMENTO DA MOLTIPLICATORE



Nel funzionamento da moltiplicatore :

- La ruota conduce il pignone,
- Il contatto avviene lungo BPA,
- BP è l'arco d'accesso ( sfavorevole ),
- PA è l'arco di recesso (favorevole ),
- In questo caso , critico , il tratto sfavorevole in accesso è molto più lungo di quello favorevole in recesso e quindi il funzionamento è scorretto, con pericolo elevato di impuntamento.

Per avere un funzionamento corretto , occorre cambiare il dimensionamento , cioè le correzioni di dentatura , cosa impossibile con pignoni a basso numero di denti . Quindi nei moltiplicatori occorre aumentare il numero di stadi per raggiungere elevati rapporti di moltiplicazione.

## UTILIZZO DEL RIDUTTORE

Un riduttore è una macchina relativamente semplice e quindi se è stato ben progettato, costruito e correttamente scelto non presenta in genere particolari problemi applicativi .

Ricordiamo solo alcuni aspetti ai quali prestare attenzione :

- ▶ Curare l'allineamento tra riduttore e macchina comandata , pena il rischio di danneggiamenti della carcassa e dell'albero d'uscita  
( questo aspetto perde d'importanza nel caso di montaggi pendolari autocentranti ).
- ▶ Prestare molta attenzione ad eventuali organi di trasmissione calettati sull'albero d'uscita :
  - Giunti ben allineati, equilibrati e con gioco ridotto
  - Pulegge di diametro corretto ( non troppo piccolo !), equilibrate e con poco gioco sulla linguetta
  - Pignoni per catena di diametro corretto ( non troppo piccolo !), equilibrati e con poco gioco sulla linguetta

## UTILIZZO DEL RIDUTTORE – segue

- ▶ Controllare che la temperatura ambiente non sia troppo elevata , superiore a quella di specifica ( pericolo per la lubrificazione e le tenute ! );
- ▶ Prestare attenzione al basamento sul quale verrà installato il riduttore , che dovrà essere sufficientemente rigido ed esente da vibrazioni;
- ▶ Controllare che l'atmosfera dell'ambiente non sia troppo polverosa : le tenute potrebbero risentirne;
- ▶ Controllare che non siano presenti forti sovraccarichi non previsti in specifica;
- ▶ Verificare che la posizione di montaggio sia quella di specifica . In caso contrario potrebbero sussistere problemi di lubrificazione .
- ▶ Infine, e soprattutto, verificare che il riduttore sia correttamente dotato del lubrificante, nella giusta quantità e del tipo prescritto dal costruttore;

# LUBRIFICAZIONE (1)



- ▶ La lubrificazione è il fattore più critico nella conduzione di un riduttore.
- ▶ Ha il compito di :
  - ❖ Ridurre la resistenza d'attrito
  - ❖ Contenere i fenomeni d'usura
  - ❖ Svolgere un'azione refrigerante
  - ❖ Ammortizzare vibrazioni ed urti per rendere più dolce la marcia
  - ❖ Proteggere tutti gli organi interni del riduttore da umidità e da altri fattori ambientali, riducendo la possibilità di ossidazione e corrosione anche nei periodi di inattività

## LUBRIFICAZIONE (2)



- ▶ Le proprietà di un lubrificante :
  - ❑ Viscosità adeguata al servizio ( carichi e temperatura ).
  - ❑ Adesività ( grasso ).
  - ❑ Alto indice di viscosità, cioè ridotte variazioni della viscosità al variare della temperatura.
  - ❑ Stabilità , cioè resistenza alle trasformazioni chimiche ed alla degradazione termica.
  - ❑ Demulsività, cioè resistenza alla formazione di morchie.
  - ❑ Alto potere antisaldante, cioè capacità di creare un film in grado di impedire il grippaggio e le microsaldature locali.
  - ❑ Potere antischiuma.
  - ❑ Proprietà anticorrosive, cioè alta capacità “bagnante” delle superfici metalliche.
  - ❑ Compatibilità con tutti i materiali costituenti il riduttore, in particolare con le tenute meccaniche degli alberi rotanti.

## LUBRIFICAZIONE (3)



- ▶ Le metodologie tipiche di lubrificazione dei riduttori sono :
  - ✓ A grasso, utilizzato in genere nei riduttori piccoli ( $\leq 500$  Nm ) per lubrificazioni del tipo “ for life2”.
  - ✓ A bagno d'olio, a sbattimento .
  - ✓ Ad olio , con circuito di ricircolo ed ugelli spruzzatori orientati nei punti d'ingranamento.

*Il criterio di base che condiziona la scelta di un metodo rispetto ad un altro è il valore della velocità periferica che si ha nel punto d'ingranamento*

## LUBRIFICAZIONE (4)

❖ **Grasso :  $v < 5 \div 7$  m/s**

Occorre evitare di “scavare” la massa del grasso ed allontanarlo per centrifugazione.

❖ **Bagno d'olio, a sbattimento :**

- $v < 12 \div 15$  m/s
- $a_c < 600$  m/s<sup>2</sup>

Occorre evitare l'allontanamento dell'olio per centrifugazione.

❖ **Circolazione forzata d'olio con iniettori:  $v > 15$  m/s**



# MANUTENZIONE

Come già detto in precedenza, il riduttore è generalmente una macchina molto semplice, la cui manutenzione si riduce a :

- Verifica periodica della lubrificazione e, nel caso, ripristino dei livelli o sostituzione del mezzo lubrificante, secondo quanto prescritto dal costruttore;
- Controllo delle tenute e verifica della presenza di eventuali fughe di lubrificante;
- Controllo dell'installazione : il fissaggio ai supporti o al basamento non sia allentato e gli organi di collegamento a valle ed eventualmente a monte siano in buono stato ;
- Controllare che non si manifestino rumori anomali : battimenti, “ sfregamenti “ metallici, rumori pulsanti, ecc.
- Controllare che non si manifestino vibrazioni anormali.

# GUASTI

I GUASTI DI UN MOTORIDUTTORE ELETTRICO RIGUARDANO, CON BUONA APPROSSIMAZIONE :

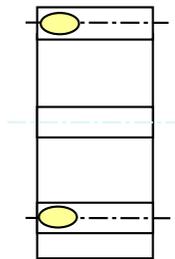
- 60 ÷ 70 % LA PARTE MOTRICE
- 30 ÷ 40 % LA PARTE MECCANICA

Nella parte meccanica, in genere i guasti sono così distribuiti :

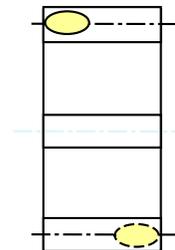
- 50 ÷ 70 % gli ingranaggi
- 10 ÷ 15 % i cuscinetti
- 5 ÷ 10 % gli alberi
- 10 ÷ 15 % vari

Contatto scorretto tra i denti : invece di avere un contatto uniformemente distribuito sulla superficie dei denti ingrananti , si hanno localizzati :

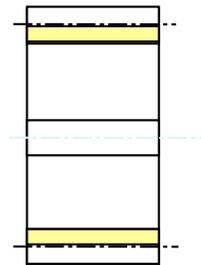
- Su un lato delle ruote



- Su un lato delle ruote ( incrociato )

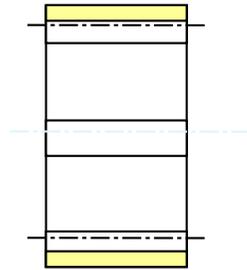


- Sul fondo dente

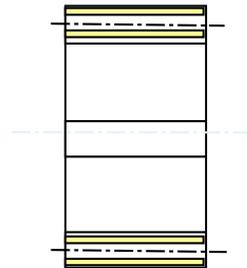


# GUASTI MECCANICI DENTATURE – A

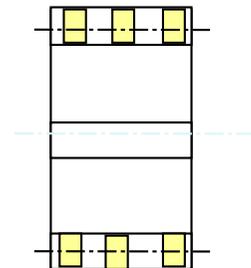
- Sulla testa del dente



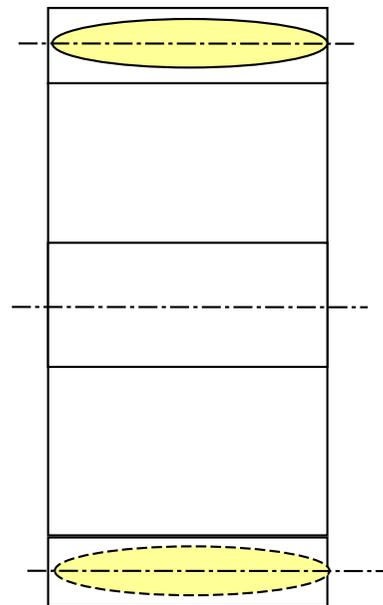
- Ondulato sull'evolvente



- Ondulato su larghezza



## CONTATTO IDEALE



CONTATTO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO, SENZA ONDULAZIONI,  
MAGGIORMENTE LOCALIZZATO AL CENTRO E POCO ALLE ESTREMITA',  
( DENTATURA CON BOMBATURA .)

# GUASTI MECCANICI DENTATURE – A CAUSE

- Errore di allineamento degli assi.
- Errore di allineamento degli assi e errore d'elica.
- Errore di taglio dei denti, di tornitura delle ruote e di passo.
- Errore di taglio dell'evolvente.
- Errore di taglio della dentatura ( vibrazione creatore ).



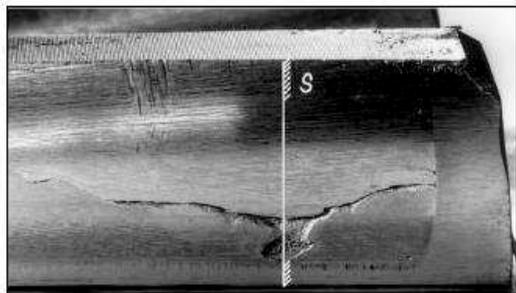
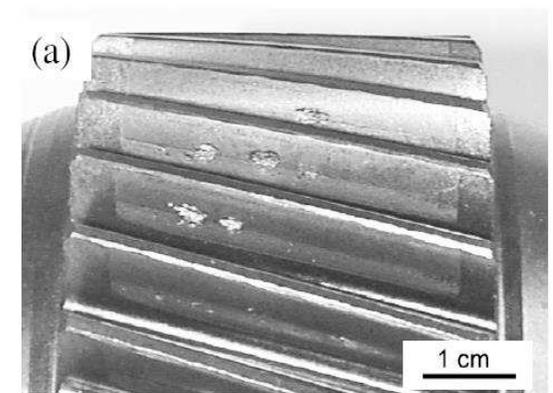
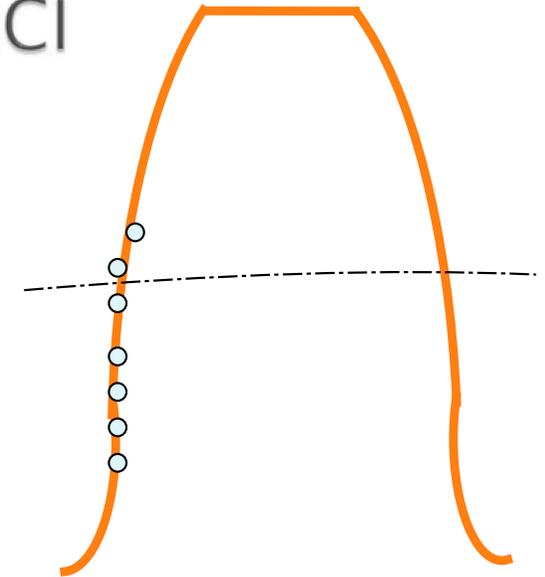
## **CONSEGUENZE**

Se gli errori non sono troppo grandi, dopo un periodo di rodaggio essi vengono corretti ed il contatto si avvicina a quello ottimale. Se , al contrario essi sono tali da non poter essere recuperati nel rodaggio, si avrà un funzionamento scorretto, molto rumoroso e con pericolo di concentrazione degli sforzi troppo localizzata e possibile consumo anomalo e rotture.

## ► PITTING (VAIOLATURA)

Sono micro-craterizzazioni sul fianco del dente, più frequentemente possibili tra piede e primitiva. Sono dovute al superamento del limite della pressione Hertziana sulla e/o sotto la "pelle" del dente, al conseguente crearsi di fessurazioni che procedono in profondità ed un aumento enorme della pressione dell'olio infiltratosi. Tutto ciò porta al distacco di microparticelle con conseguente vaiolatura della superficie. Molto spesso il fenomeno non è progressivo e quindi può essere ragionevolmente accettato.

Sono più soggetti al problema gli stadi lenti, e può essere superato diminuendo il carico ed usando oli più viscosi.



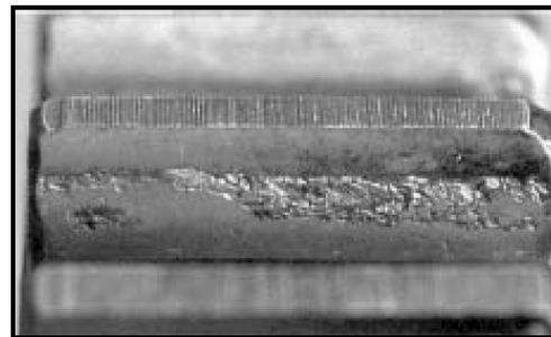
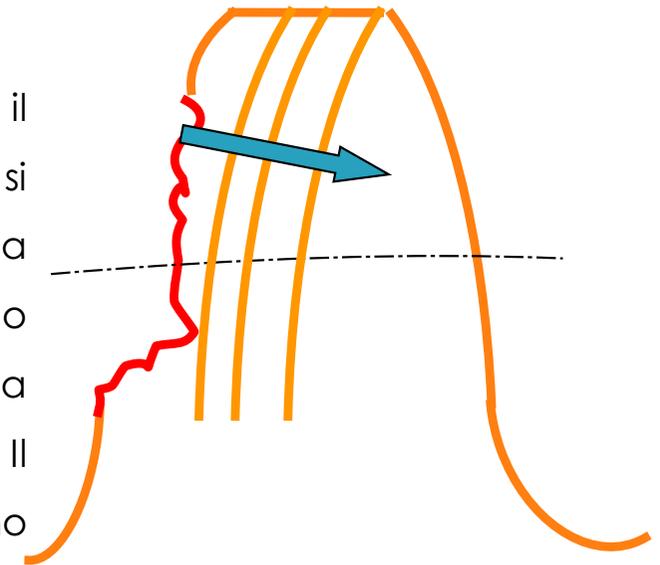
### Le cause :

- Insufficiente durezza superficiale.
- Geometria del dente non corretta.
- Carico troppo elevato.
- Lubrificazione insufficiente.

# GUASTI MECCANICI DENTATURE - B

## ▶ SCHEGGIATURE E PELATURE

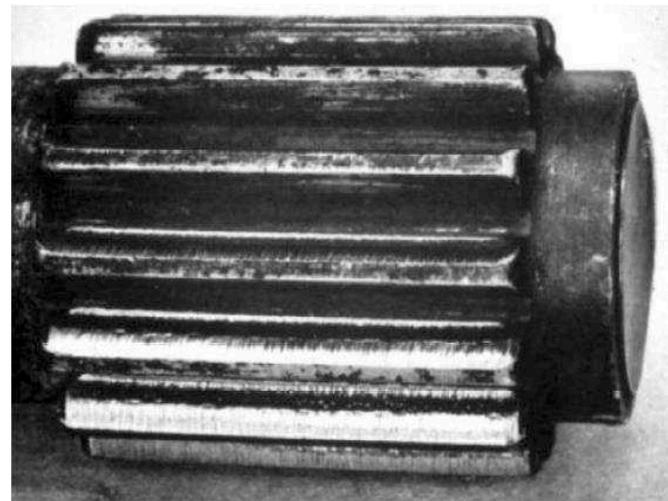
Quando il pitting è molto forte, può succedere che il materiale tra due crateri contigui si stacchi, ed allora si parla di scheggiatura. Se le schegge sono di forma piatta, si può arrivare ad una pelatura estesa del fianco del dente, che a seguito di usura riacquista una superficie liscia, arretrata rispetto al profilo teorico. Il pitting ricomincia, ed il profilo arretra sempre di più fino ad un assottigliamento tale del dente da causarne la rottura o la pelatura completa.



## ▶ GRIPPAGGIO ( SCUFFING )

Quando il film di lubrificante tra le superfici a contatto si rompe, a causa di pressione di contatto eccessiva o , più comunemente, a seguito di una lubrificazione deficitaria in quanto scarsa o realizzata con mezzo non adatto , avvengono delle micro saldature tra le parti metalliche a contatto. Tali saldature in seguito si staccano ed il fenomeno procede in maniera progressiva. Il grippaggio in genere comincia al piede ed alla testa del dente , procedendo verso la primitiva, dove può saldarsi con zone di pitting.

Zone di grippaggio  
alla testa del dente

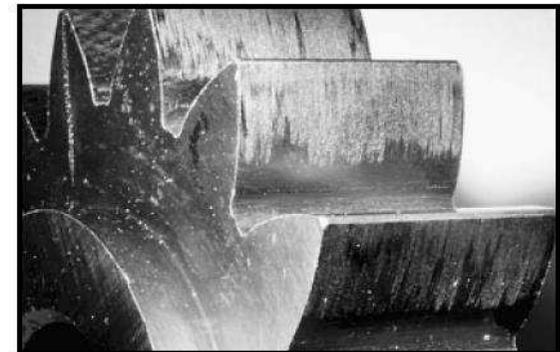


▶ **USURA (WEAR)**

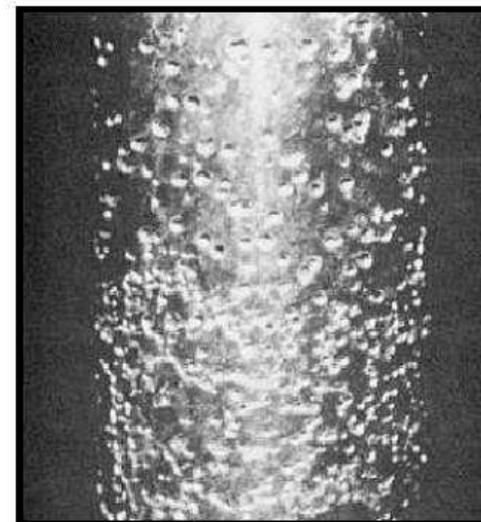
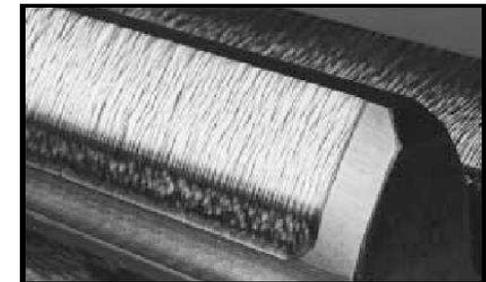
- Sono danneggiamenti che si manifestano come asportazione o trasferimento di materiale da un elemento in contatto all'altro e sono generalmente dovuti a problemi di lubrificazione :
  - Insufficiente
  - Olio contaminato da particelle solide
  - Azioni elettro-chimiche
  - Rottura del film interposto

Avremo quindi :

- Adesione , più o meno grave fino al grippaggio ( scuffing) o la pelatura totale ( seizing )



- Abrasione, dovuta all'asportazione di materiale causata da micro-particelle presenti nell'olio o dal contatto di due materiali di differente durezza.
- Lucidatura, in pratica è un'abrasione di leggera entità, piuttosto normale.
- Corrosione, dovuta all'asportazione di materiale per azioni chimiche o elettrochimiche.

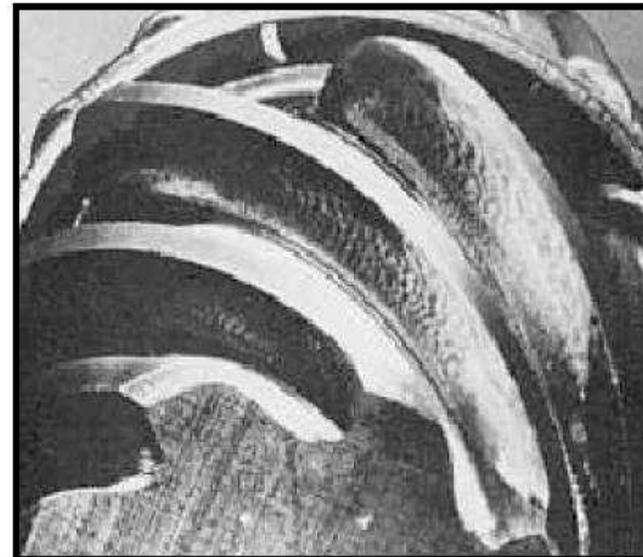


## GUASTI MECCANICI DENTATURE - D3

### **DEFORMAZIONE PLASTICA**

Sono danneggiamenti che si presentano in forma di modifica della geometria delle superfici e dei profili degli elementi in contatto, a causa del superamento locale del limite di elasticità del materiale.

Sono in genere causati da insufficiente durezza in combinazione con una lubrificazione errata, per esempio in seguito all'impiego d'olio di insufficiente viscosità.

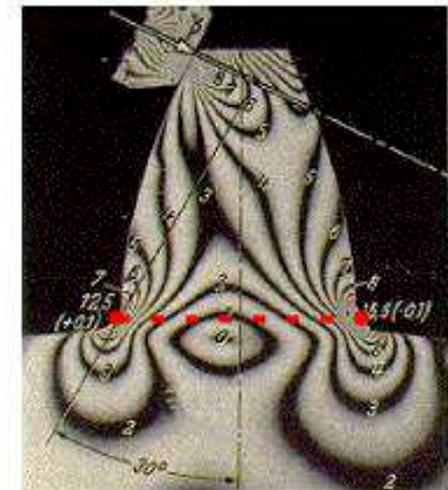


## ▶ **ROTTURE AL PIEDE DEL DENTE**

Le rotture di questo tipo hanno carattere catastrofico e sono quelle più temute dall'utilizzatore in quanto causano la immediata messa fuori uso della macchina . Per questo , il criterio della resistenza al piede del dente è quello maggiormente evidenziato e tenuto sotto controllo in fase di progettazione dell'ingranaggio .

Generalmente le cause di tale anomalia sono di due tipi :

1. Difetto al piede
2. Sovraccarico a carattere d'urto



## ► DIFETTO AL PIEDE

Può accadere che nella zona del piede siano presenti delle discontinuità e/o delle rigature causate da una non corretta lavorazione. Tali imprecisioni creano un grave effetto d'intaglio nella zona critica per la resistenza del dente che, non va dimenticato, è sollecitato a fatica a flessione pulsante. A volte l'effetto d'intaglio può essere causato da una discontinuità dovuta ad un non corretto trattamento termico, in genere tempra ad induzione.

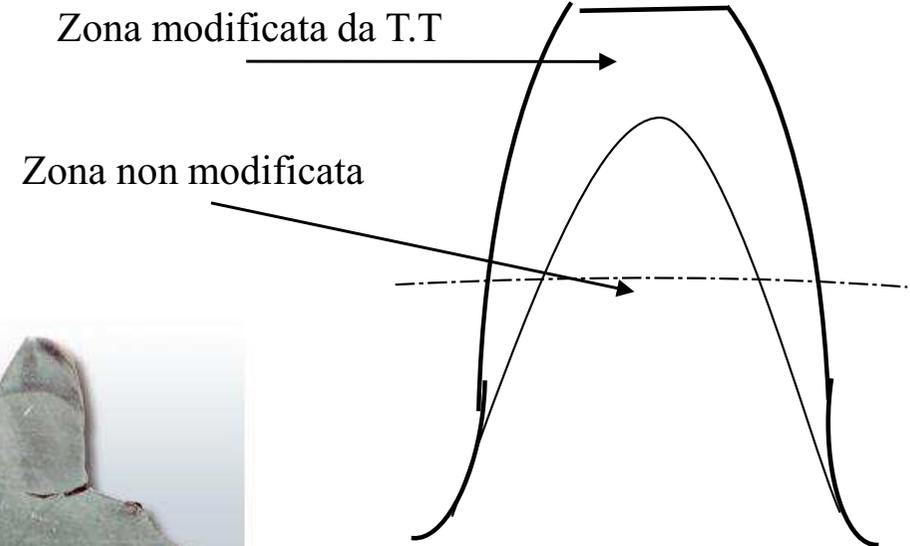
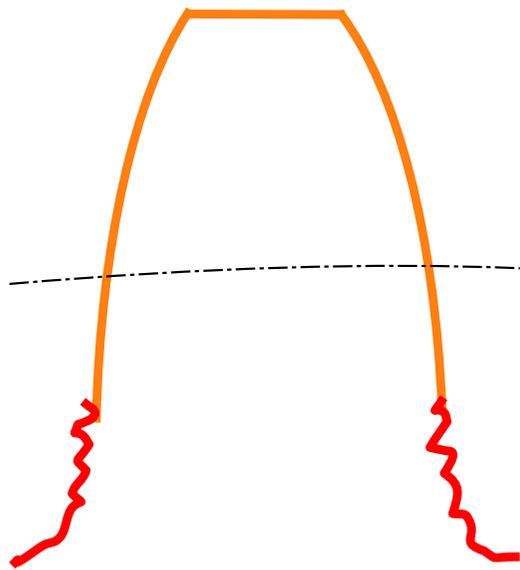
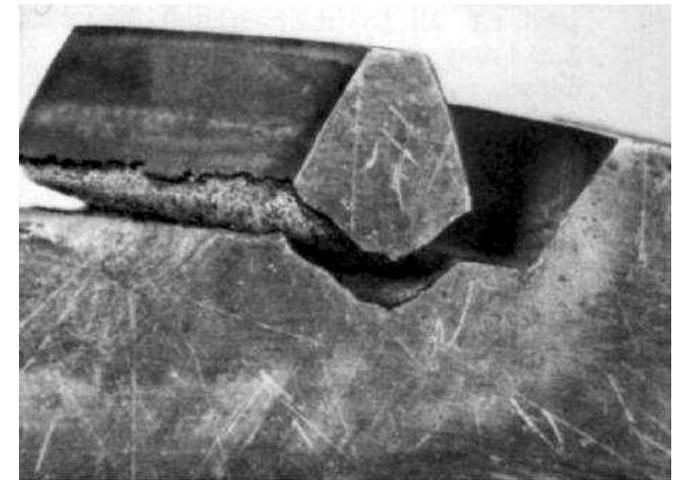
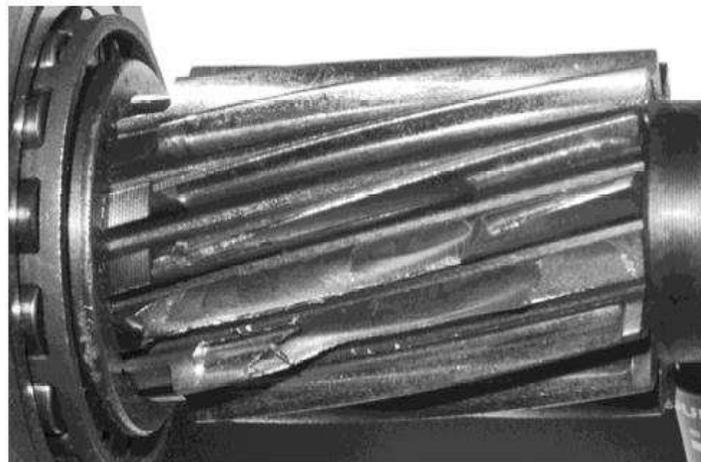


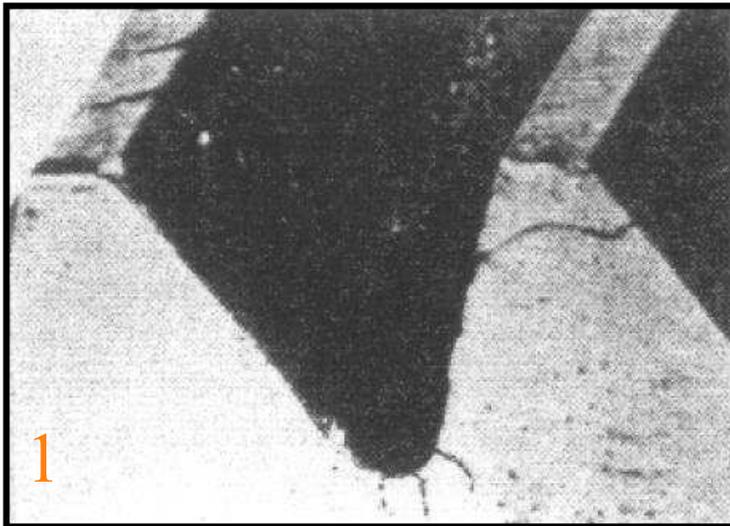
Figure 3. Fatigue Crack in Gear Tooth Root Fillet.

▶ **SOVRACCARICO , URTO:**

La rottura al piede del dente può avvenire anche a seguito di sovraccarichi improvvisi, causati da aumenti di coppia resistente che generalmente il motore elettrico riesce a superare, ma che si possono trasferire alla dentatura soprattutto in caso di grandi masse inerziali a valle. Altra causa, come già detto, potrebbe essere l'eventualità di moto retrogrado imprevisto.

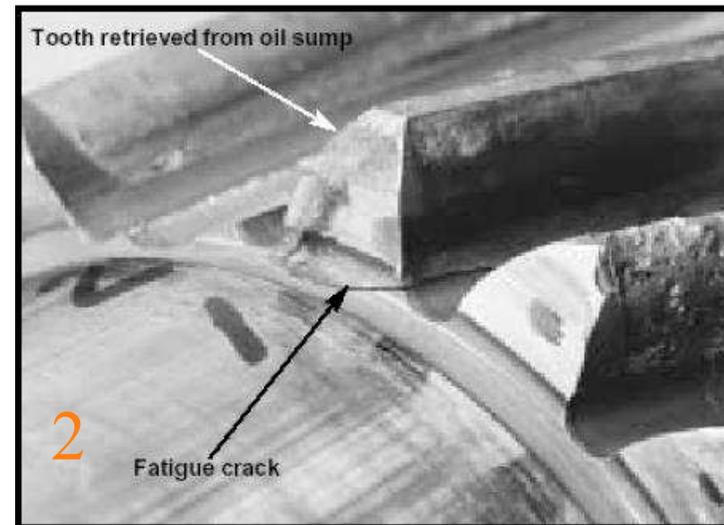
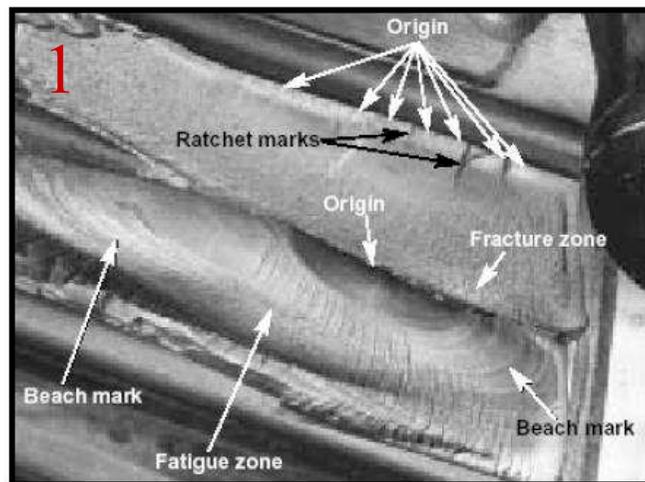


## ESEMPI DI ROTTURE :



1. Cricche di tempra
2. Cricche di rettifica
3. Distacco a seguito di cricche di tempra

## ESEMPI DI ROTTURE :



1. Rottura a fatica
2. Rottura a fatica ( inizio )
3. Rottura del corpo ruota per insufficiente spessore

- Nei RIDUTTORI ben progettati, costruiti e correttamente installati , i cuscinetti volventi non dovrebbero essere soggetti a particolari problemi tecnici . I casi di rottura che si verificano comunque sono dovuti sostanzialmente a :
  - Lubrificazione Insufficiente
  - Lubrificante non adatto
  - Lubrificante inquinato da particelle d'usura degli ingranaggi
  - Sovraccarico ( specialmente sull'albero d'uscita )

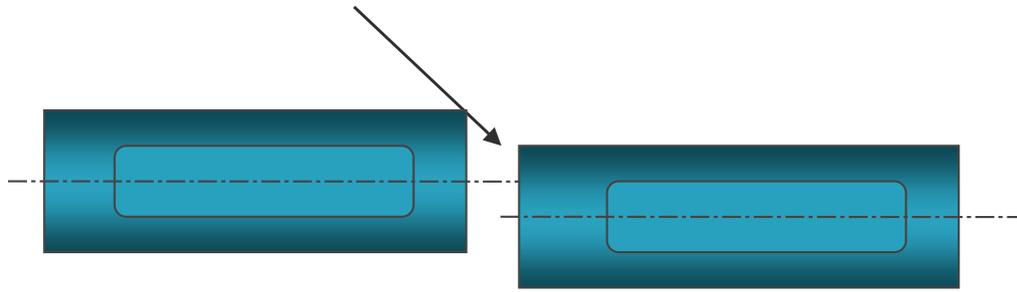
▶ ROTTURE D'ALBERO, LINGUETTE:

La rottura degli alberi avviene normalmente a fatica per flessione o flesso-torsione. La rottura è causata da carichi elevati, superiori a quelli di progetto ( tipico è il caso di pulegge troppo piccole e/o posizionate troppo lontane dal supporto ).

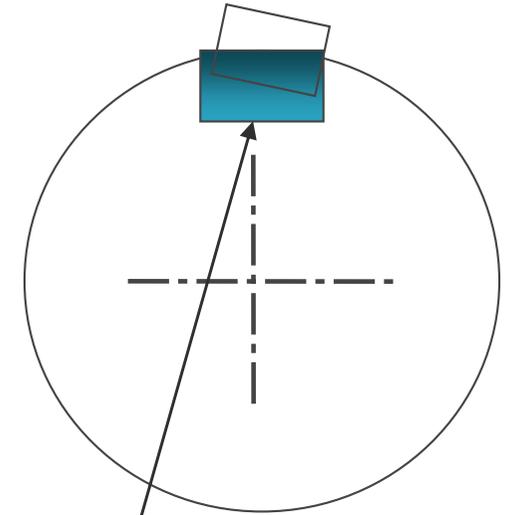
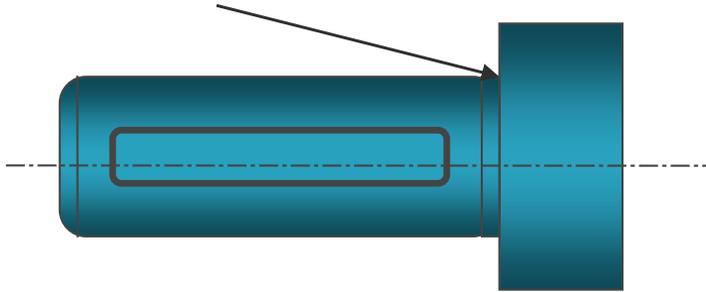
Altre volte, anche in presenza di carichi normali, la rottura può prodursi a causa di forti concentrazione di sforzi , in seguito alla presenza di fattori d'intaglio dovuti a progettazione e/o lavorazioni non corrette.

Altri fattori che possono causare rotture sono un cattivo allineamento o un accoppiamento scorretto con eventuali organi di collegamento : giunti o pulegge troppo lasche sull'albero o sulla linguetta, con conseguenti battimenti, o sede errata della linguetta sull'albero.

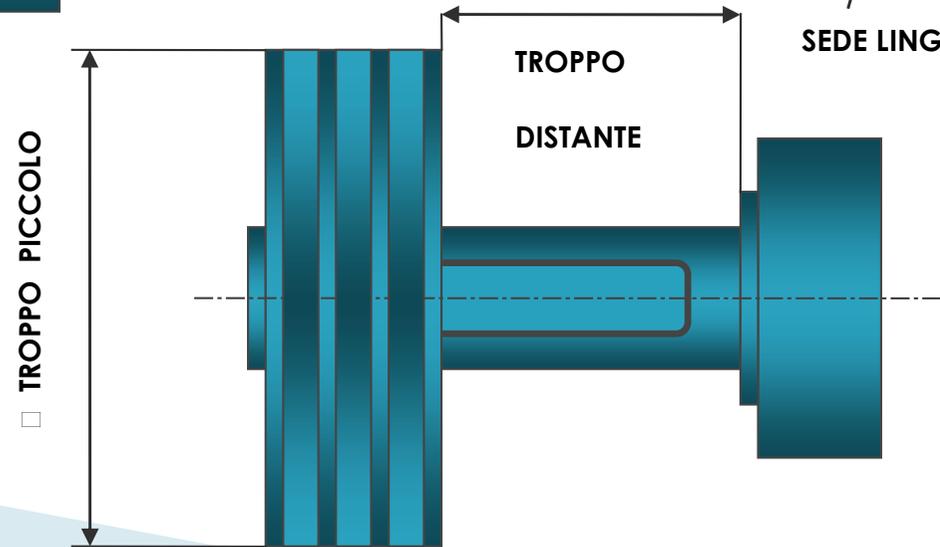
**DISALLINEAMENTO**



**DIFFERENZA DI SEZIONE POCO RACCORDATA**

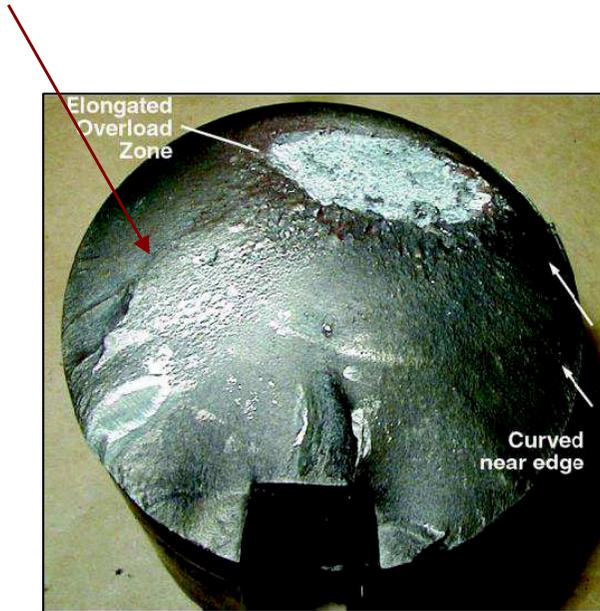


**SEDE LINGUETTA LARGA**

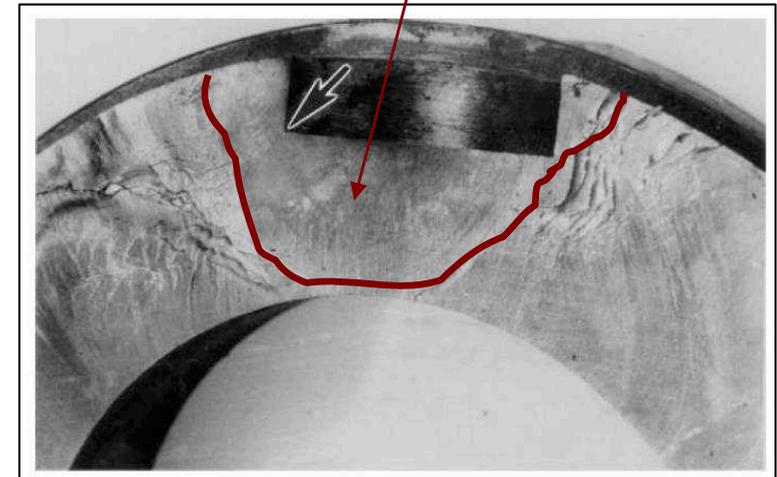


# GUASTI MECCANICI ALBERI ESEMPI

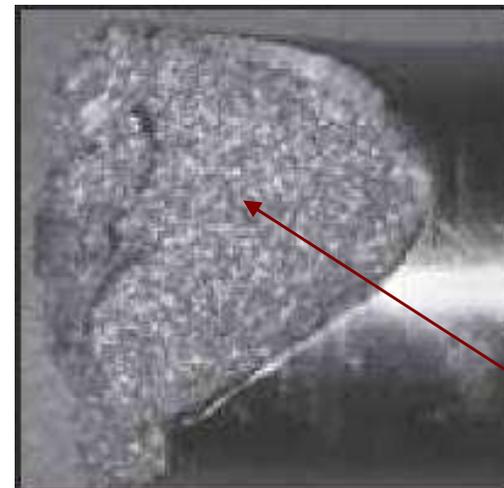
ROTTURA A FLESSO-TORSIONE A FATICA



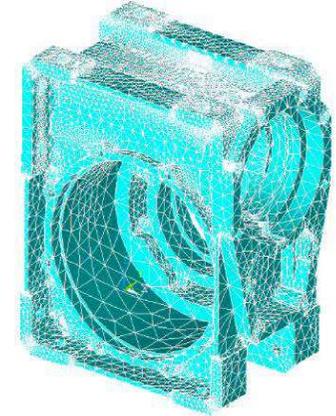
ZONA D'INNESCO ROTTURA



ROTTURA A FATICA A TORSIONE



ROTTURA IMPROVVISA A TORSIONE



- ▶ Rotture della carcassa, causate da :
  - Disegno non corretto , sezioni di spessore insufficiente o zone di concentrazione di sforzi;
  - Scelta errata , con fattore di servizio insufficiente;
  - Sovraccarichi improvvisi ed urti;
  - Carichi esterni troppo alti e tensionamenti troppo forzati;
  - Errori di installazione e posizionamento.

Perdite di lubrificante, causate da:

- Difetti di tenuta tra vari componenti della carcassa, a causa di lavorazioni con errori di planarità o rugosità eccessiva;
- Cedimento delle guarnizioni interposte o del materiale sigillante;
- Problemi agli anelli di tenuta in seguito a :
  - ✓ Rigature sull'albero
  - ✓ Diametro o rugosità errati
  - ✓ Velocità periferica troppo alta
  - ✓ Materiale degli anelli deteriorato, perché invecchiato o seccato a seguito troppo lungo periodo di inattività
  - ✓ Usura degli anelli



*Grazie per la Vostra attenzione,  
nella speranza di essere stati utili.*