

**Università degli Studi di Brescia**  
**Facoltà di Ingegneria Meccanica**



*XXVI Ciclo di Dottorato in Meccanica Applicata*

**Sistemi di automazione per applicazioni  
speciali: esempi di progettazione**

Tutor

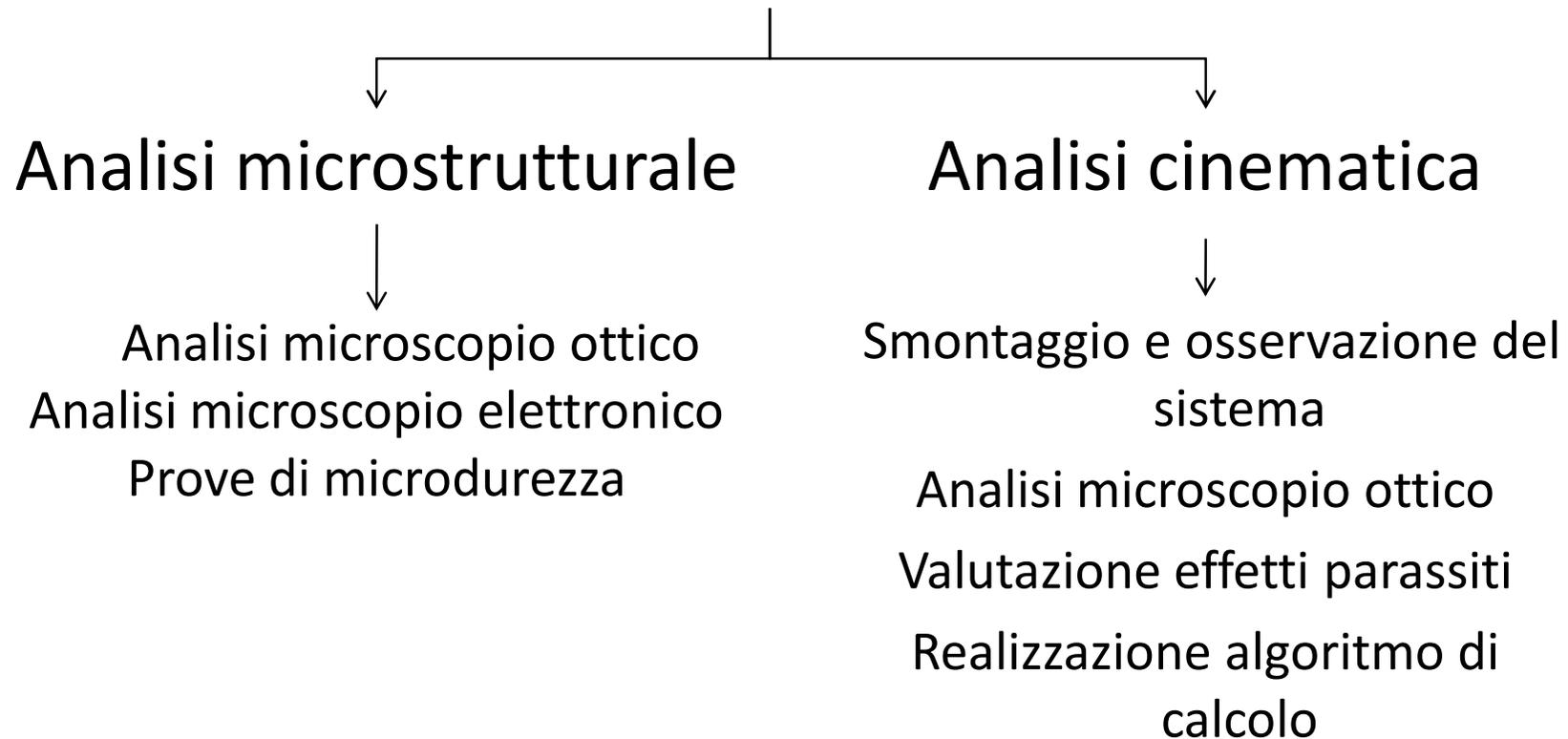
Prof. Faglia Rodolfo

Dottorando

Tomasoni Andrea Mat. 84036

# Sistemi oggetto di indagine

## Tre tipologie attuatori

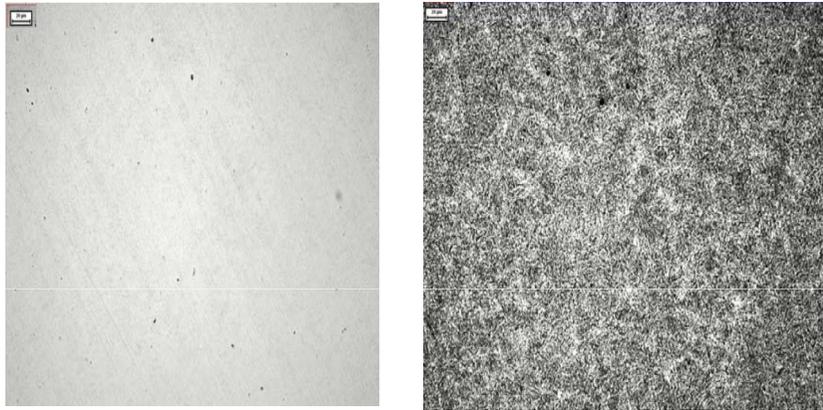


# Attuatore albero passante

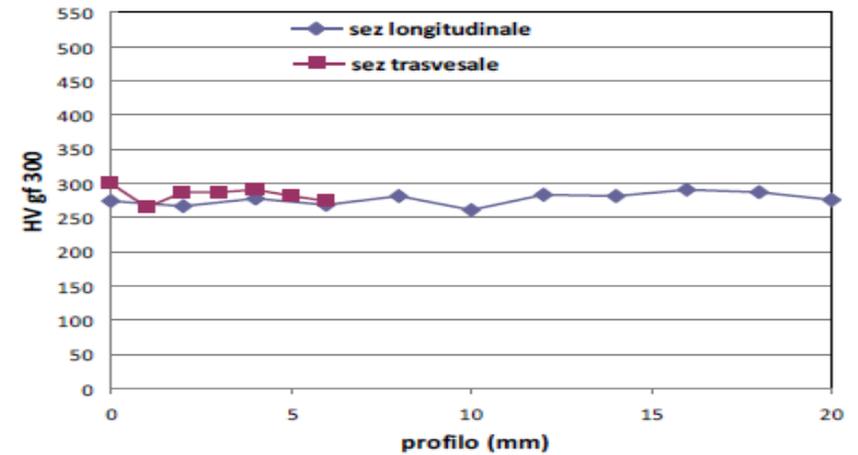
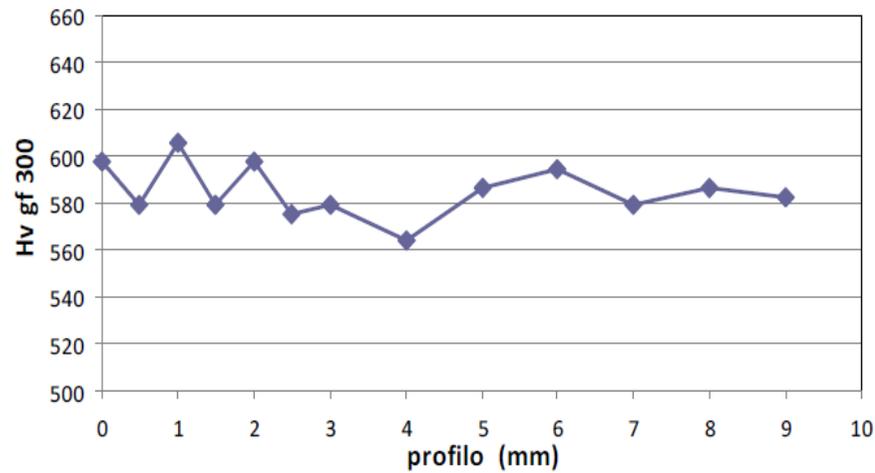
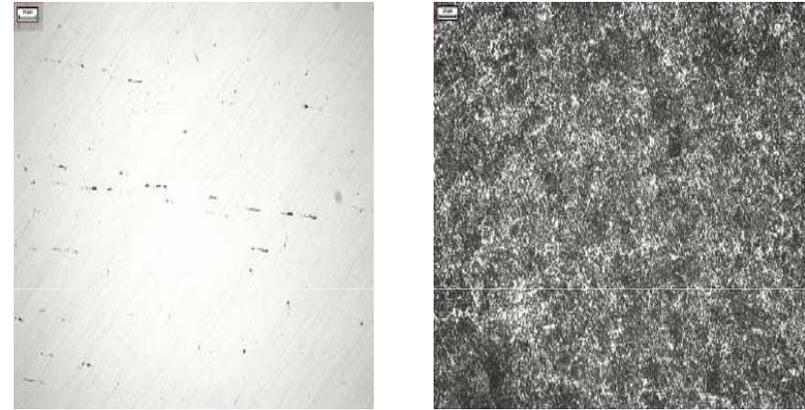


# Attuatore albero passante

## Ingranaggio



## Albero



# Attuatore albero passante

## Conclusioni

- Entrambi i campioni sono realizzati con acciaio da bonifica
- Possibile utilizzo di acciaio risolforato per la fabbricazione dell'albero.
- Trattamento di bonifica sull'intero pezzo.
- Nessun trattamento di indurimento o rivestimento superficiale.
- Trattamento di brunitura superficiale.

# Attuatore rotativo



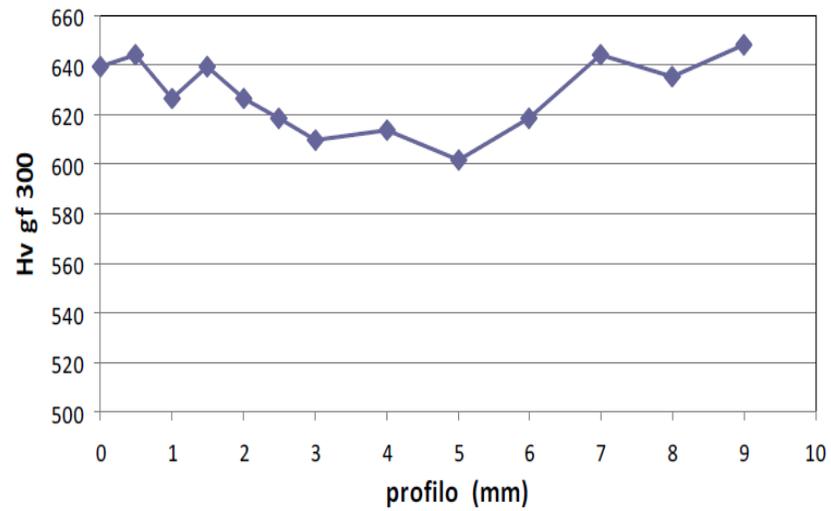
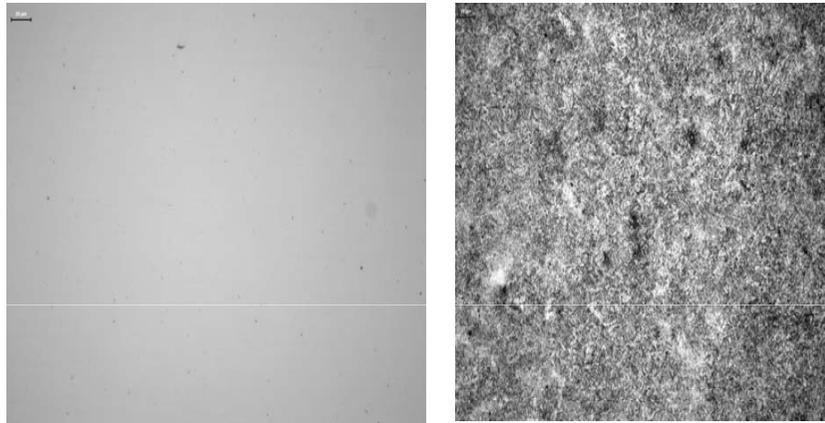
Ingranaggio

Albero

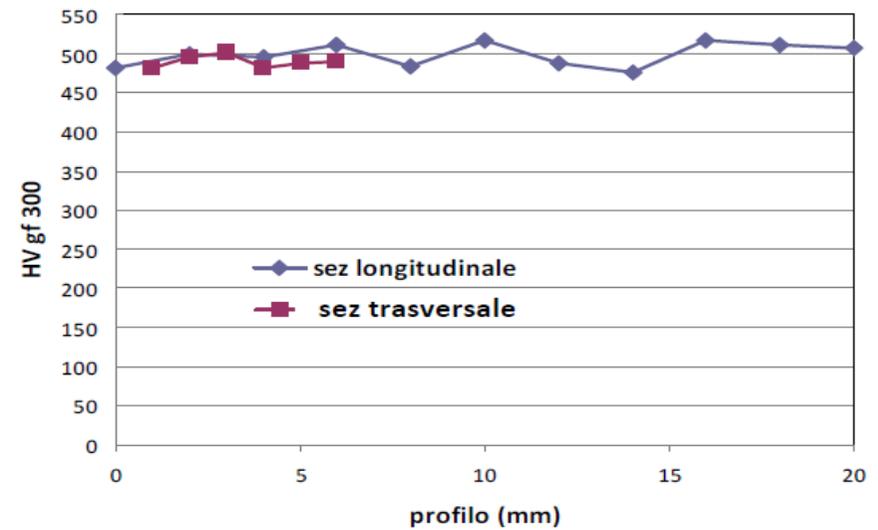
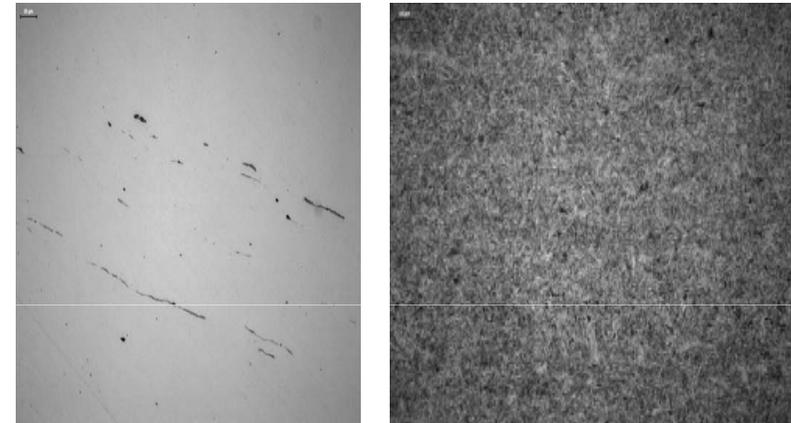


# Attuatore rotativo

## Ingranaggio



## Albero



# Attuatore rotativo

## Conclusioni

- Entrambi i campioni sono realizzati con acciaio da bonifica
- Possibile utilizzo di acciaio risolforato per la fabbricazione dell'albero.
- Trattamento di bonifica fino a cuore per entrambi i pezzi.
- Nessun trattamento di indurimento o rivestimento superficiale.
- Trattamento di brunitura superficiale.

# Attuatore lineare



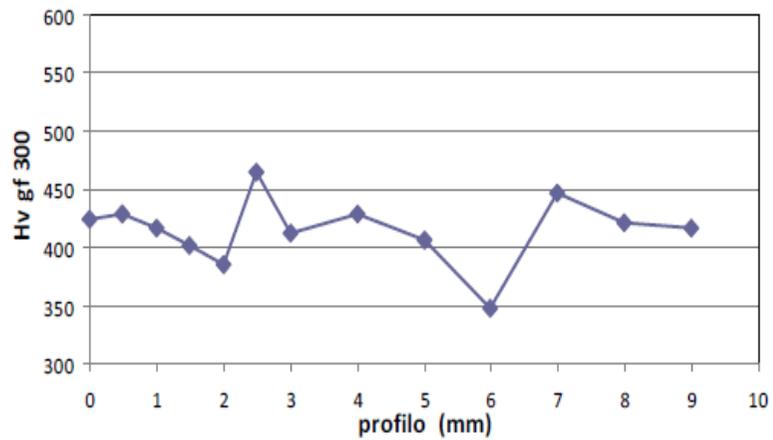
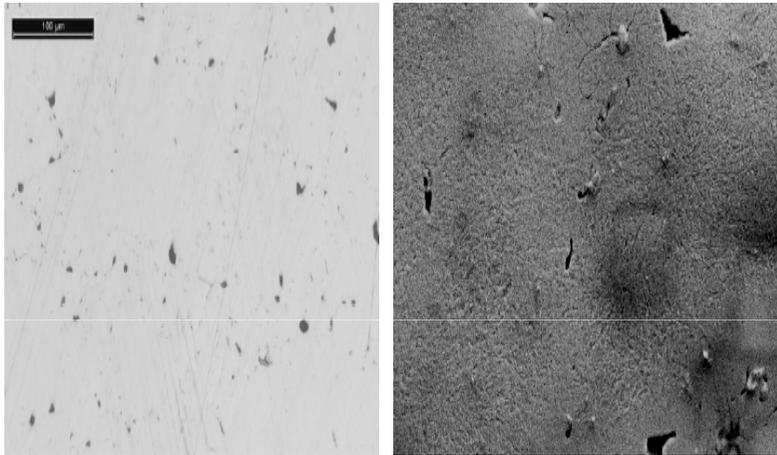
Ingranaggio

Albero

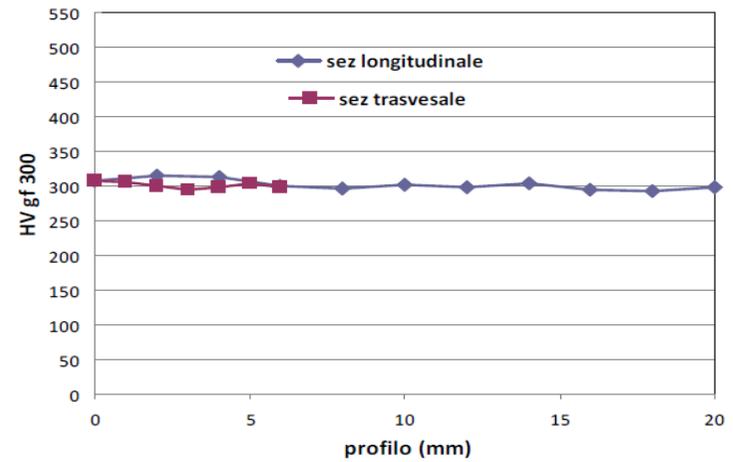
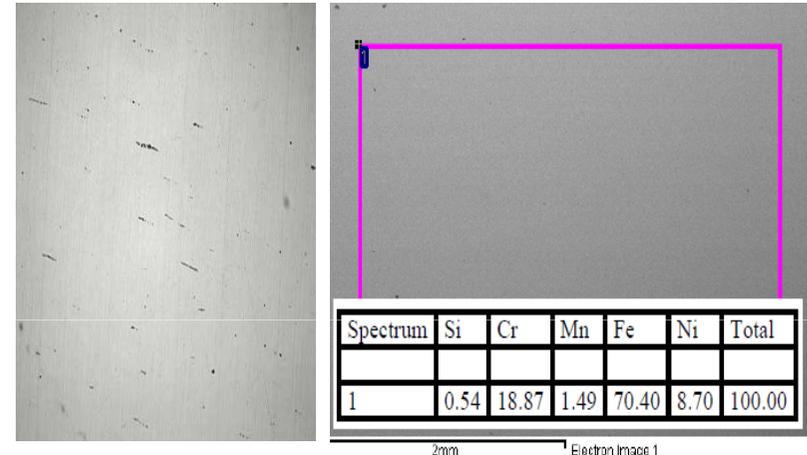


# Attuatore lineare

## Ingranaggio



## Albero



# Attuatore lineare

## Conclusioni

- Albero realizzato in acciaio inossidabile autentico.
- Ingranaggio sinterizzato.
- Nessun trattamento superficiale sull'albero.
- Possibile trattamento di bonifica fino a cuore sull'ingranaggio.

# Smontaggio e osservazione dei sistemi



- I riduttori non presentano soluzioni tecniche innovative
- Lavorazioni e montaggi particolarmente accurati
- Non si riscontrano forme speciali dei denti.

# RIGIDEZZA DI INGRANAMENTO

Modello J. H. Kuang e da Y. T. Yang: rigidezza di un singolo dente

$$K_i(r_i) = 10^9 * \left[ ((A_0 + A_1 x_i) + (A_2 + A_3 x_i) \frac{r_i - R_i}{(1 + x_i)^m}) \right]$$

$$A_0 = 3.867 + 1.612 \cdot Z_i - 0.02916 \cdot Z_i^2 + 0.0001553 \cdot Z_i^3$$

$$A_1 = 17.060 + 0.7289 \cdot Z_i - 0.01728 \cdot Z_i^2 + 0.00009993 \cdot Z_i^3$$

$$A_2 = 2.637 - 1.222 \cdot Z_i + 0.02217 \cdot Z_i^2 - 0.0001179 \cdot Z_i^3$$

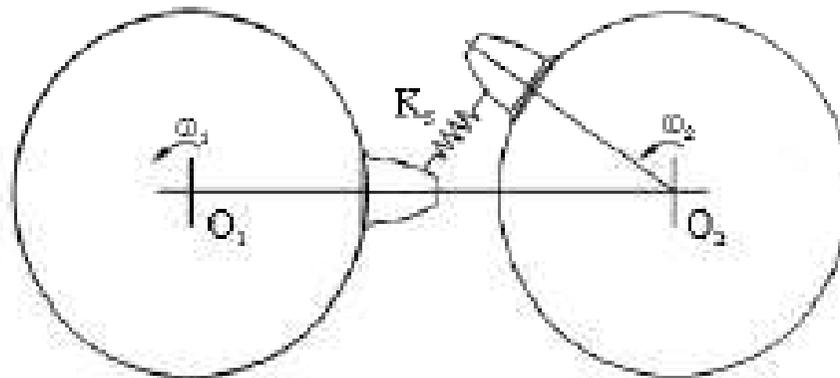
$$A_3 = -6.330 - 1.033 \cdot Z_i + 0.02068 \cdot Z_i^2 - 0.0001130 \cdot Z_i^3$$

$$-0.6 < x_i < 0.6$$

$$12 < z_i < 100$$

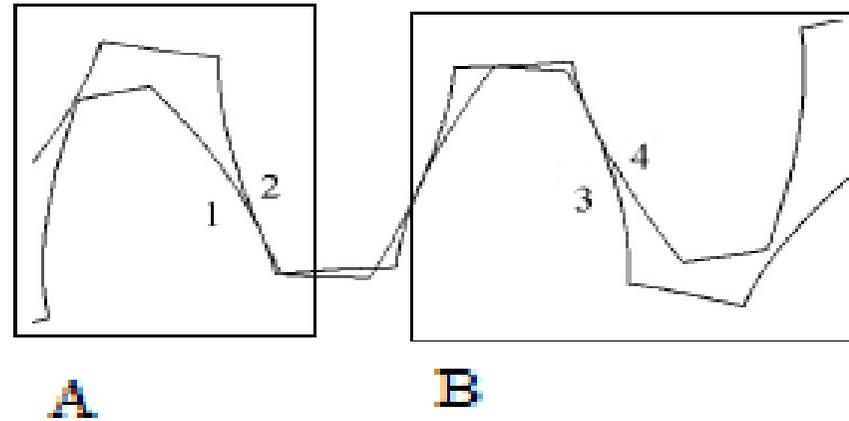
# RIGIDEZZA DI INGRANAMENTO

- Rigidezza della coppia di ruote



$$K_s = \frac{K_1(r_1)K_2(r_2)}{K_1(r_1) + K_2(r_2)}$$

# RIGIDEZZA DI INGRANAMENTO

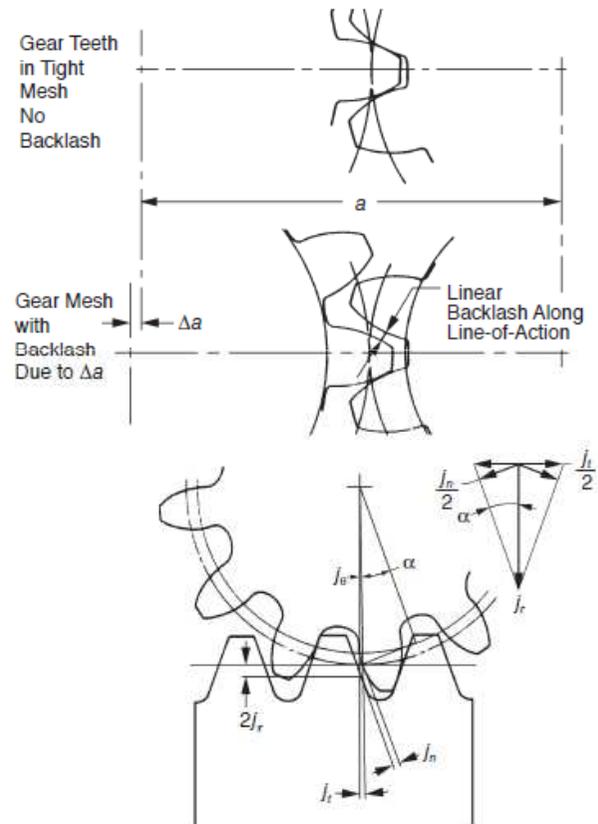


$$K_S^A = \frac{K_1^A(r_1^A)K_2^A(r_2^A)}{K_1^A(r_1^A) + K_2^A(r_2^A)}$$
$$K_S^B = \frac{K_1^B(r_1^B)K_2^B(r_2^B)}{K_1^B(r_1^B) + K_2^B(r_2^B)}$$

→  $K_m = K_S^A$

→  $K_m = K_S^A + K_S^B$

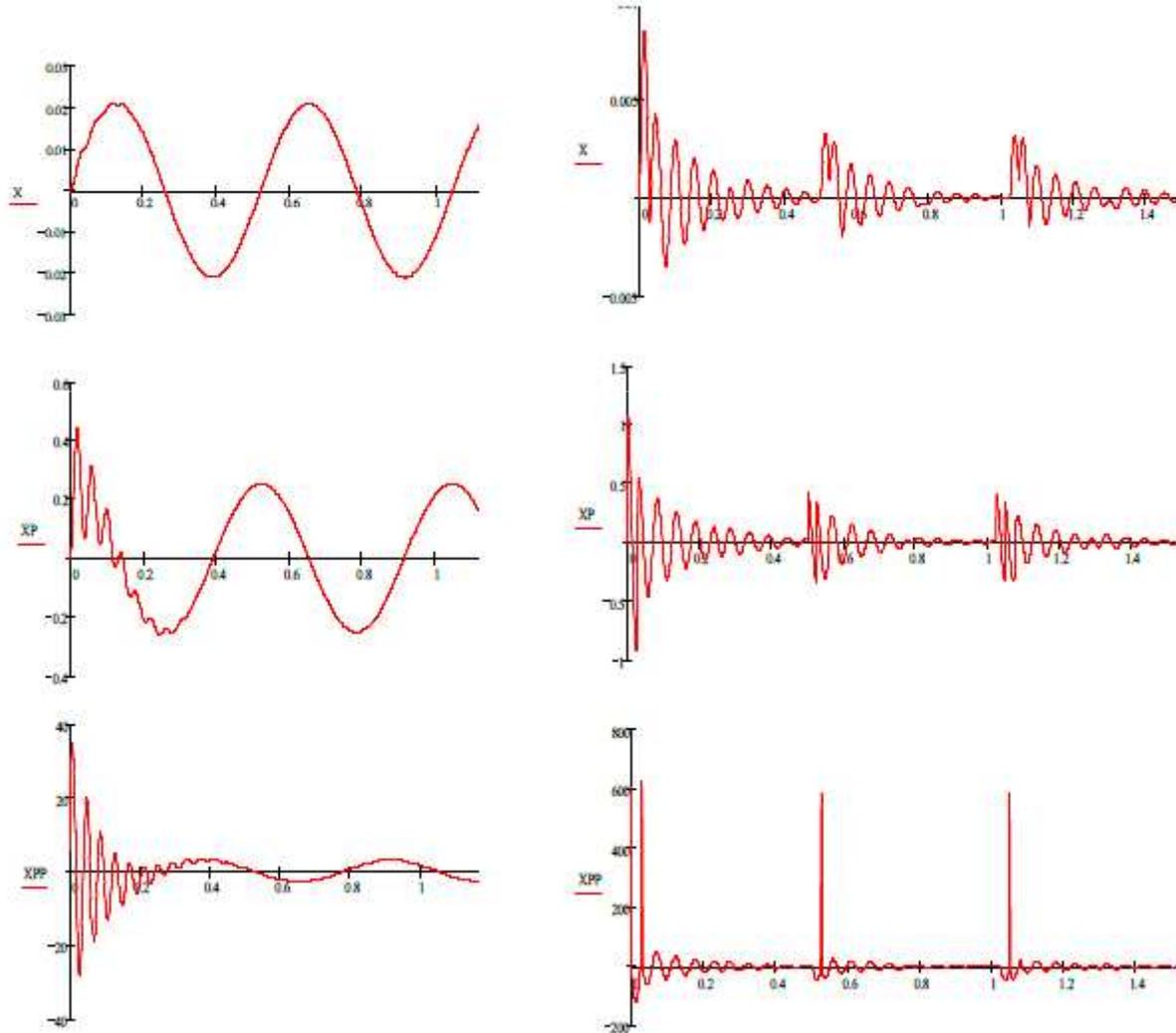
# Effetto dei giochi



$$j_n = 2 \Delta a \sin \alpha$$

No.	Type of Gear Meshes	The Relation between Circular Backlash $j_t$ and Normal Backlash $j_n$	The Relation between Circular Backlash $j_t$ and Center Backlash $j_r$
1	Spur Gear	$j_n = j_t \cos \alpha$	$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha}$
2	Helical Gear	$j_n = j_t \cos \alpha_n \cos \beta$	$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha_t}$
3	Straight Bevel Gear	$j_n = j_t \cos \alpha$	$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha \sin \delta}$
4	Spiral Bevel Gear	$j_n = j_t \cos \alpha_n \cos \beta_m$	$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha_t \sin \delta}$
5	Worm Worm Gear	$j_n = j_{n1} \cos \alpha_n \cos \gamma$ $j_n = j_{n2} \cos \alpha_n \cos \gamma$	$j_r = \frac{j_m}{2 \tan \alpha_x}$

# Effetto dei giochi



# Algoritmo di calcolo secondo UNI 8862

Verifica di resistenza a fatica flessionale alla base del dente

$$\sigma_H \leq \sigma_{HP}$$

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\varepsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 \cdot b} \cdot \frac{u+1}{u}} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}$$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot Z_N}{S_{Hmin}} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_N \cdot Z_V \cdot Z_W \cdot Z_X$$

# Algoritmo di calcolo secondo UNI 8862

- Verifica di resistenza a pitting per fatica a pressione di superficie

$$\sigma_F \leq \sigma_{FP}$$

$$\sigma_F = \frac{F_t}{m_n \cdot b} \cdot (K_A \cdot K_V \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta}) \cdot Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta$$

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{NT}}{S_{Fmin}} \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{RrelT} \cdot Y_X$$

# Attività di Correlatore

- Studio e progettazione di sistemi per inseguitori solari a 2 g.d.l. (tesi triennali)
- Studio e progettazione di sistemi innovativi, pneumatici ed elettrici, per la movimentazione di porte di autobus urbani (tesi specialistiche).

# Attività di consulenza

- Analisi agli elementi finiti per la verifica dello stato di sollecitazione di parti strutturali delle poltrone per aerei civili