Università degli Studi di Pisa

Facoltà di Ingegneria

Corso di dottorato di ricerca in Ingegneria Meccanica

III ciclo

TEMA

Sviluppo di tecniche generali per la generazione e l'analisi cinematica di ruote dentate

Dottorando: Ing. Marco Gabiccini

Tutori: Prof. Ing. Massimo Guiggiani

Ing. Francesca Di Puccio

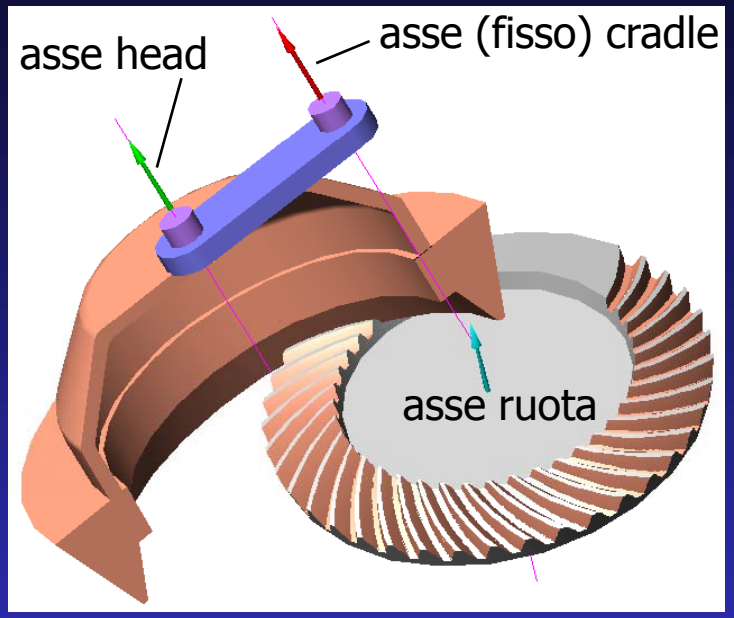
Attività di ricerca (1)

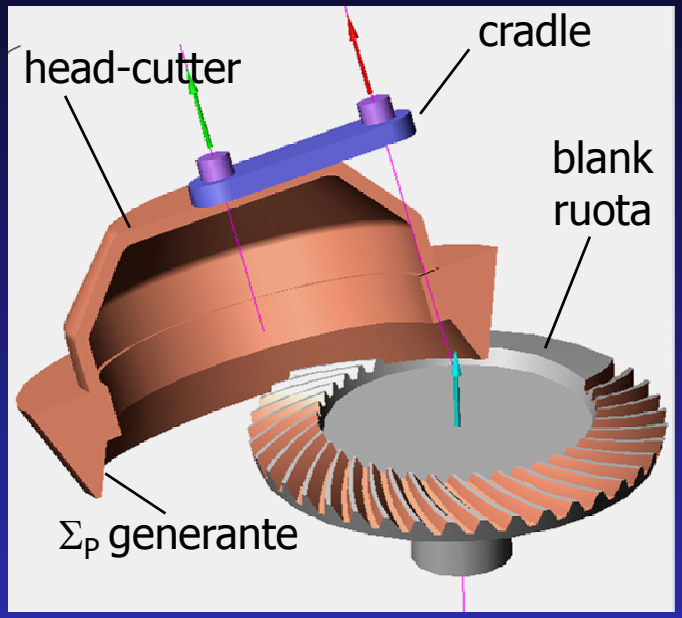
Indagine analitica di ingranaggi spiroconici [Gleason's Spiral Bevel]

- Generazione separata con Σ_P di sup. ruota Σ_2 e con Σ_F pignone Σ_1
- Determinazione dei settaggi della macchina utensile per il taglio di Σ_2 e Σ_1 *non coniugate* fra loro ma in contatto di punto [contatto più stabile]
- Applicazione della metodologia di *sintesi locale* delle superfici per avere andamento *di tipo parabolico* della funzione $\varphi_2(\varphi_1)$ in grado di assorbire errori di trasmissione derivanti da errori nel posizionamento relativo di Σ_2 e Σ_1 dove: φ_1 = rotazione del pignone; φ_2 = rotazione della ruota;
- Analisi statica del contatto di punto fra le superfici dei denti Σ_2 e Σ_1 [STCA] anche in presenza di errori di posizionamento relativo di traslazione [offset] e di orientazione [$\Delta\varepsilon_x$, $\Delta\varepsilon_y$]
- Contatto esteso: *set delle ellissi di contatto* a *elastic approach* δ_{el} imposto
  - nel punto di contatto M di sintesi locale [anche con metodi cinematici]
  - su tutto il *mesh path* [Eigensystem del differenziale mappa di Gauss]
- Implementazione di codice in Mathematica 4.2 che effettua quanto detto
- Implementazione di routines AutoLISP per simulazione taglio [3D] in AutoCAD

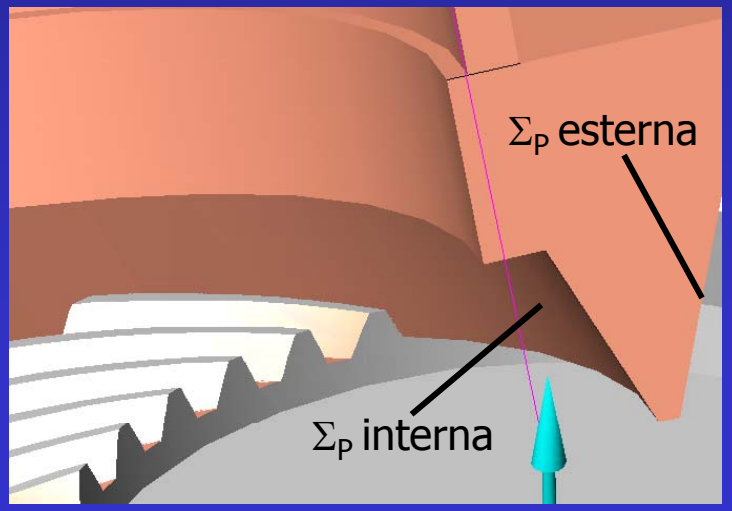
Cenni sul taglio di ingranaggi spiroconici

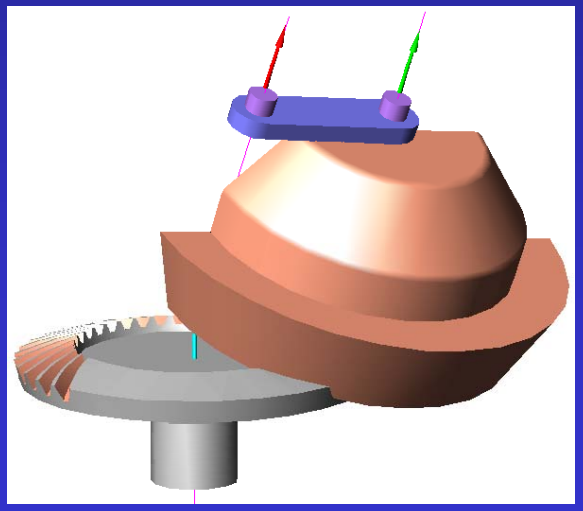
Taglio del dente ruota sup. Σ_2 mediante utensile Σ_P

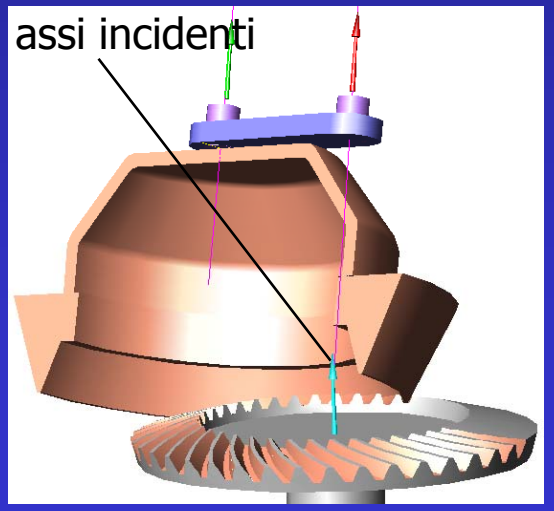




- Generazione con assi incidenti
- τ di taglio m_{P2}

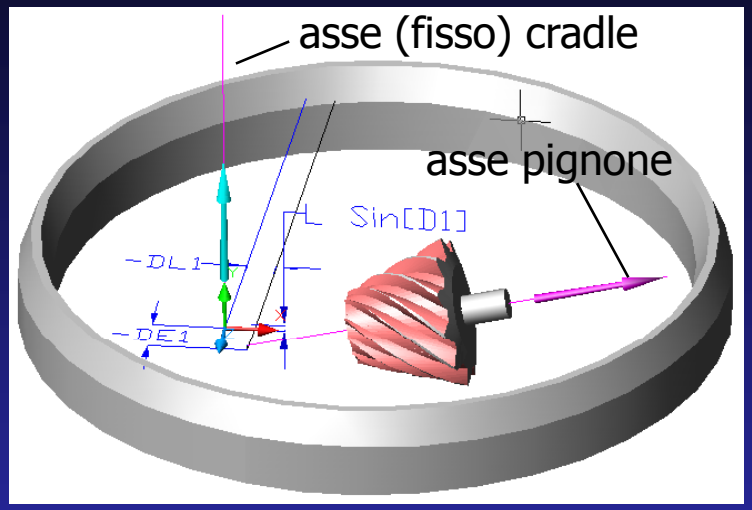


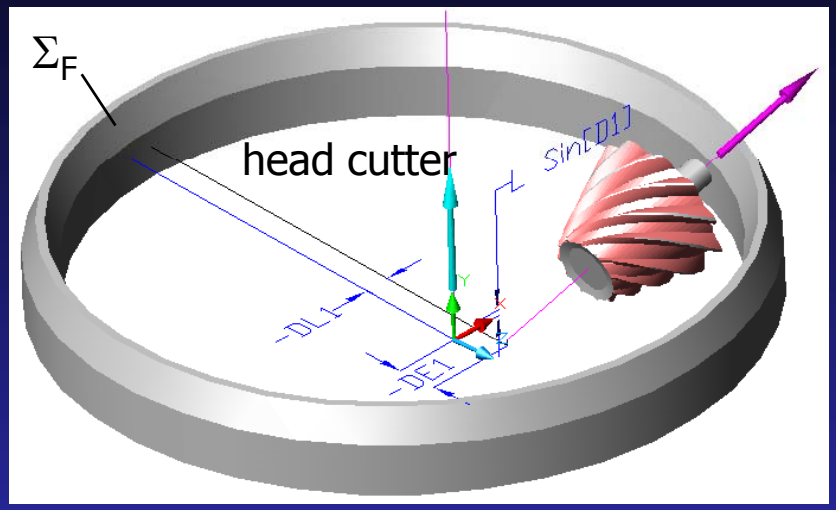


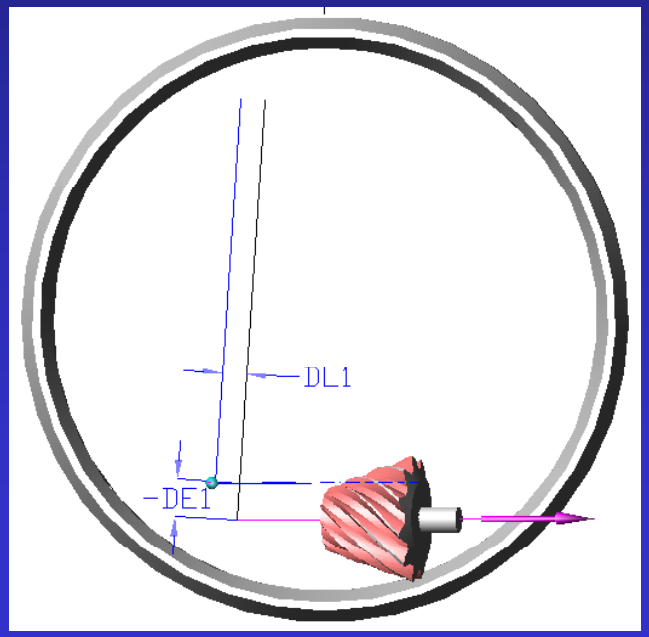


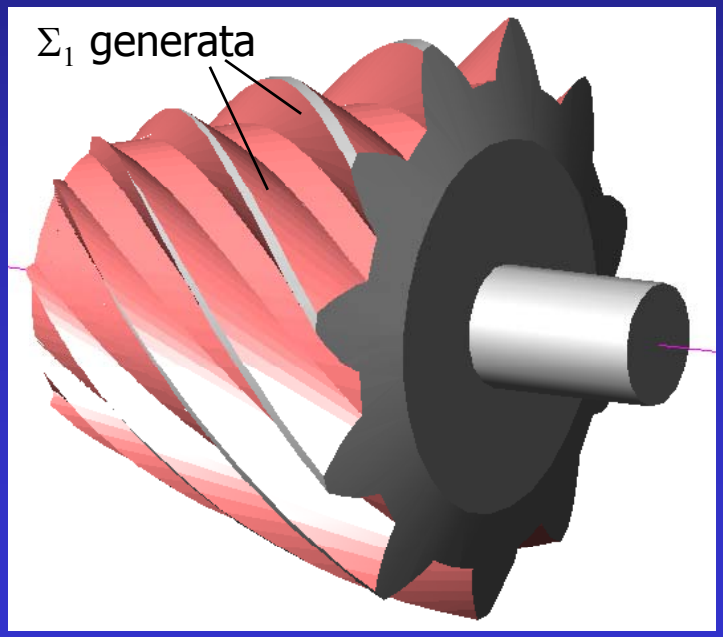
Cenni sul taglio di ingranaggi spiroconici

Taglio del dente pignone sup. Σ_1 mediante utensile Σ_F



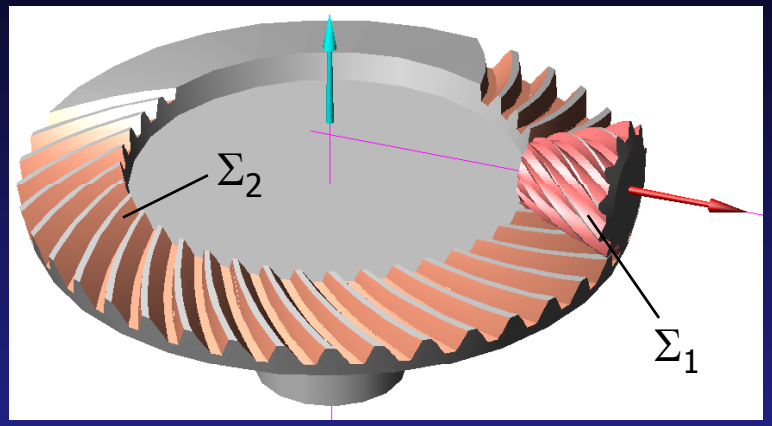


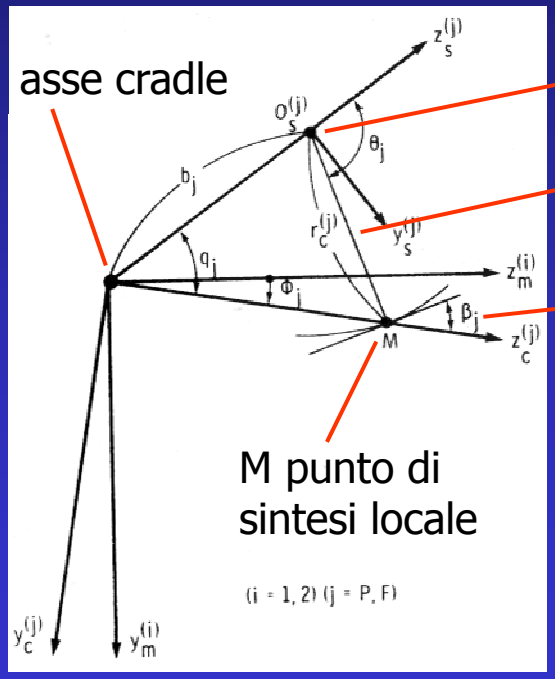




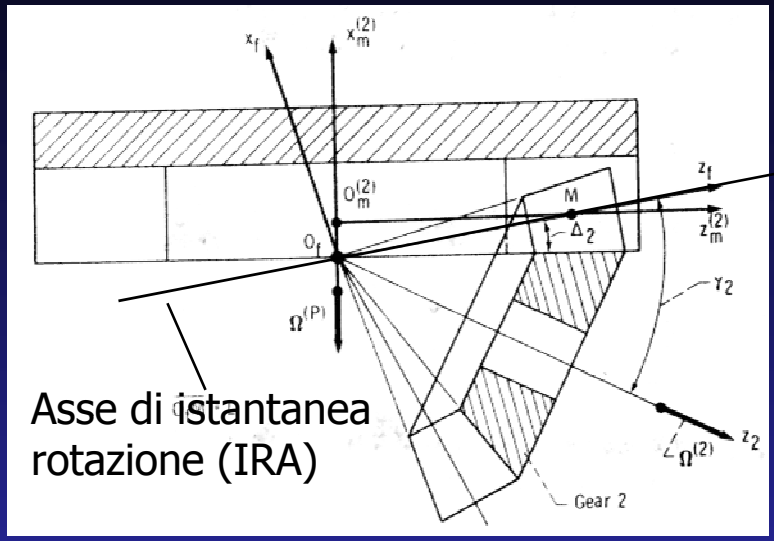
- Generazione con assi sghembi
- Settaggi di offset ΔE_1 e ΔL_1
- τ di taglio m_{F1}

Ingranaggi spiroconici: sintesi locale

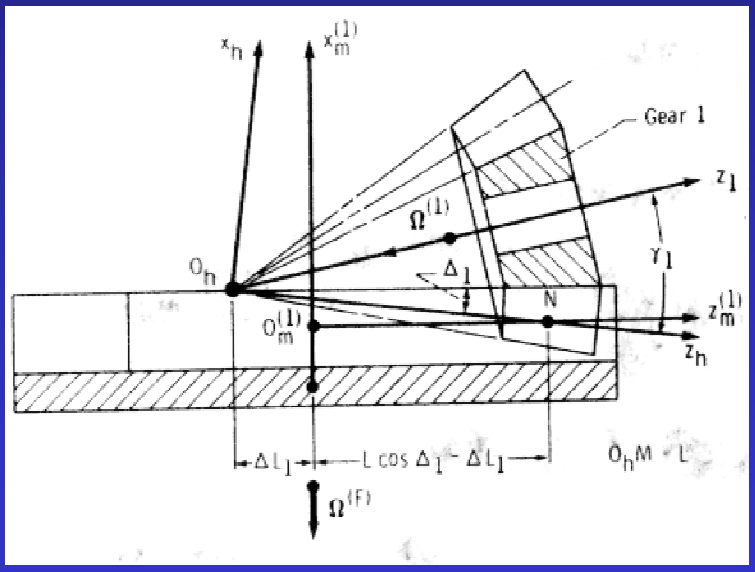




Vista dall'asse del cradle



Punto di sintesi locale M in generazione ruota Σ_2



Punto di sintesi locale N in generazione pign. Σ_1

Ingranaggi spiroconici: sintesi locale

Dati:

Σ_F utensile che genera il dente del pignone Σ_1

Σ_P utensile che genera il dente della ruota Σ_2

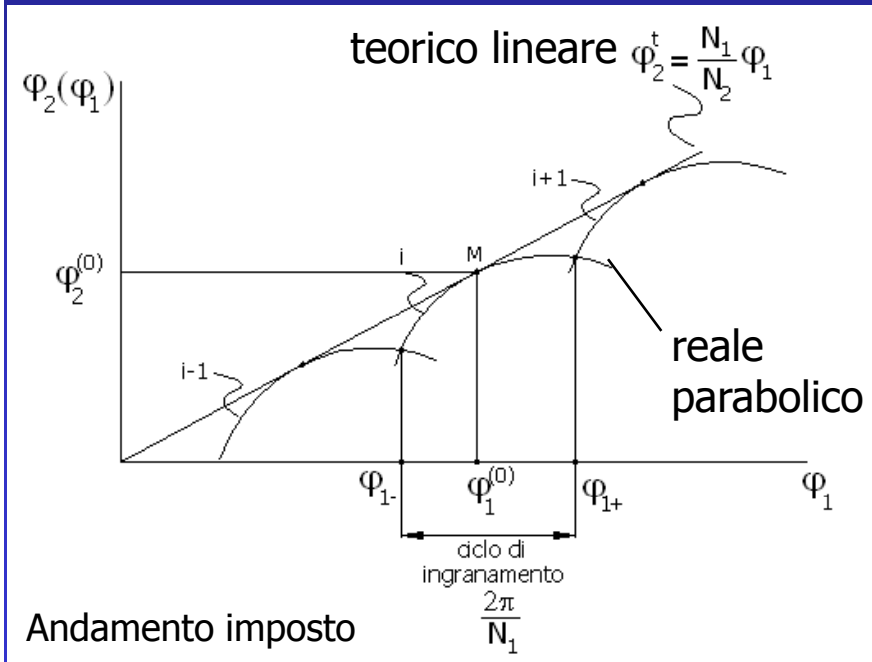
1° STEP. Scelta della collocazione di M (punto di sintesi) sull'IRA del moto rel. fra Σ_1 e Σ_2

2° STEP. Si impone la tangenza di Σ_F, Σ_1, Σ_P, Σ_2 nel punto M (punto di sintesi)

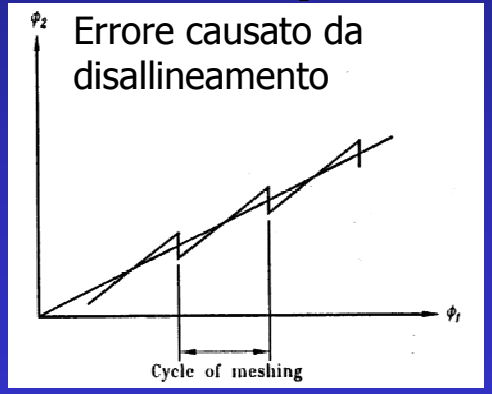
3° STEP. Si stabilisce un *andamento di tipo parabolico* di $\varphi_2(\varphi_1)$ scegliendo $m'_{21}(\varphi_1^{(0)}) < 0$

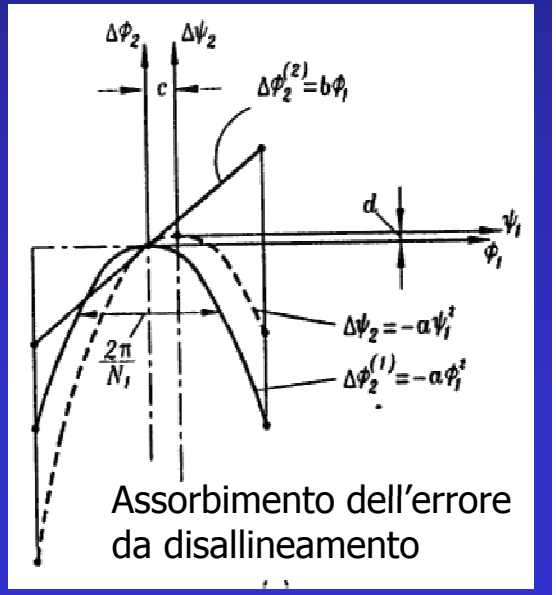
$$\varphi_2 - \varphi_2^{(0)} = F(\varphi_1 - \varphi_1^{(0)}) \approx \left.\frac{\partial F}{\partial \varphi_1}\right|_{\varphi_1^{(0)}} (\varphi_1 - \varphi_1^{(0)}) + \frac{1}{2}\left.\frac{\partial^2 F}{\partial \varphi_1^2}\right|_{\varphi_1^{(0)}} (\varphi_1 - \varphi_1^{(0)})^2 =$$

$$= m_{21}(\varphi_1^{(0)})(\varphi_1 - \varphi_1^{(0)}) + \frac{1}{2} m'_{21}(\varphi_1^{(0)})(\varphi_1 - \varphi_1^{(0)})^2 = \frac{N_1}{N_2}(\varphi_1 - \varphi_1^{(0)}) + \frac{1}{2} m'_{21}(\varphi_1^{(0)})(\varphi_1 - \varphi_1^{(0)})^2$$



Andamento imposto





Assorbimento dell'errore da disallineamento

Ingranaggi spiroconici: sintesi locale

4° STEP. Se Σ_F ha equazioni $r_F(u_F,\theta_F,\varphi_F)$ e Σ_P ha equazioni $r_P(u_P,\theta_P,\varphi_P)$ con $n_F(u_F,\theta_F,\varphi_F)$ e $n_P(u_P,\theta_P,\varphi_P)$ versori normali si pongono le condizioni

$$\left.\begin{aligned} f_{P2} &= n_P \cdot v^{(P2)} = 0 \\ f_{F1} &= n_F \cdot v^{(F1)} = 0 \end{aligned}\right\}$$ eq. of meshing di generazione (sup. coniugate)

$$\left.\begin{aligned} f_{12} &= n_1 \cdot v^{(12)} = 0 \end{aligned}\right\}$$ eq. of meshing di ingranamento (sup. non coniugate)

$$\frac{df_{P2}}{dt} = \frac{d}{dt}(n_P \cdot v^{(P2)}) = 0$$

$$\frac{df_{F1}}{dt} = \frac{d}{dt}(n_F \cdot v^{(F1)}) = 0$$

$$\frac{df_{12}}{dt} = \frac{d}{dt}(n_1 \cdot v^{(12)}) = 0$$

in cui $m'_{21}(\varphi_1^{(0)}) = a < 0$ assegnato

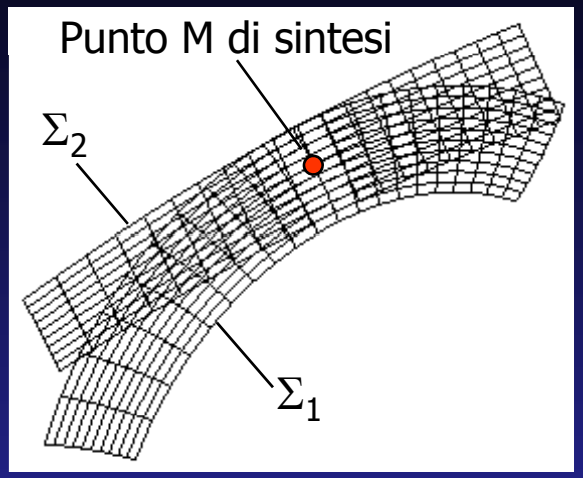
t, tempo

Queste permettono di determinare i parametri di settaggio ΔE_1 e ΔL_1 della macchina utensile per il taglio del pignone tali da realizzare la funzione di "trasferimento" $\varphi_2(\varphi_1)$ cercata

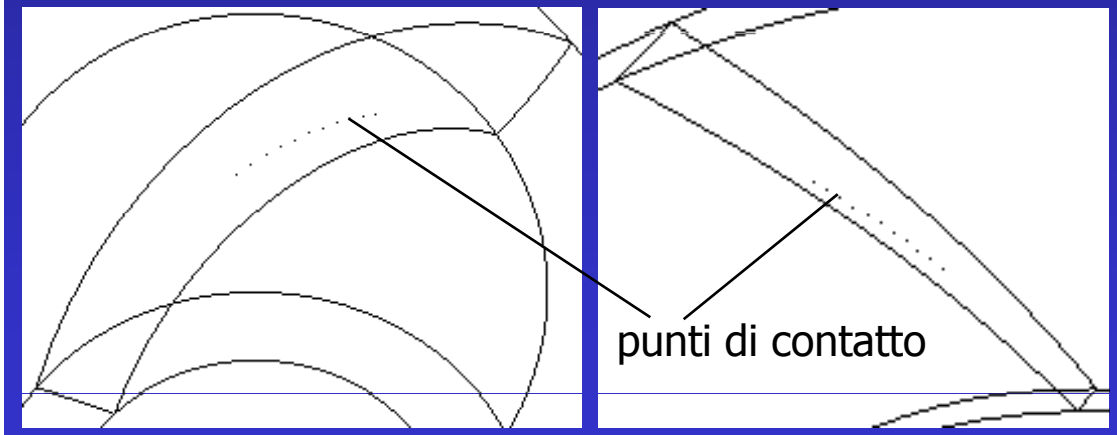
Ingranaggi spiroconici: risultati del codice

Dati i parametri caratteristici della trasmissione viene effettuata la generazione di ruota e pignone e le superfici in forma analitica sono a disposizione per

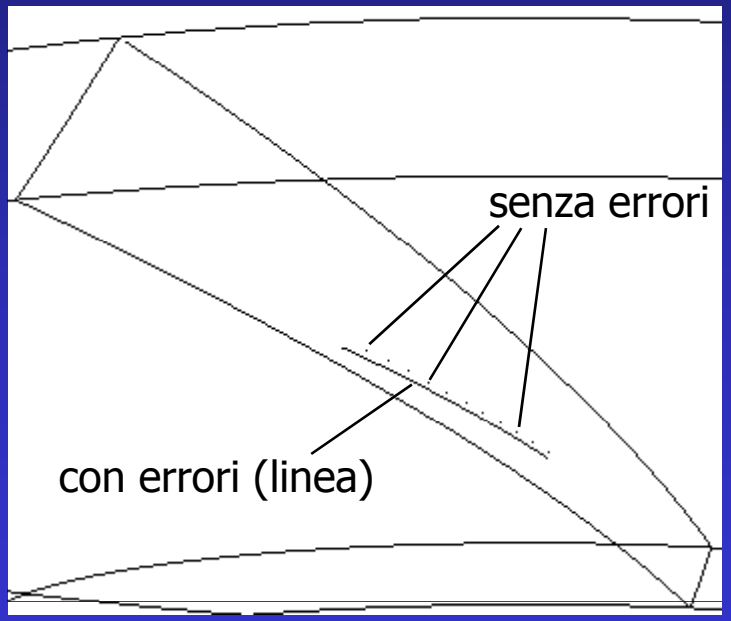
1. Visualizzazione
2. Esportazione di files di punti [.dat]
3. Creazione già in Mathematica di mesh controllata*
3. Confronto con rilievi sperimentali
4. Analisi statica del contatto (STCA)
   - in assenza di errori di posizionamento
   - in presenza di errori di posizionamento



Visualizzazione delle superfici



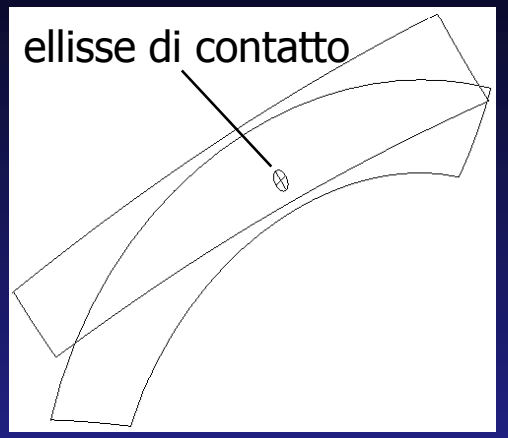
STCA su ruota e pignone
assenza di errori di posizionamento



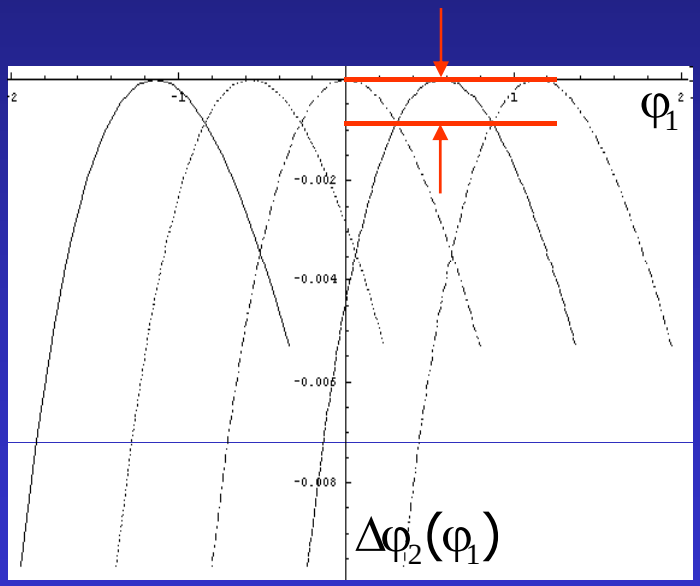
STCA [offset nullo, ε_x=0.5°, ε_y=0.25°]

Ingranaggi spiroconici: risultati del codice

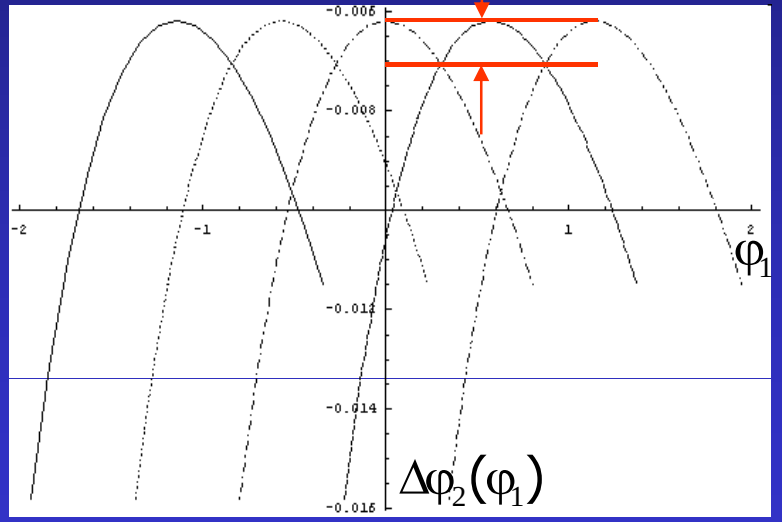
5. Motion graph $\Delta\varphi_2(\varphi_1) = \varphi_2(\varphi_1) - \frac{N_1}{N_2}\varphi_1$
   - assenza di errori
   - presenza di errori
6. STCA influenzata dal motion graph (leading range)
7. Analisi del contatto esteso (ellissi di contatto)



Contatto esteso



Motion graph, assenza errori



Motion graph, presenza di errori

Ingranaggi spiroconici: prospettive future

Applicazione di sintesi locale "avanzata" al fine di

1. Imporre localmente le curvature delle superfici controllando la geometria degli utensili dell'head cutter
2. Controllare l'orientazione delle ellissi di contatto Hertziane rispetto alla velocità relativa del punto di contatto sulla superficie del dente
3. Influenzare mediante qualche parametro (tipo modified roll) il percorso di ingranamento sul dente
4. Produrre come output del codice un file batch completo per calcolo agli EF su codice dedicato (Ansys)
5. Produrre come output del codice un file batch (tipo AutoLISP per AutoCAD o Pro-Program per Pro-Engineer) completo di geometria utensile, sbozzato, settaggi macchina utensile e moto relativo per simulazione su CAD 3D del processo di taglio [versione primitiva utilizzata per generare le figure]
   - debug del codice
   - visualizzazione migliore
6. Ottimizzare le routine numeriche per renderle più veloci e stabili [es. STCA]

Attività di ricerca (2)

Sviluppo di un approccio geometrico alla teoria dell'ingranamento

Caratteristiche:

– Non si introducono da subito i sistemi di riferimento

– Operazioni effettuate su vettori e non sulle loro componenti in qualche S_i

– Definizione di operatore rotazione e sue proprietà [di centrale importanza]

Applicazioni: la teoria generale è stata specializzata per differenti tipologie di trasmissioni, da Face Gear diritto/elicoidale con assi sghembi/incidenti a ruote cilindriche a denti diritti/elicoidali assi paralleli [cfr. Articolo Aimeta 2003]

Vantaggi (auspicati):

– Compattazione della teoria dell'ingranamento

– Risultati più generali e "forse" più chiari

– Determinazione più veloce e sistematica di

- equation of meshing $f(\xi,\theta,\varphi)=0$
- superficie inviluppo e dei contatti Σ_g e Σ_f
- curve inviluppo su superficie generante Σ_e
- condizione di sottotaglio
- curvature principali del contatto

Attività parallele

Didattica

Supporto alla didattica nell'ambito del Corso di Meccanica Applicata alle Macchine, del Prof. M. Guiggiani, a.a. 2002/2003, II periodo.

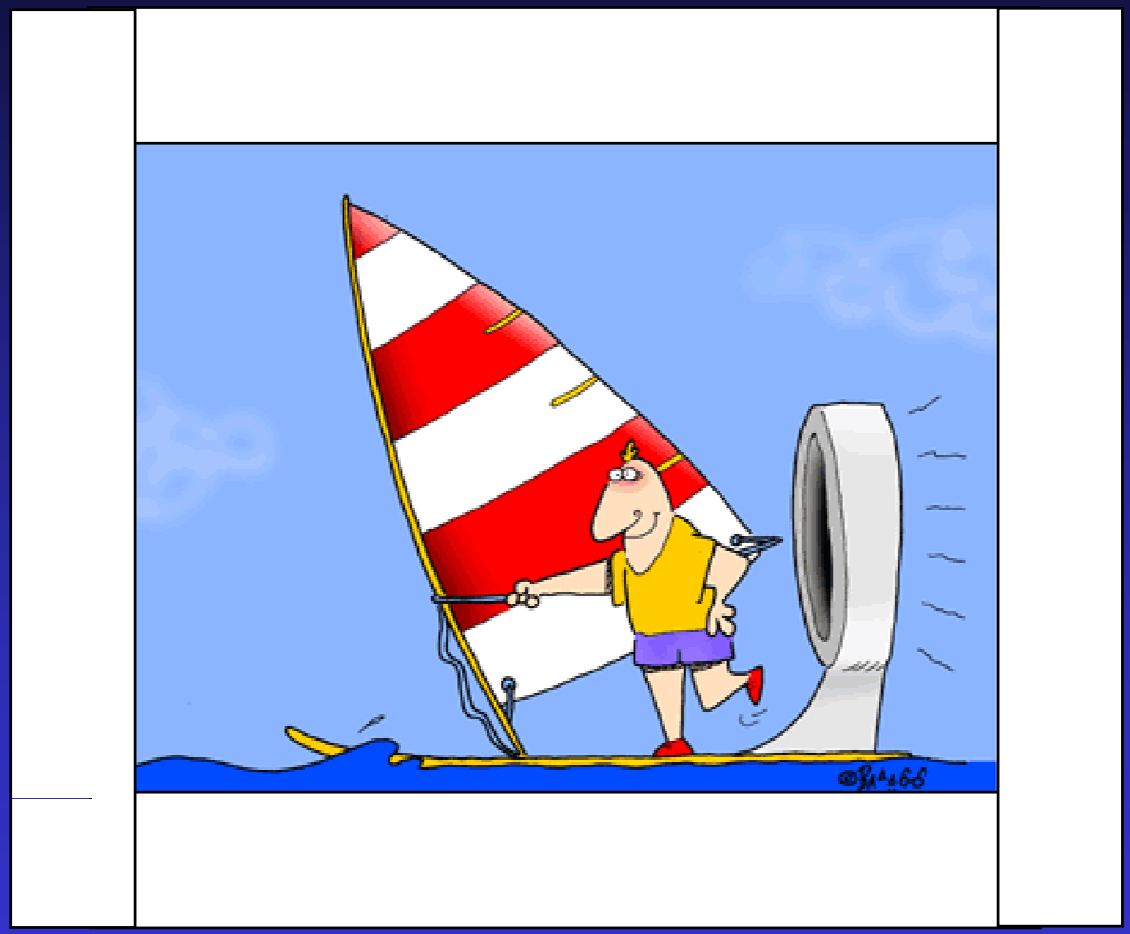
Corsi seguiti

1. Corso su "Dinamica non lineare ed aleatoria", Prof. C. Carmignani, Ing. F. Frendo
2. Corso su "Design of Experiments", Dott. Gubinelli, Dott. Barsanti
3. Seminario "How to write a technical paper", Prof. Abdel Malek
4. Parziale corso di "Metodi matematici per l'ingegneria", Prof. P. Ghelardoni

Corsi in programma

1. "Gear Noise" Basic, Prof. Houser, Singh, Ohio State Univ., 09-2003
2. "Gear Noise" Advanced, Prof. Houser, Singh, Ohio State Univ., 09-2003

Stage all'estero

Gear Noise and Gear Research Lab., Ohio State Univ. Settembre 2003-Luglio 2004

Buone Vancanze…