



 **LICAT**
RACKS & GEARS

a member of FEDERIK GROUP



3

Benvenuto e introduzione

A cura di Paolo AGOSTEO

CEO LICAT

6

LICAT, Partner a valore aggiunto

A cura di Davide CUCCHI

COO LICAT

19

Macro e Micro-modifiche della dentatura (CROWNING e TIP RELIEF)

A cura di Prof. Carlo ROSSO

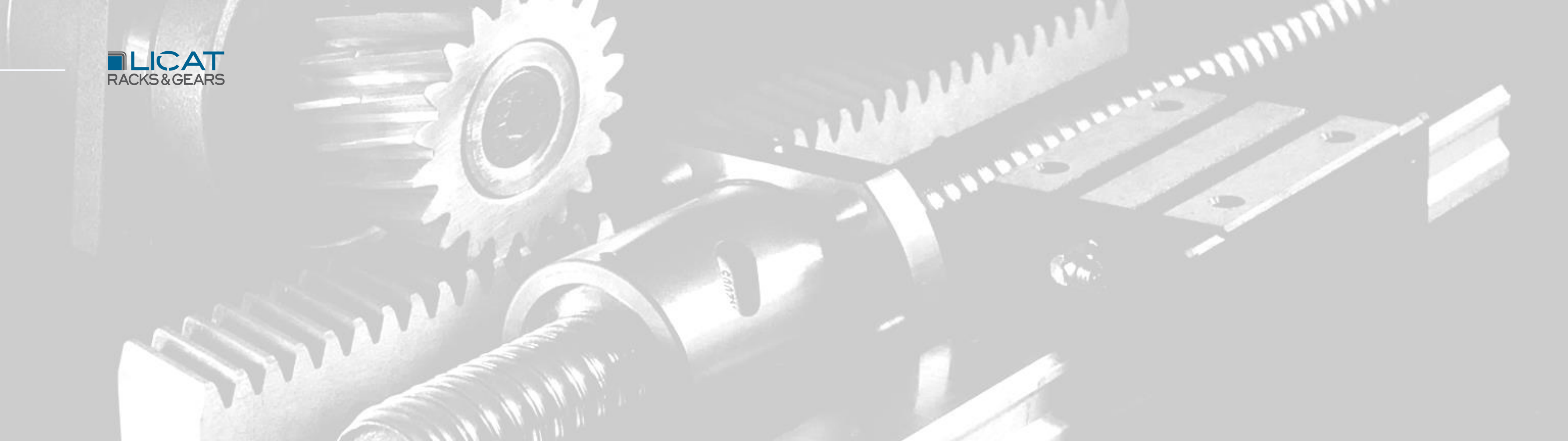
Potenzialità del SW GEDYTRASS

A cura di Ing. Fabio BRUZZONE

52

Realizzabilità della teoria su impianti di ultima generazione e presentazione dei risultati

A cura di Ing. Francesco CILIBERTI



Benvenuto e introduzione

Paolo AGOSTEO
CEO LICAT



Un po' di storia

LICAT nasce a Torino nell'anno 1961, ad opera del fondatore Vittorio Apicella, nel rinomato quartiere industriale di "Borgo San Paolo". Fornendo le maggiori aziende metalmeccaniche nazionali, si specializza nella costruzione d'organi di trasmissione di precisione e, particolarmente, nella lavorazione d'ingranaggi rettificati.

Il rapido sviluppo degli anni successivi impone alla LICAT, nel 1967, il trasferimento del proprio stabilimento ormai inadeguato in un locale più ampio della nuova zona industriale di Grugliasco, alle porte di Torino, e in seguito, nel 1974, la costituzione di un secondo stabilimento ad Alpignano, dedicato prevalentemente alla produzione di cremagliere rettificate ed ingranaggi di grandi dimensioni. Nel 1996, inoltre, le due unità produttive sono accorpate in un'unica più ampia sede a Rivoli, e nel 2009, infine, tutte le attività sono trasferite in un nuovo sito di proprietà, ubicato nel Comune di Orbassano e composto di due unità produttive comunicanti, l'una appositamente dedicata alla produzione di sistemi standard di trasmissione lineare di alta precisione, l'altra dedicata specificatamente alle lavorazioni speciali a disegno.

Tale organizzazione, consente alla LICAT di ampliare e aggiornare il proprio parco macchinari / attrezzature, con un incremento significativo della capacità produttiva e del livello qualitativo delle forniture.

2022: l'anno della svolta

Nel 2022, la totalità del pacchetto azionario viene ceduto alla Holding di riferimento del Gruppo Romani Components di Milano, leader nella trasmissione lineare e concessionario/distributore di oltre 15 marchi primari per il mercato italiano ed europeo. Questa sinergia consente alla LICAT di sviluppare ulteriormente la propria capacità produttiva di prodotti a catalogo e di aumentare la propria presenza sul territorio, grazie ad una presenza più capillare garantita dalla rete vendita di Romani Components.





LICAT, Partner a valore aggiunto

Davide CUCCHI

COO LICAT

Oltre 40 anni di esperienza nel campo della trasmissione di potenza.

Responsabile della LICAT Academy

Presidente de "La vita Vale" OdV, associazione riconosciuta impegnata nella sicurezza stradale

Questo cambio di passo ha permesso a LICAT di aumentare e aggiornare i macchinari, le attrezzature e la capacità produttiva. LICAT è particolarmente competitiva nella fornitura d'ingranaggi, riduttori, cremagliere, sistemi completi per la trasmissione lineare di alta precisione, accoppiamenti vite senza fine – ruota elicoidale, alberi scanalati, settori dentati, giunti e innesti frontali, in piccole serie o in quantità unitarie.

Di norma, LICAT evade le ordinazioni dei propri Clienti in fornitura completa, ovvero con materiali, trattamenti termici, lavorazioni e collaudi.

Sono inoltre espletate ordinazioni di conto lavorazione, sia per singole operazioni di ciclo sia per lavorazioni complete, con materiali forniti dalla Committenza.

Servizi a valore aggiunto



Certificazioni a valore aggiunto

LICAT opera abitualmente con i maggiori Enti di Classifica internazionali quali REGISTRO ITALIANO NAVALE, LLOYD’S REGISTER OF SHIPPING, AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, MARINA MILITARE, ESERCITO ITALIANO, FERROVIE DELLO STATO, ecc. e segue direttamente i collaudi ed i controlli distruttivi/non distruttivi con personale interno qualificato 2° livello SNT-TC-1A secondo la normativa ASNT.

LICAT, consapevole dell’importanza della qualità nello svolgimento delle proprie attività produttive, applica il proprio Manuale di Gestione Integrato Qualità – Ambiente – Sicurezza e opera con un Sistema di Gestione Integrato Qualità Ambiente Sicurezza certificato secondo le norme ISO 9001:2015, EN 9100:2018, ISO14001:2015 e ISO45001:2018.



CERTIFICATO N. 21136/10/S
CERTIFICATE No.

SI CERTIFICA CHE IL SISTEMA DI GESTIONE PER LA QUALITÀ DI
IT IS HEREBY CERTIFIED THAT THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF

LICAT S.R.L.

VIA DE GASPERI, 146 20017 RHO (MI) ITALIA
NELLE SEGUENTI UNITÀ OPERATIVE / IN THE FOLLOWING OPERATIONAL UNITS

VIA DON ETTORE GAIA, 19 10043 ORBASSANO (TO) ITALIA

È CONFORME ALLA NORMA / IS IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD
ISO 9001:2015

PER I SEGUENTI CAMPI DI ATTIVITÀ / FOR THE FOLLOWING FIELD(S) OF ACTIVITIES

PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI INGRANAGGI DI PRECISIONE E ORGANI DI TRASMISSIONE.

IAF:17

DESIGN AND MANUFACTURING OF HIGH PRECISION GEAR SYSTEM AND TRANSMISSION PARTS.

La validità del presente certificato è subordinata a sorveglianza periodica annuale / semestrale ed al riesame completo del sistema di gestione con periodicità triennale
The validity of this certificate is dependent on an annual / six monthly audit and on a complete review, every three years, of the management system
L'uso e la validità del presente certificato sono soggetti al rispetto del documento RINA: Regolamento per la Certificazione di Sistemi di Gestione per la Qualità
The use and validity of this certificate are subject to compliance with the RINA document: Rules for the Certification of Quality Management Systems

Prima emissione First Issue	19.04.2010	Data decisione di rinnovo Renewal decision date	01.06.2022
Data scadenza Expiry Date	09.06.2025	Data revisione Revision date	01.06.2022

Davidè Torti
Turin Management System Certification, Head

SGQ N° 002 A
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

ACCREDITIA
SGQ N° 002 A
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

CISQ
www.cisq.com

CISQ is a member of
IQNet
The International Certification Network
www.iqnet-certification.com

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope



CERTIFICATO N. EMS-8651/S
CERTIFICATE No.

SI CERTIFICA CHE IL SISTEMA DI GESTIONE AMBIENTALE DI
IT IS HEREBY CERTIFIED THAT THE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM OF

LICAT S.R.L.

VIA DE GASPERI, 146 20017 Rho (MI) ITALIA
NELLE SEGUENTI UNITÀ OPERATIVE / IN THE FOLLOWING OPERATIONAL UNITS

VIA DON ETTORE GAIA, 19 10043 Orbassano (TO) ITALIA

È CONFORME ALLA NORMA / IS IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD
ISO 14001:2015

E AL REGOLAMENTO TECNICO ACCREDIA RT-06 APPLICABILE IN ITALIA
PER I SEGUENTI CAMPI DI ATTIVITÀ / FOR THE FOLLOWING FIELD(S) OF ACTIVITIES

PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI INGRANAGGI DI PRECISIONE E ORGANI DI TRASMISSIONE.

IAF:17

DESIGN AND PRODUCTION OF PRECISION GEAR SYSTEMS AND TRANSMISSION PARTS.

La validità del presente certificato è subordinata a sorveglianza periodica annuale / semestrale ed al riesame completo del sistema di gestione con periodicità triennale
The validity of this certificate is dependent on an annual / six monthly audit and on a complete review, every three years, of the management system
L'uso e la validità del presente certificato sono soggetti al rispetto del documento RINA: Regolamento per la Certificazione di Sistemi di Gestione per la Qualità
The use and validity of this certificate are subject to compliance with the RINA document: Rules for the Certification of Quality Management Systems

Prima emissione First Issue	09.06.2021	Data decisione di rinnovo Renewal decision date	28.05.2024
Data scadenza Expiry Date	08.06.2027	Data revisione Revision date	28.05.2024

Luca Borromeo
Turin Management System Certification, Head

SGA N° 002 D
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

ACCREDITIA
SGA N° 002 D
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

CISQ
www.cisq.com

CISQ is a member of
IQNet
The International Certification Network
www.iqnet-certification.com

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope



CERTIFICATO N. AS/136/16/S
CERTIFICATE No.

SI CERTIFICA CHE IL SISTEMA DI GESTIONE PER LA QUALITÀ DI
IT IS HEREBY CERTIFIED THAT THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF

LICAT S.R.L.

VIA DE GASPERI, 146 20017 RHO (MI) ITALIA
NELLE SEGUENTI UNITÀ OPERATIVE / IN THE FOLLOWING OPERATIONAL UNITS

VIA DON ETTORE GAIA, 19 10043 ORBASSANO (TO) ITALIA

È CONFORME ALLA NORMA / IS IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD
AS9100D / EN 9100:2018

E VALUTATO SECONDO LE PRESCRIZIONI DELLA NORMA EN 9104-001:2013 E DEL REGOLAMENTO TECNICO ACCREDIA RT-18
ASSESSED ACCORDING TO EN 9104-001:2013 STANDARD AND TO THE REQUIREMENTS OF ACCREDIA TECHNICAL REGULATION RT-18

PER I SEGUENTI CAMPI DI ATTIVITÀ / FOR THE FOLLOWING FIELD(S) OF ACTIVITIES

PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI INGRANAGGI DI PRECISIONE E ORGANI DI TRASMISSIONE.

IAF:17

DESIGN AND MANUFACTURING OF HIGH PRECISION GEAR SYSTEM AND TRANSMISSION PARTS.

La validità del presente certificato è subordinata a sorveglianza periodica annuale / semestrale ed al riesame completo del sistema di gestione con periodicità triennale
The validity of this certificate is dependent on an annual / six monthly audit and on a complete review, every three years, of the management system
L'uso e la validità del presente certificato sono soggetti al rispetto del documento RINA: Regolamento per la Certificazione di Sistemi di Gestione per la Qualità
The use and validity of this certificate are subject to compliance with the RINA document: Rules for the Certification of Quality Management Systems for the aerospace sector according to the EN 9100 scheme

Prima emissione First Issue	10.06.2016	Data scadenza Expiry Date	09.06.2025
Data di revisione Renewal date	01.06.2022	Data entrata in vigore Issue date	10.06.2022

Andrea Aloisio
Certification Compliance & Technical Support, Director

SGQ N° 002 A
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

ACCREDITIA
SGQ N° 002 A
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

CISQ
www.cisq.com

CISQ is a member of
IQNet
The International Certification Network
www.iqnet-certification.com

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope



CERTIFICATO N. OHS-4383
CERTIFICATE No.

SI CERTIFICA CHE IL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA E DELLA SALUTE SUL LUOGO DI LAVORO DI
IT IS HEREBY CERTIFIED THAT THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEM OF

LICAT S.R.L.

VIA DE GASPERI, 146 20017 Rho (MI) ITALIA
NELLE SEGUENTI UNITÀ OPERATIVE / IN THE FOLLOWING OPERATIONAL UNITS

VIA DON ETTORE GAIA, 19 10043 Orbassano (TO) ITALIA

È CONFORME ALLA NORMA / IS IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD
ISO 45001:2018

PER I SEGUENTI CAMPI DI ATTIVITÀ / FOR THE FOLLOWING FIELD(S) OF ACTIVITIES

PROGETTAZIONE E PRODUZIONE DI INGRANAGGI DI PRECISIONE E ORGANI DI TRASMISSIONE.

IAF:17

DESIGN AND PRODUCTION OF PRECISION GEAR SYSTEMS AND TRANSMISSION PARTS.

La validità del presente certificato è subordinata a sorveglianza periodica annuale / semestrale ed al riesame completo del sistema di gestione con periodicità triennale
The validity of this certificate is dependent on an annual / six monthly audit and on a complete review, every three years, of the management system
L'uso e la validità del presente certificato sono soggetti al rispetto del documento RINA: Regolamento per la Certificazione del Sistema di Gestione della Sicurezza e Salute sul luogo di lavoro
The use and validity of this certificate are subject to compliance with the RINA document: Rules for the Certification of Occupational Health and Safety Management Systems

Prima emissione First Issue	09.06.2021	Data decisione di rinnovo Renewal decision date	28.05.2024
Data scadenza Expiry Date	08.06.2027	Data revisione Revision date	28.05.2024

Luca Borromeo
Turin Management System Certification, Head

SCR N° 003 F
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

ACCREDITIA
SCR N° 003 F
RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova Italy

CISQ
www.cisq.com

CISQ is a member of
IQNet
The International Certification Network
www.iqnet-certification.com

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope

Per informazioni sulla validità del certificato, visitate il sito
www.rina.org

For information concerning validity of the certificate, you can visit the site
www.rina.org

Per i requisiti della norma non applicabili al campo di applicazione del sistema di gestione dell'organizzazione, riferirsi alle informazioni documentarie relative.
Reference is to be made to the relevant documented information for the requirements of the standard that cannot be applied to the Organization's management system scope

Un nuovo modello di business a valore aggiunto

L'attenzione alla sostenibilità aziendale, ci ha portato a considerare le alleanze in una prospettiva diversa, proponendo ai nostri partner fornitori esteri di diventare il loro hub europeo per co-progettazione, prototipazione e validazione di prodotti da costruire successivamente su larga scala.

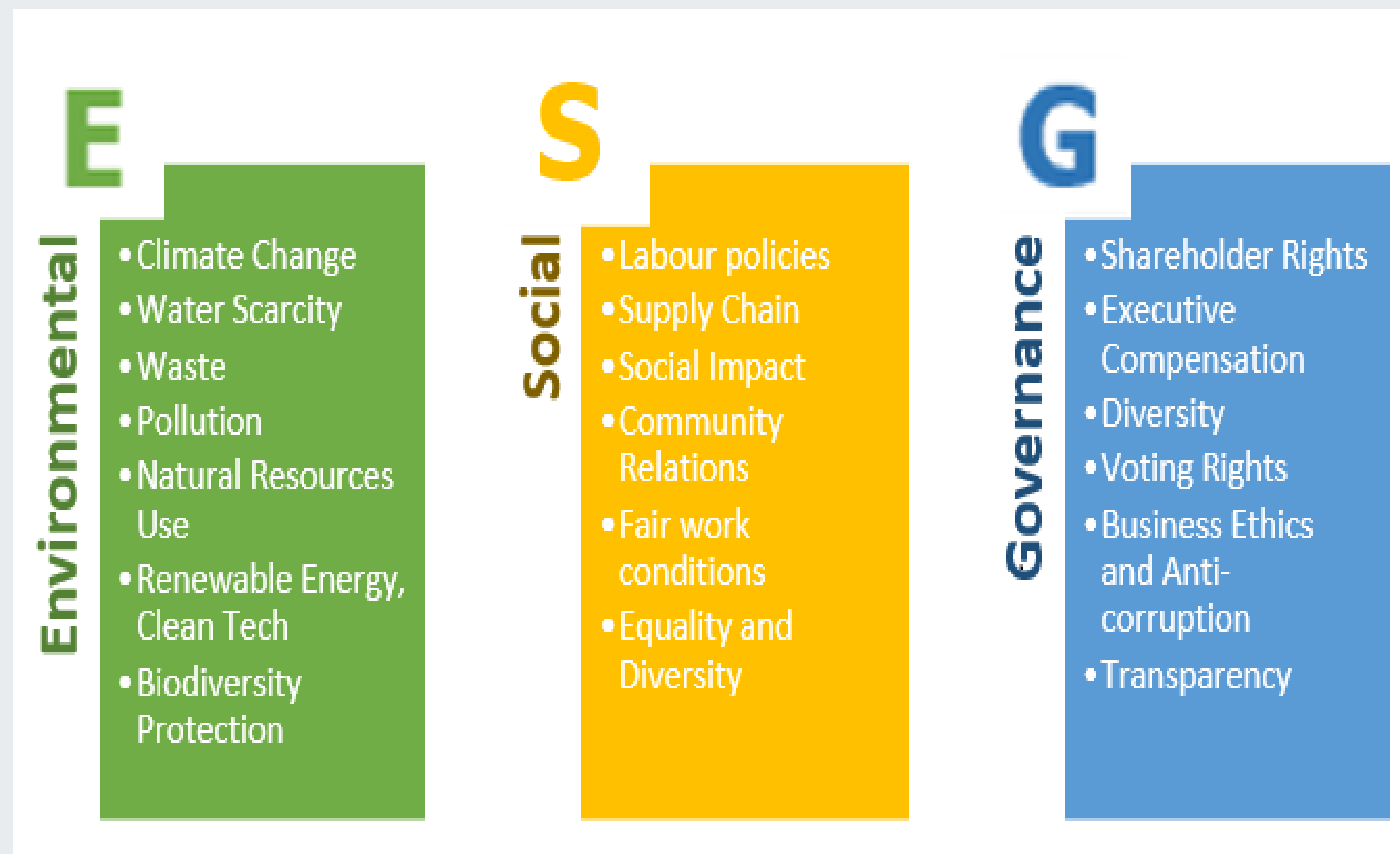
Allo stesso tempo, abbiamo offerto ai nostri clienti di compensare, attraverso i nostri manager qualificati, la perdita di competenze che sta toccando drammaticamente tutte le imprese.

La nuova visione è perfettamente orientata all'ESG:

Environment: meno inquinamento, più efficienza

Social: crescita professionale dei dipendenti, relazione più stretta con i clienti, welfare interno per il benessere dei dipendenti, attività di sostegno del territorio

Governance: purpose (volontà di generare un impatto positivo sull'ecosistema), politica di sostenibilità, nuove opportunità per tutti



Portfolio a valore aggiunto

LICAT è altamente specializzata nelle seguenti categorie di prodotti:

- Cremagliere e pignoni di precisione
- Ingranaggi di precisione
- Produzione di organi di trasmissione di potenza su disegno del cliente
- Riduttori speciali
- Ingranaggi conici
- Alberi dentati
- Viti senza fine
- Viti trapezoidali
- Alberi scanalati
- Settori dentati



Prodotti standard a valore aggiunto

Per quanto riguarda la produzione di articoli standard, LICAT è specializzata nella produzione dei seguenti componenti:

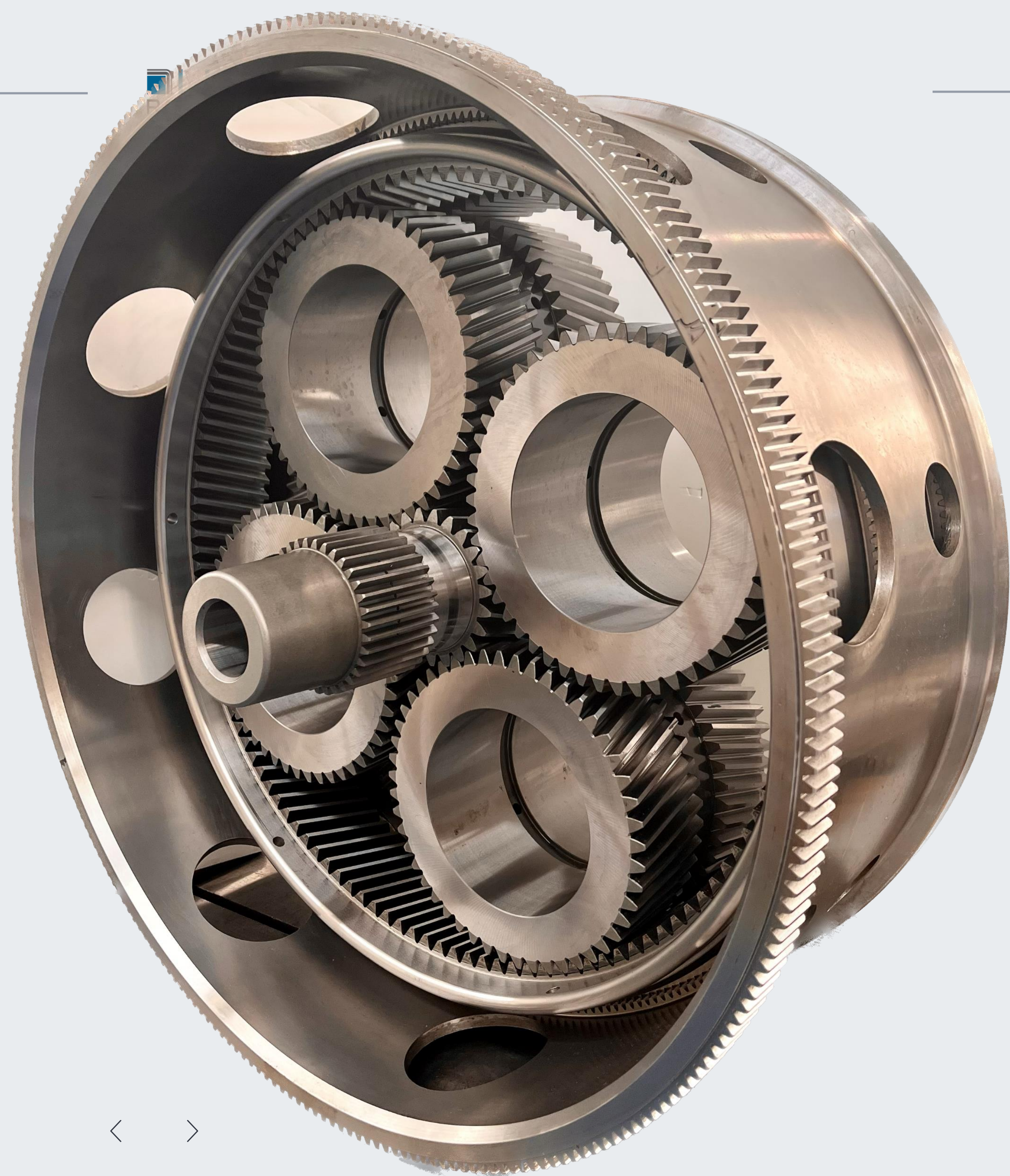
- Cremagliere di precisione fino a modulo 50:
 - finite d'utensile, fino a modulo 50 e lunghezza 3500 mm
 - rettificate, fino a modulo 20 e lunghezza 3200 mm
 - con dentatura diritta o elicoidale in 3 versioni di materiale/trattamento termico: bonificate (tipo A), temprate a induzione (tipo B) cementate (tipo C)
- Tutti i pignoni per le cremagliere a catalogo, con le medesime caratteristiche sopracitate

Prodotti speciali a valore aggiunto

Una parte importante del business attuale di LICAT è costituito dalla produzione dei seguenti componenti:

- Ingranaggi con dentatura esterna diritta, elicoidale, a cuspidi, finiti di MAAG diametro esterno max 3.000 mm, fascia max 450 mm
- Ingranaggi con dentatura esterna diritta, elicoidale, finiti di creatore, diametro esterno max 2.000 mm, fascia max 600 mm
- Ingranaggi con dentatura esterna diritta, elicoidale con profilo rettificato, diametro esterno max 1.600 mm, fascia max 700 mm
- Ingranaggi a dentatura interna, diametro interno max 2.500 mm, fascia max 200 mm





Riduttori per applicazioni speciali a valore aggiunto

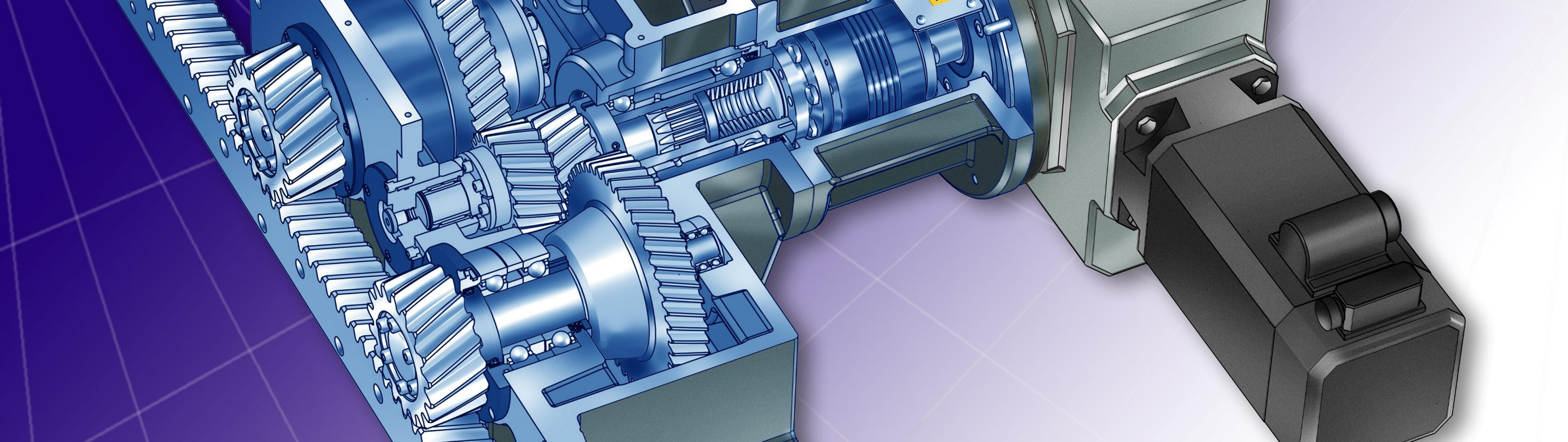
Negli ultimi anni, LICAT si è progressivamente specializzata nella progettazione e produzione di riduttori speciali per applicazioni critiche (macchine utensili heavy-duty, energie rinnovabili, oil&gas, siderurgia, difesa) tramite soluzioni meccaniche con doppio pignone e tecnologia con precarico elastico a gioco zero.

Il controllo qualità di LICAT è il reparto aziendale su cui l'azienda si concentra maggiormente: il risultato di un prodotto perfetto deve essere garantito ai clienti e dimostrato con adeguata documentazione di supporto.

L'ispezione di qualità è ottenuta attraverso strumenti moderni e innovativi, tramite i quali il nostro personale esperto ispeziona il 100% dei prodotti speciali e il 20% dei prodotti standard.

Controllo Qualità a valore aggiunto





Supporto tecnico a valore aggiunto

LICAT vanta personale con grande esperienza: il Direttore Operativo lavora da oltre 40 anni all'interno dell'azienda, mentre il Direttore Tecnico lavora da quasi 25 anni! L'obiettivo è quello di evitare turnover frequenti del personale nelle posizioni chiave, attraverso un ambiente di lavoro, di uscita e operativo di buona qualità, e il risultato è un'ottima sensazione per i clienti di lavorare con LICAT.

Service a valore aggiunto

Il buon ambiente aziendale crea un'ottima stabilità, che si riflette anche nel rapporto di fiducia coi clienti. Questa è la condizione adatta per creare e conservare saldamente una grande esperienza, che è la base per costruire la migliore soddisfazione del Cliente, attraverso un alto livello di flessibilità nella risoluzione di problemi tecnici e di produzione.

Lo staff di LICAT è a vostra completa disposizione per qualsiasi dubbio, quesito o suggerimento anche da parte del vostro Cliente finale; vi consigliamo vivamente di inviarci i vostri disegni, anche se non siete sicuri che il problema possa riguardare direttamente LICAT.

Siamo soliti definirci «trouble solvers», risolutori di problemi!



Investimenti a valore aggiunto

Nel corso degli anni LICAT ha costantemente investito in nuovi macchinari, software, innovazione e organizzazione. Questo atteggiamento è stato rafforzato dall'ingresso in azienda della nuova proprietà.

Nuovi ERP, CRM, organizzazione amministrativa e finanziaria, ampia organizzazione di vendita, potenziamento degli uffici e del sito produttivo; inoltre, è stato rilasciato un numero significativo di macchine utensili ad altissimo contenuto tecnologico, molte delle quali già installate ed operative (le ultime saranno consegnate entro fine anno). Possiamo affermare che tutta la forza lavoro è coinvolta nella crescita dell'azienda!

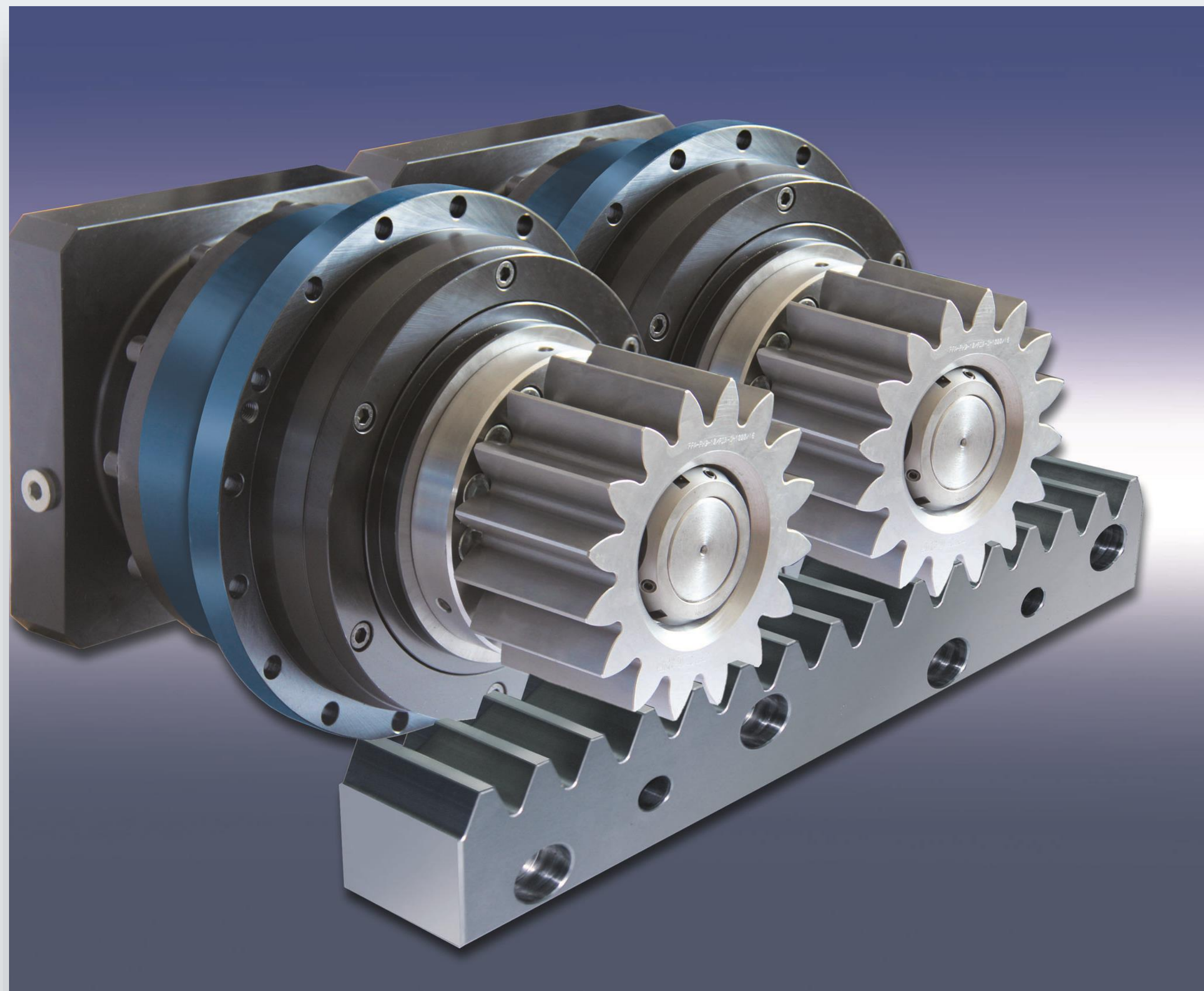


In sintesi:

La LICAT è decisamente entrata nella “nuova era”.

Tutto il personale LICAT è stimolato e coinvolto da questo cambio epocale, ben supportato dai nuovi investimenti.

Per questo motivo, possiamo garantire ai nostri principali Clienti un aumento fino al 50% della capacità produttiva, disponibile già dal secondo semestre 2024: **un vero valore aggiunto, creato per voi!**





-
- Macro e Micro-modifiche della dentatura (CROWNING e TIP RELIEF)
 - Potenzialità del SW GEDYTRASS

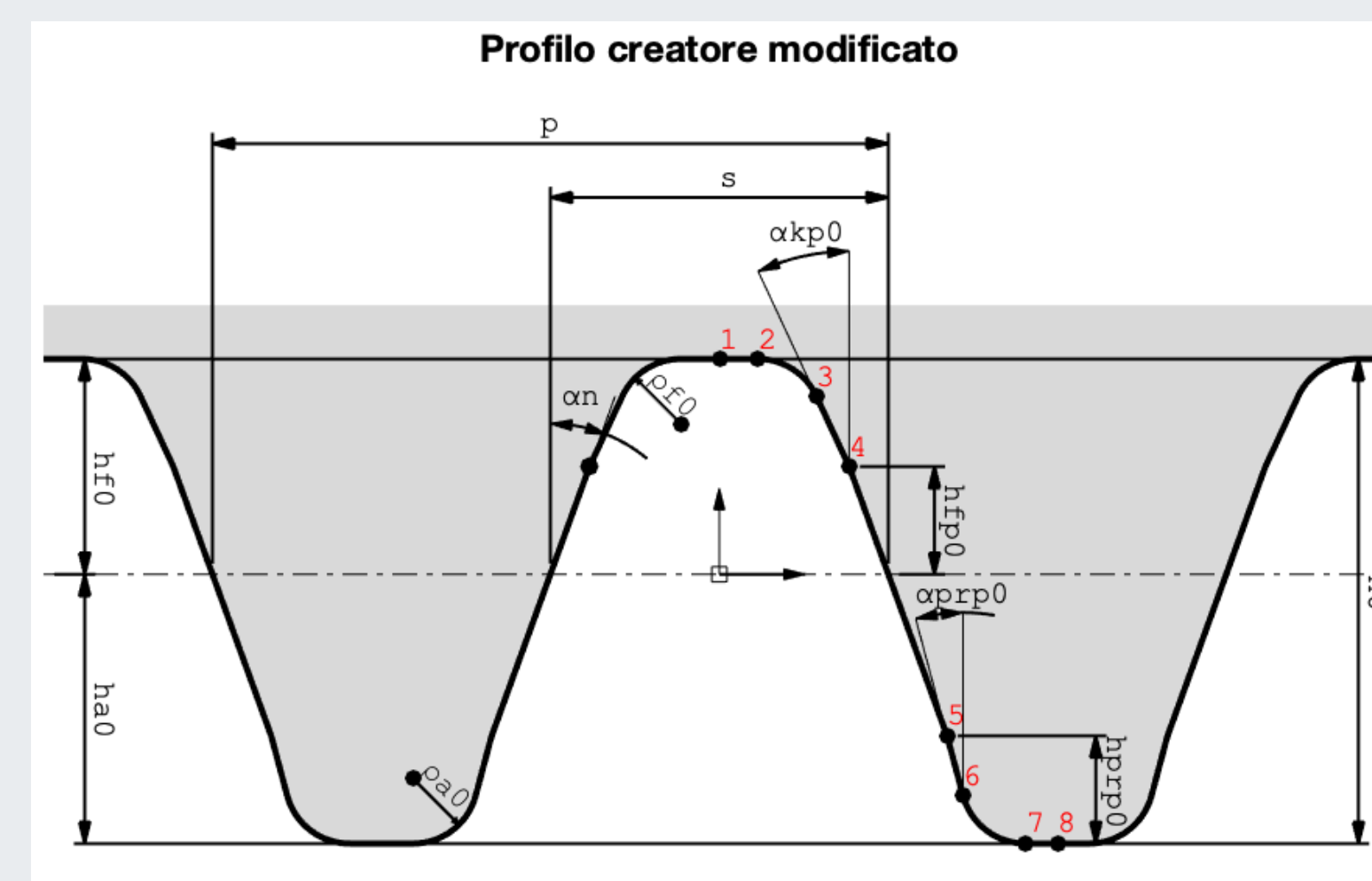
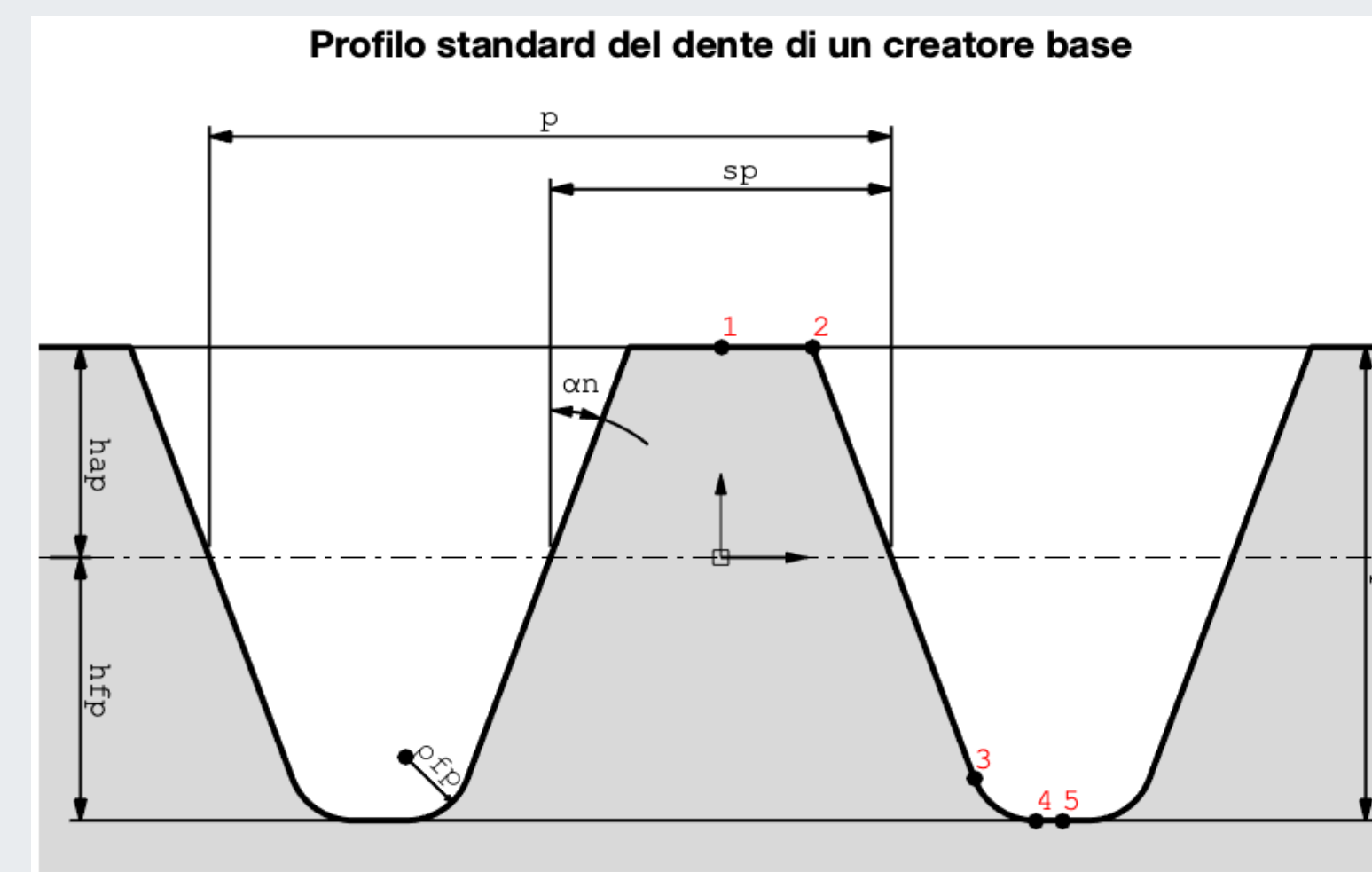
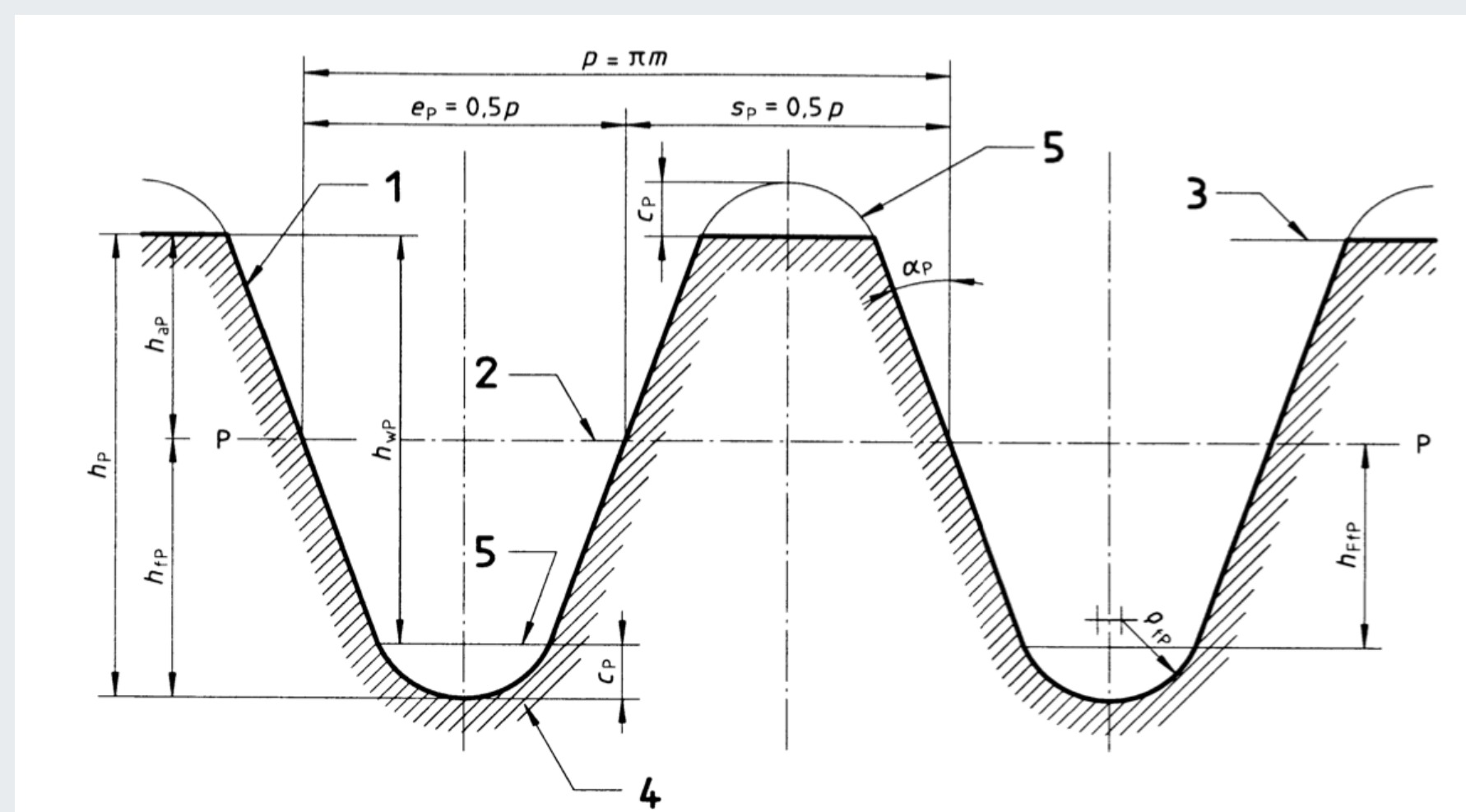
Prof. Carlo ROSSO

Professore di Costruzione di Macchine presso il dipartimento di Ingegneria Meccanica ed Aerospaziale del Politecnico di Torino. Autore di sette brevetti, di oltre 80 pubblicazioni scientifiche e fondatore di due start-up, una delle quali produce il software GeDy TrAss



Definizione parametri taglio dente ISO 53:1998

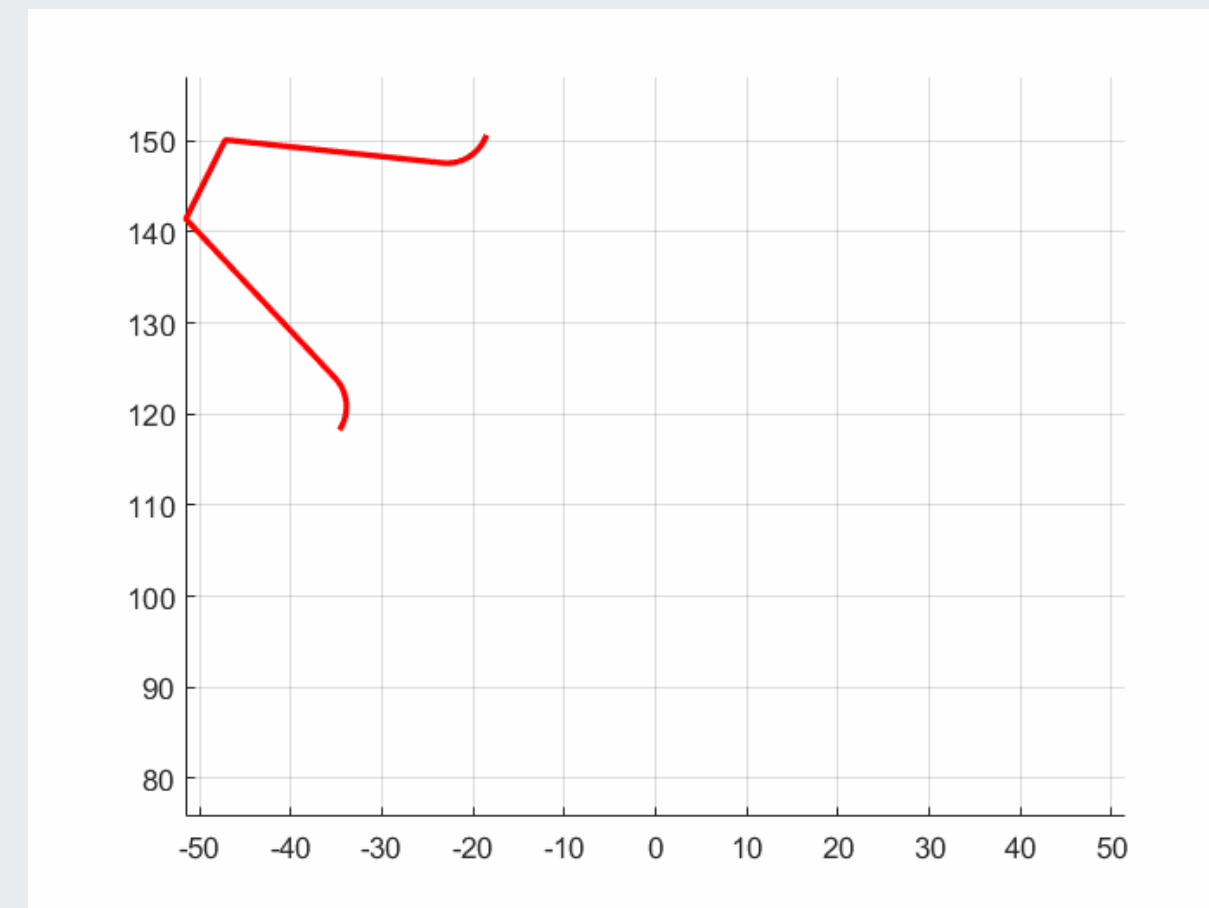
Parametri del creatore



- m_n modulo normale [mm]
- α_n angolo di pressione normale [°]
- h_{a0} coefficiente di addendum [-] = h_{fp}
- ρ_{f0} coefficiente del raggio di fondo dente [-]
- h_{f0} coefficiente di dedendum [-] = h_{ap}
- ρ_{a0} coefficiente del raggio di testa [-] = ρ_{fp}
- h_{fp0} coefficiente di altezza semi-toppling [-]
- α_{kp0} angolo di semi-toppling [°]
- h_{prp0} coefficiente di altezza protuberanza [-]
- $\langle \alpha_{prp0} \rangle$ angolo di protuberanza [°]

Definizione parametri taglio dente ISO 53:1998

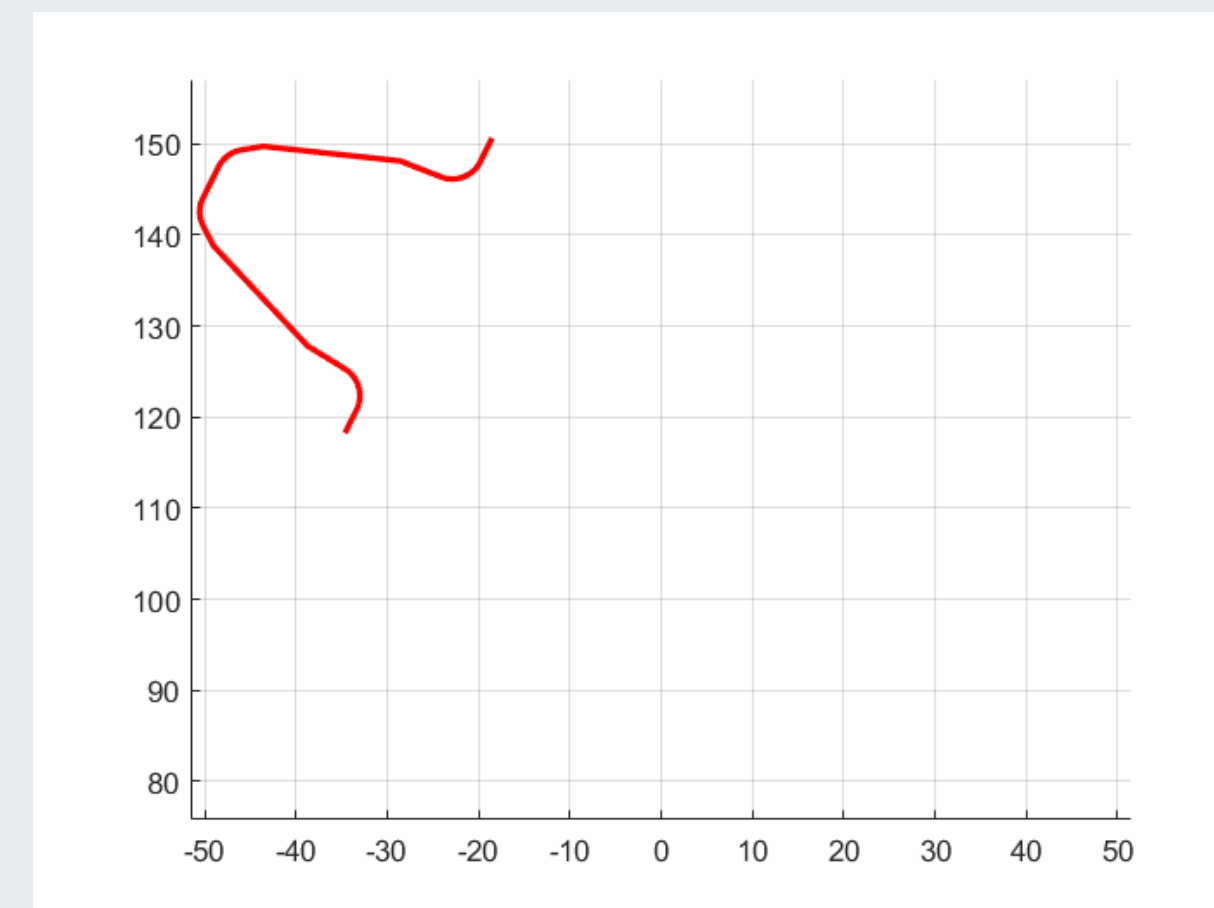
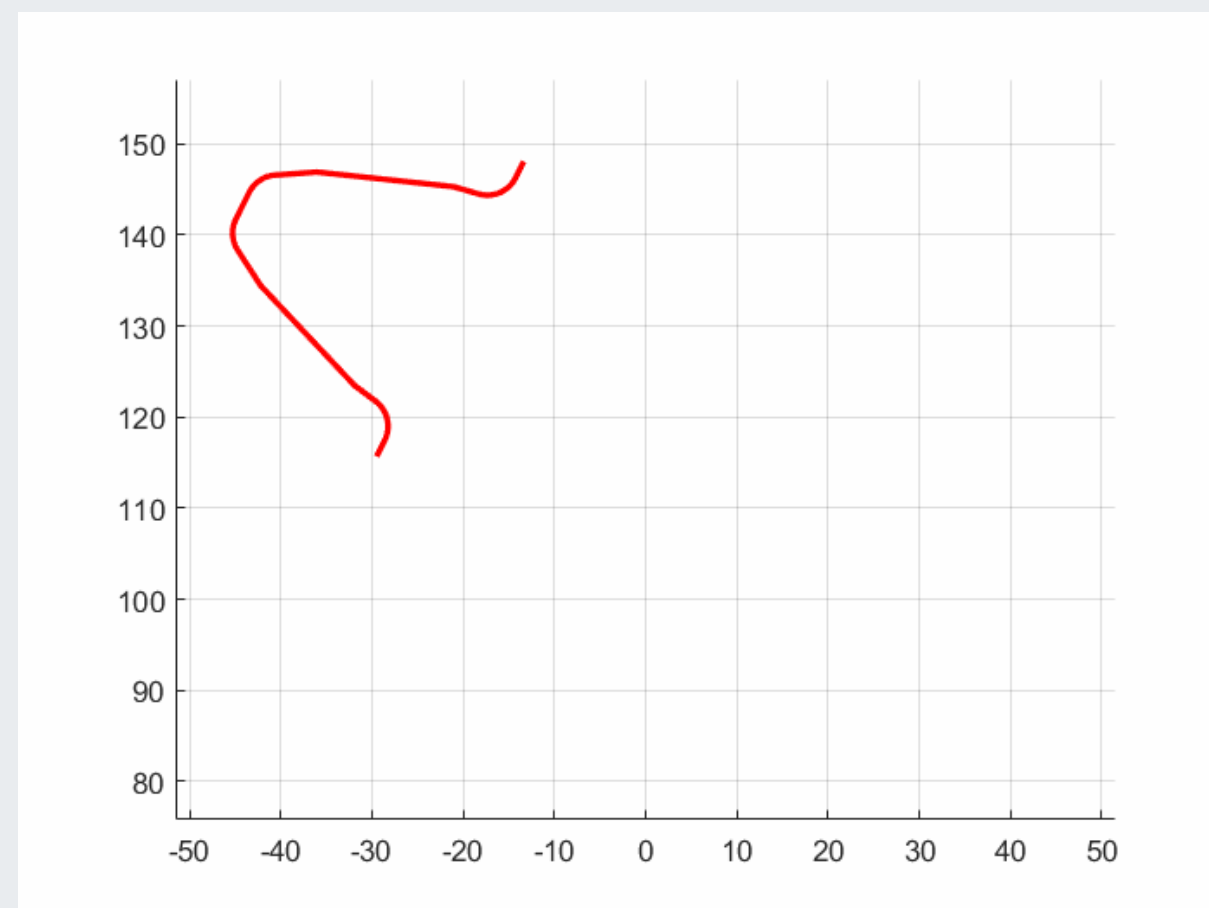
Taglio con cremagliera standard



$$\begin{aligned}\alpha_n &= 20^\circ \\ z &= 17 \\ m_n &= 11.3 \text{ mm} \\ h_{aP} &= 1 \\ \rho_{aP} &= 0 \\ h_{fP} &= 1.25 \\ \rho_{fP} &= 0.3\end{aligned}$$

Taglio con cremagliera modificata e spostamento della primitiva

$$\begin{aligned}x &= -0.5 \\ \rho_{aP} &= 0.3 \\ \rho_{fP} &= 0.3 \\ h_{fP0} &= 0.5 \\ \alpha_{kp0} &= 25^\circ \\ h_{prp0} &= 0.5 \\ \alpha_{prp0} &= 15^\circ\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}x &= 0 \\ \rho_{aP} &= 0.3 \\ \rho_{fP} &= 0.3 \\ h_{fP0} &= 0.7 \\ \alpha_{kp0} &= 35^\circ \\ h_{prp0} &= 0.7 \\ \alpha_{prp0} &= 5^\circ\end{aligned}$$

Macrogeometria

Parametri

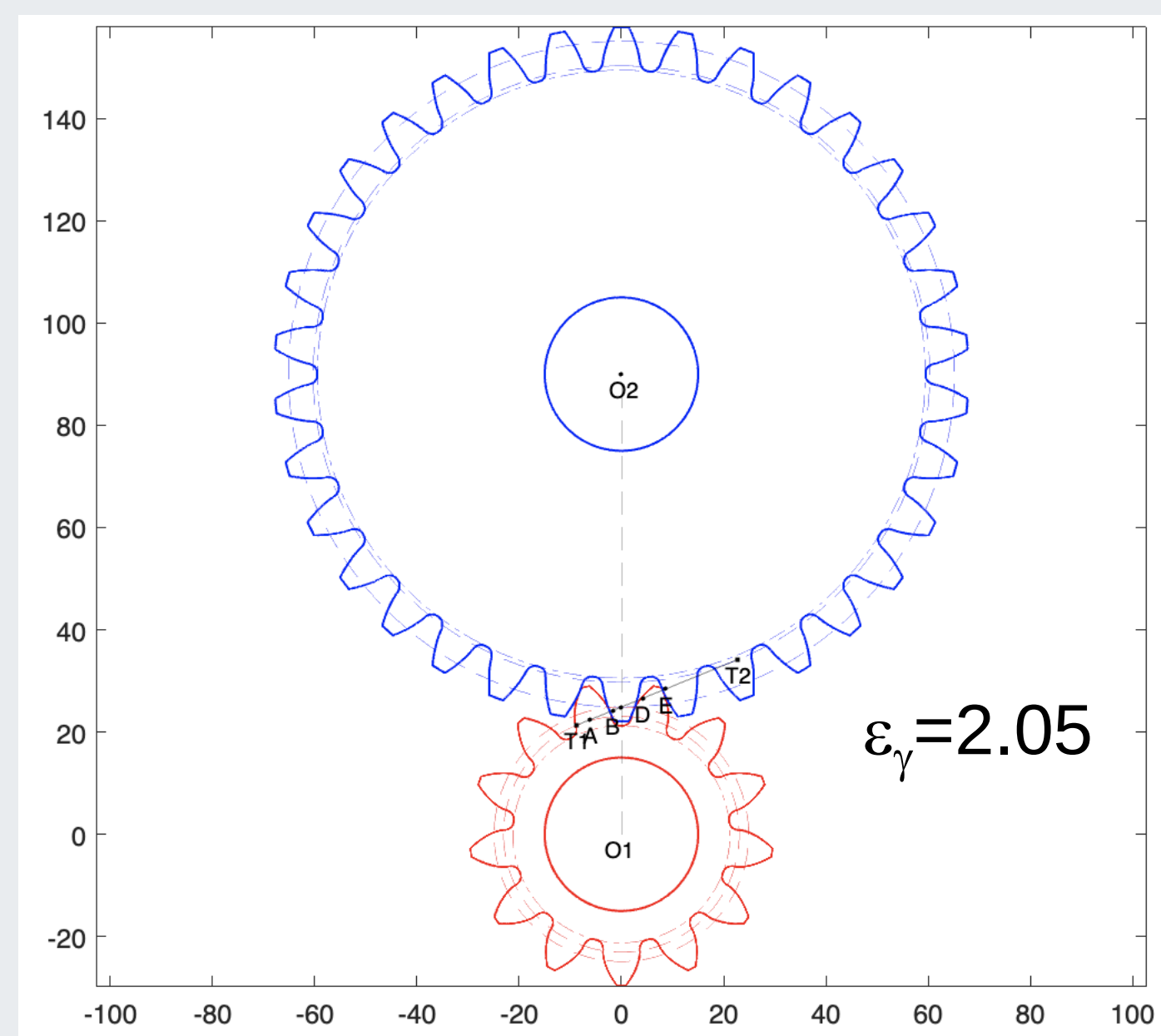
- m_n modulo normale [mm]
- α_n angolo di pressione normale [°] = 20 °
- β angolo d'elica
- x fattore di correzione
- h_{a0} coefficiente di addendum [-] = h_{fp}
- h_{f0} coefficiente di dedendum [-] = h_{ap}

Esempio

Interasse 90 mm
Rapporto di trasmissione 2,65
Coppia 300 Nm
Materiale 34CrMo4 indurito superficialmente

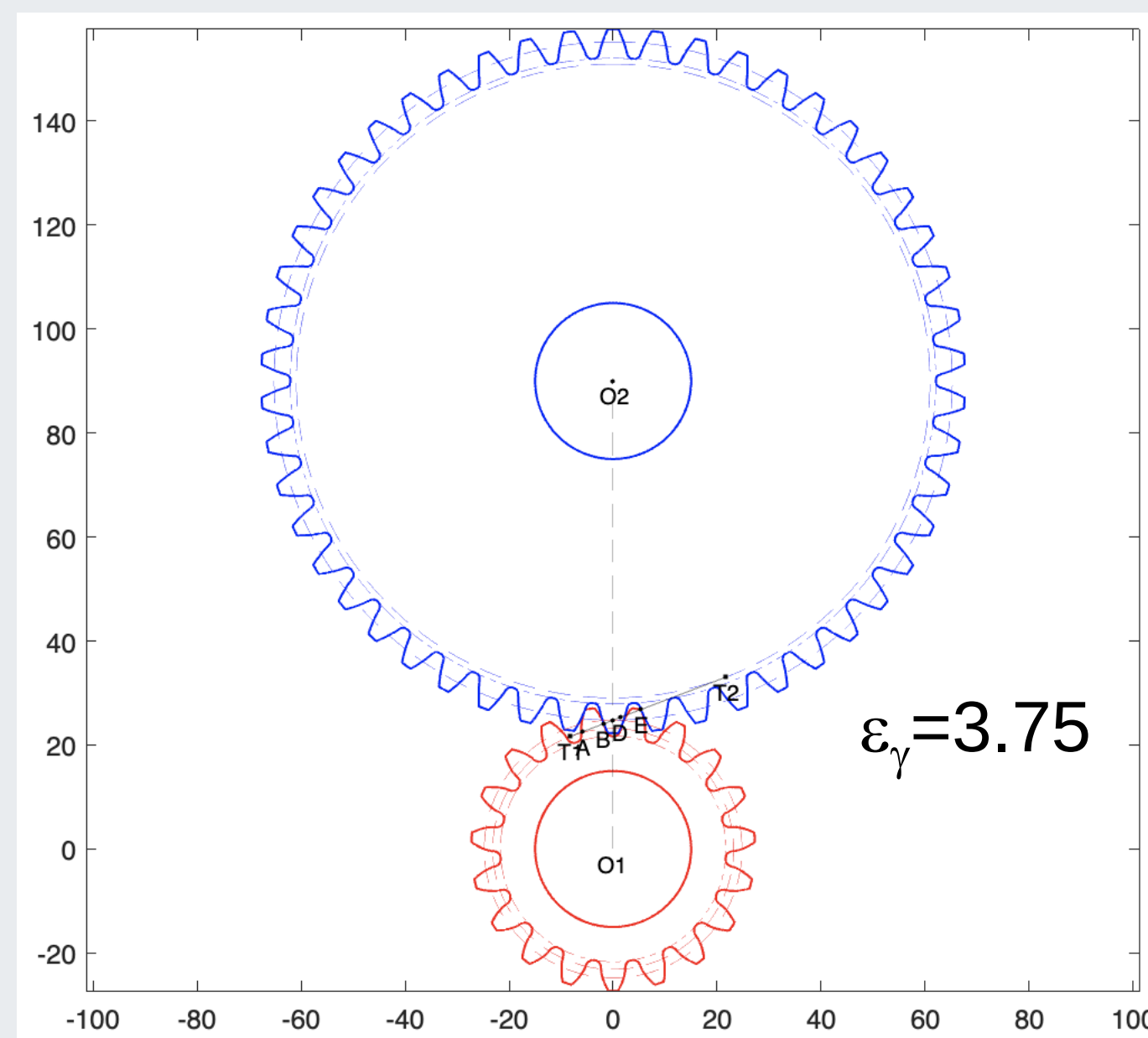
Dimensionamento con Lewis

$z_1 = 13$; $z_2 = 34$; $m_n = 3.75$ mm; $\beta = 7^\circ$
 $x_1 = 0.363$, $x_2 = -0.024$



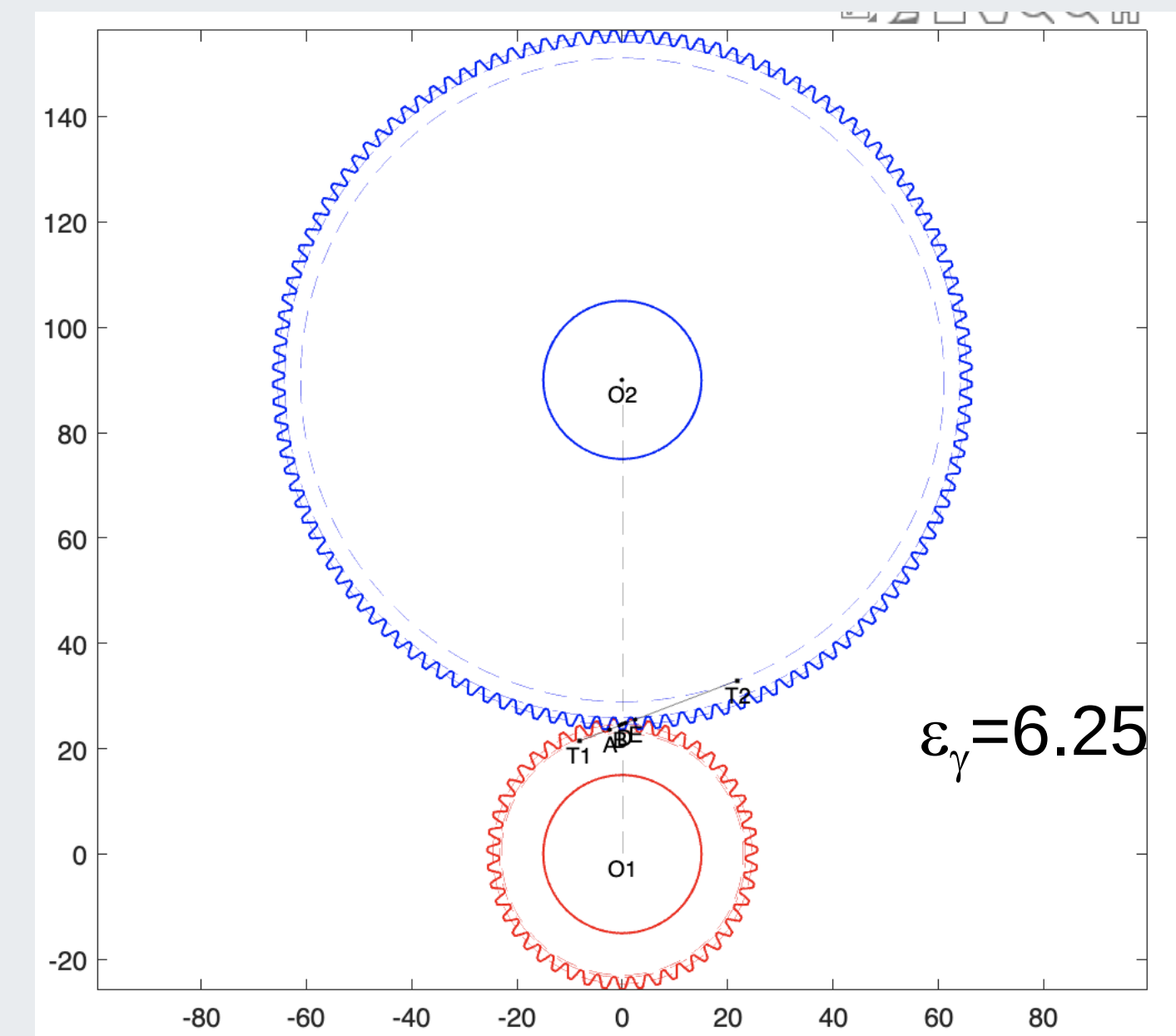
Design alternativo 1

$z_1 = 19$; $z_2 = 50$; $m_n = 2.5$ mm; $\beta = 16.5^\circ$
 $x_1 = 0.018$, $x_2 = 0$



Design alternativo 2

$z_1 = 47$; $z_2 = 125$; $m_n = 1$ mm; $\beta = 17^\circ$
 $x_1 = 0.071$, $x_2 = 0$



Macrogeometria

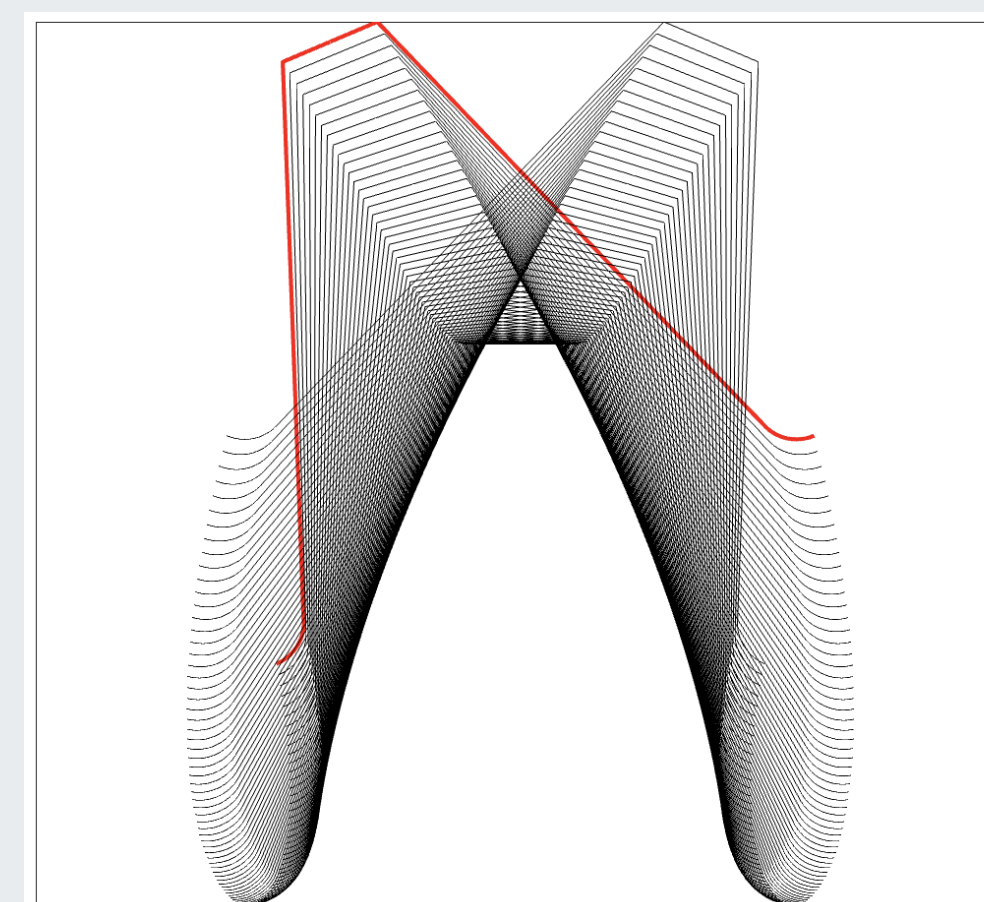
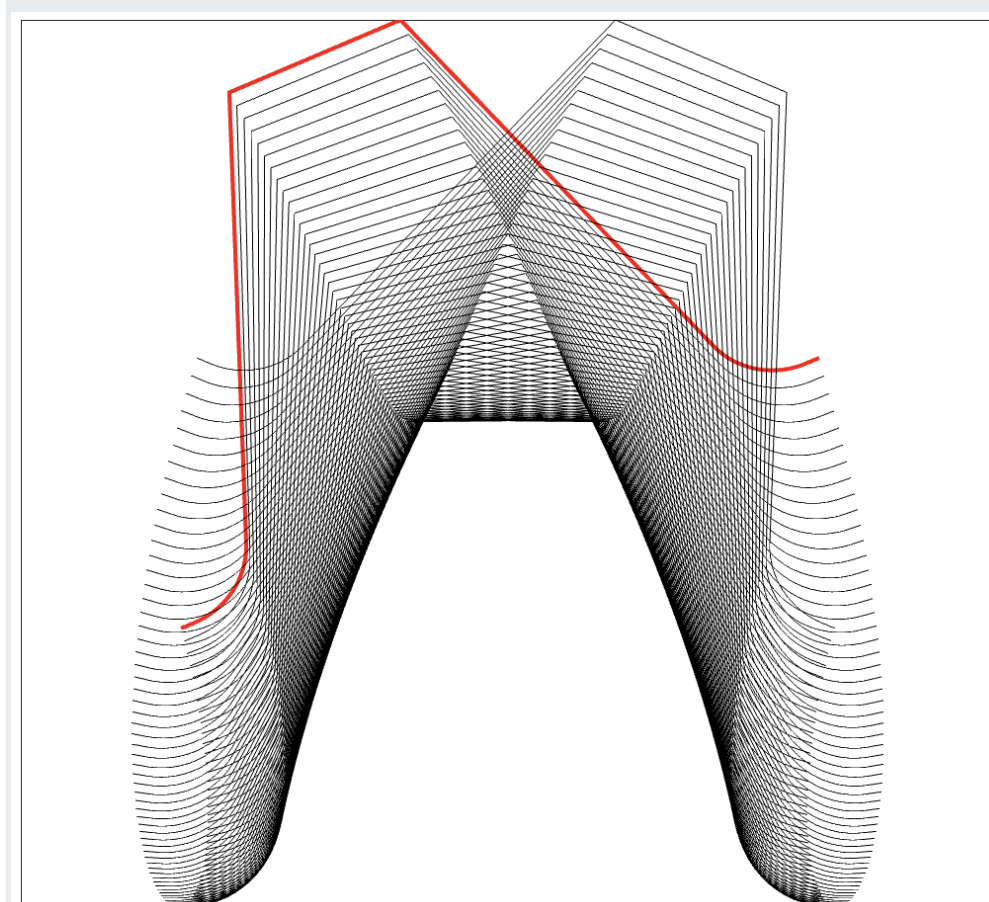
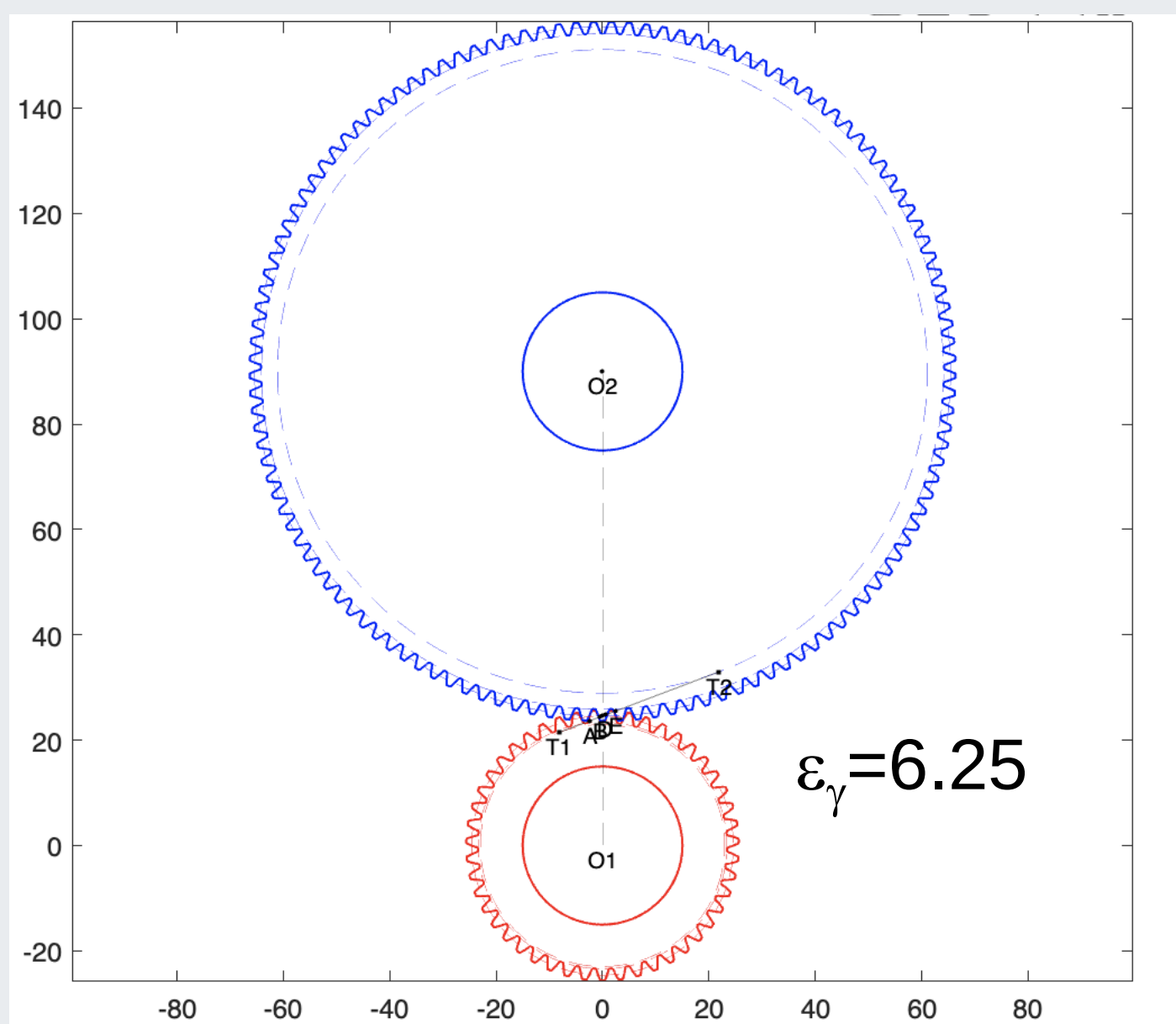
Parametri

- m_n modulo normale [mm]
- α_n angolo di pressione normale [°] = 20 °
- β angolo d'elica
- x fattore di correzione
- h_{a0} coefficiente di addendum [-] = h_{fP}
- h_{f0} coefficiente di dedendum [-] = h_{aP}

Design alternativo 2

$$z_1 = 47; z_2 = 125; m_n = 1 \text{ mm}; \beta = 17^\circ$$

$$x_1 = 0.071, x_2 = 0$$



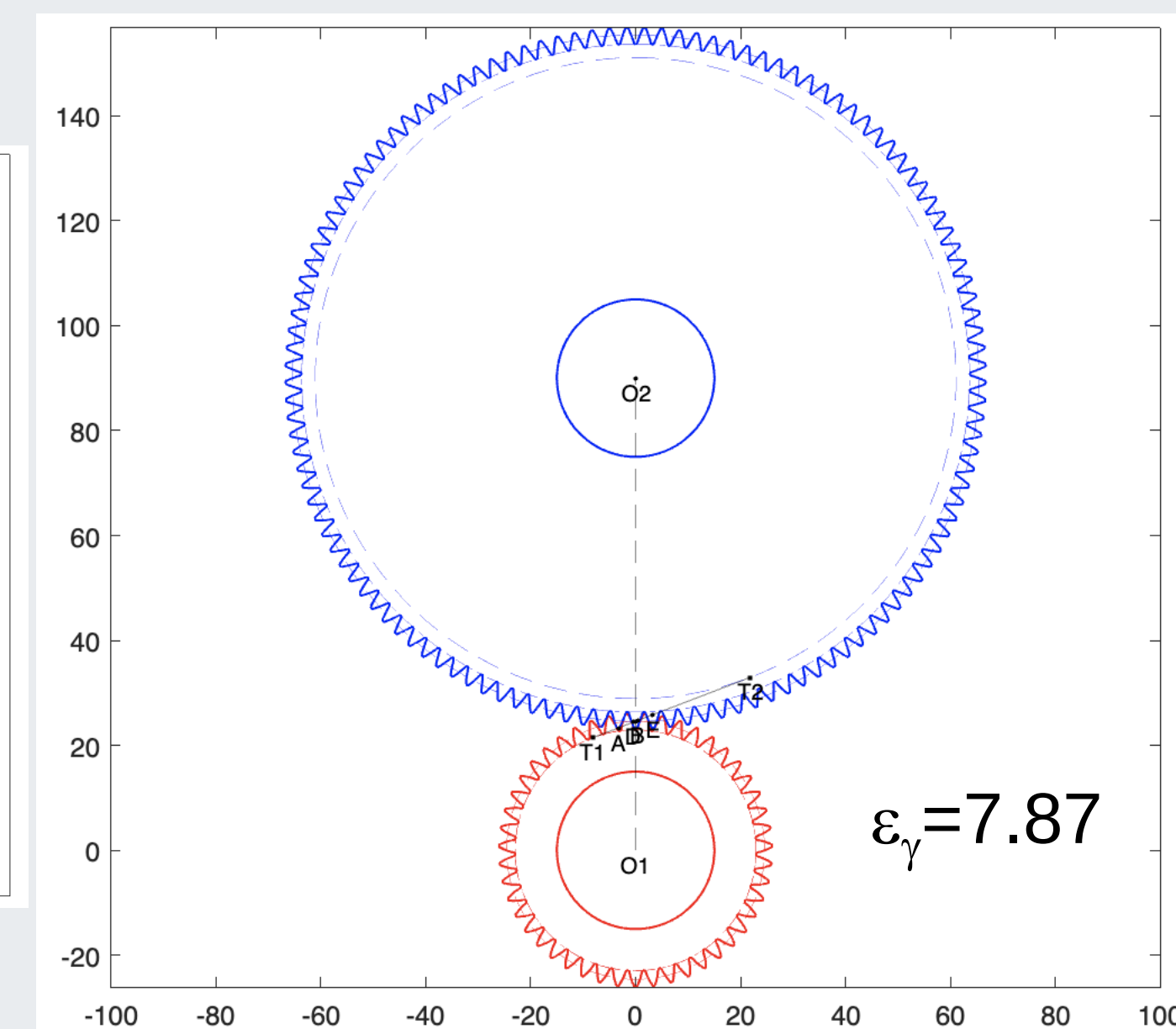
Esempio

Interasse 90 mm
Rapporto di trasmissione 2,65
Coppia 300 Nm
Materiale 34CrMo4 indurito superficialmente

Design alternativo 3

$$z_1 = 47; z_2 = 125; m_n = 1 \text{ mm}; \beta = 17^\circ$$

$$x_1 = 0.071, x_2 = 0, h_{fP} = 1.7, h_{aP} = 1.4$$



Microgeometria: profilo

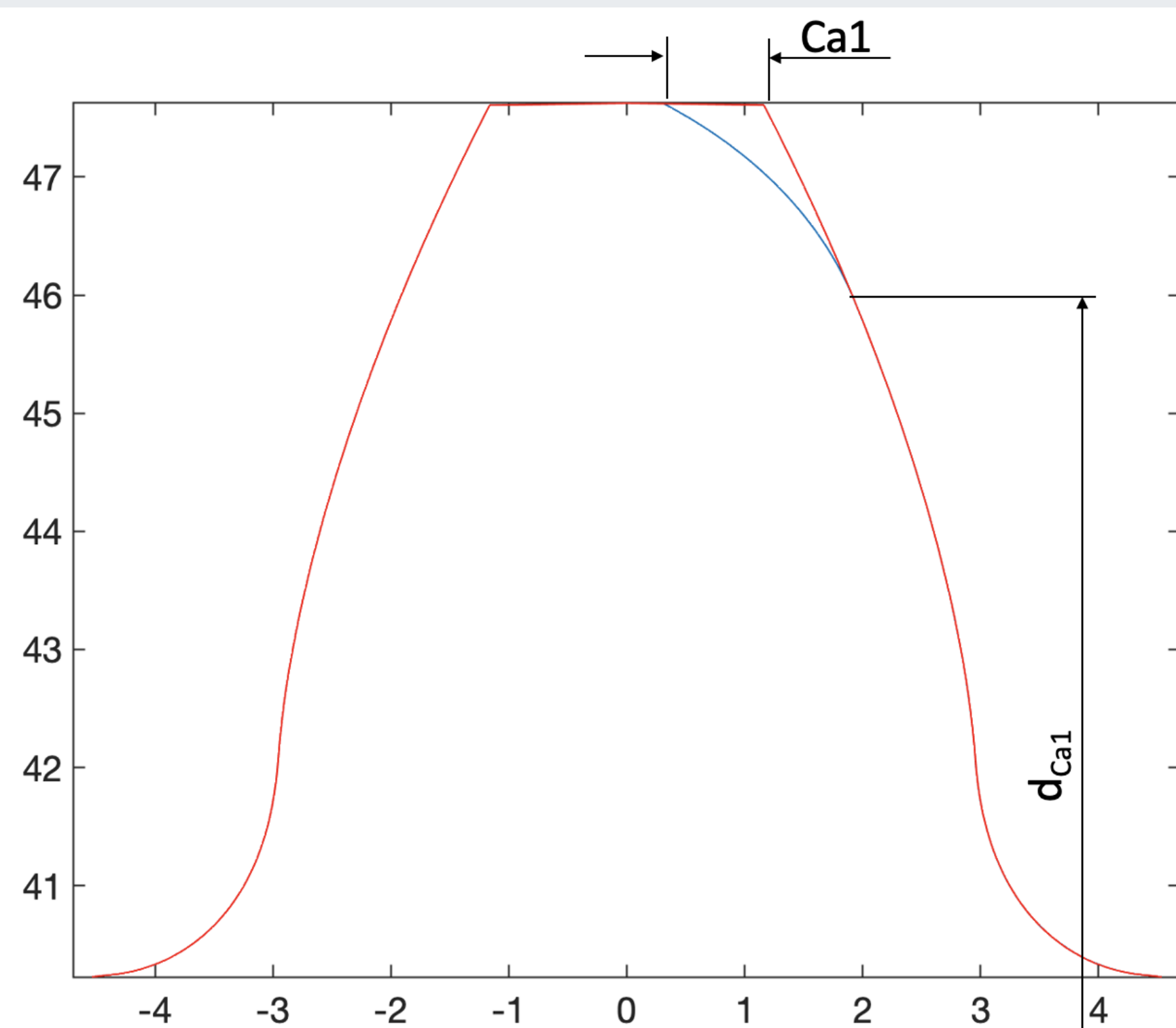
Scarico alla testa (Tip relief):

Due parametri

Ca1: quantità di materiale asportato

d_{Ca1} : diametro a cui inizia l'asportazione

Scarico alla testa lineare o parabolico



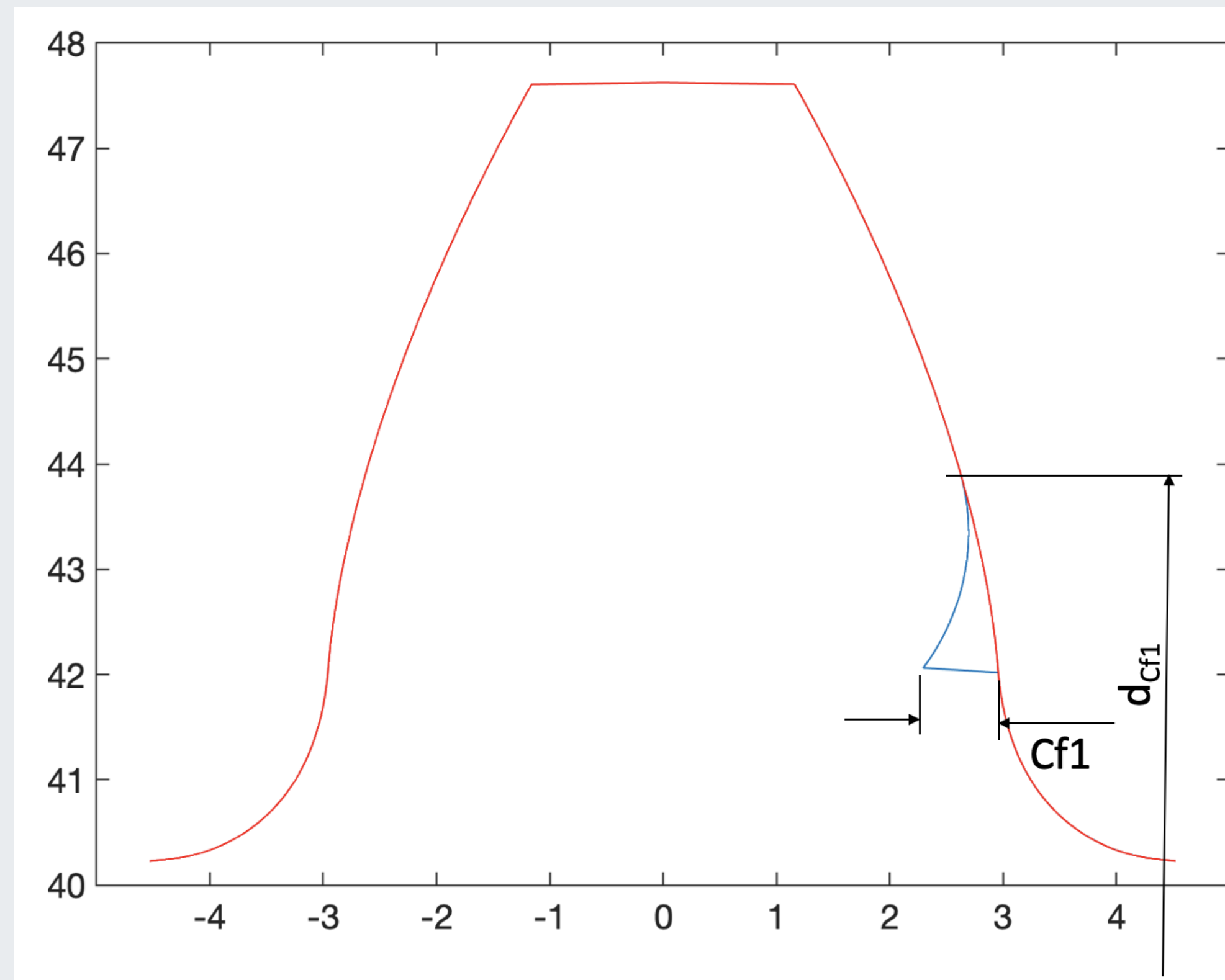
Scarico al piede (Root relief):

Due parametri

Cf1: quantità di materiale asportato

d_{Cf1} : diametro a cui inizia l'asportazione

Scarico alla testa lineare o parabolico



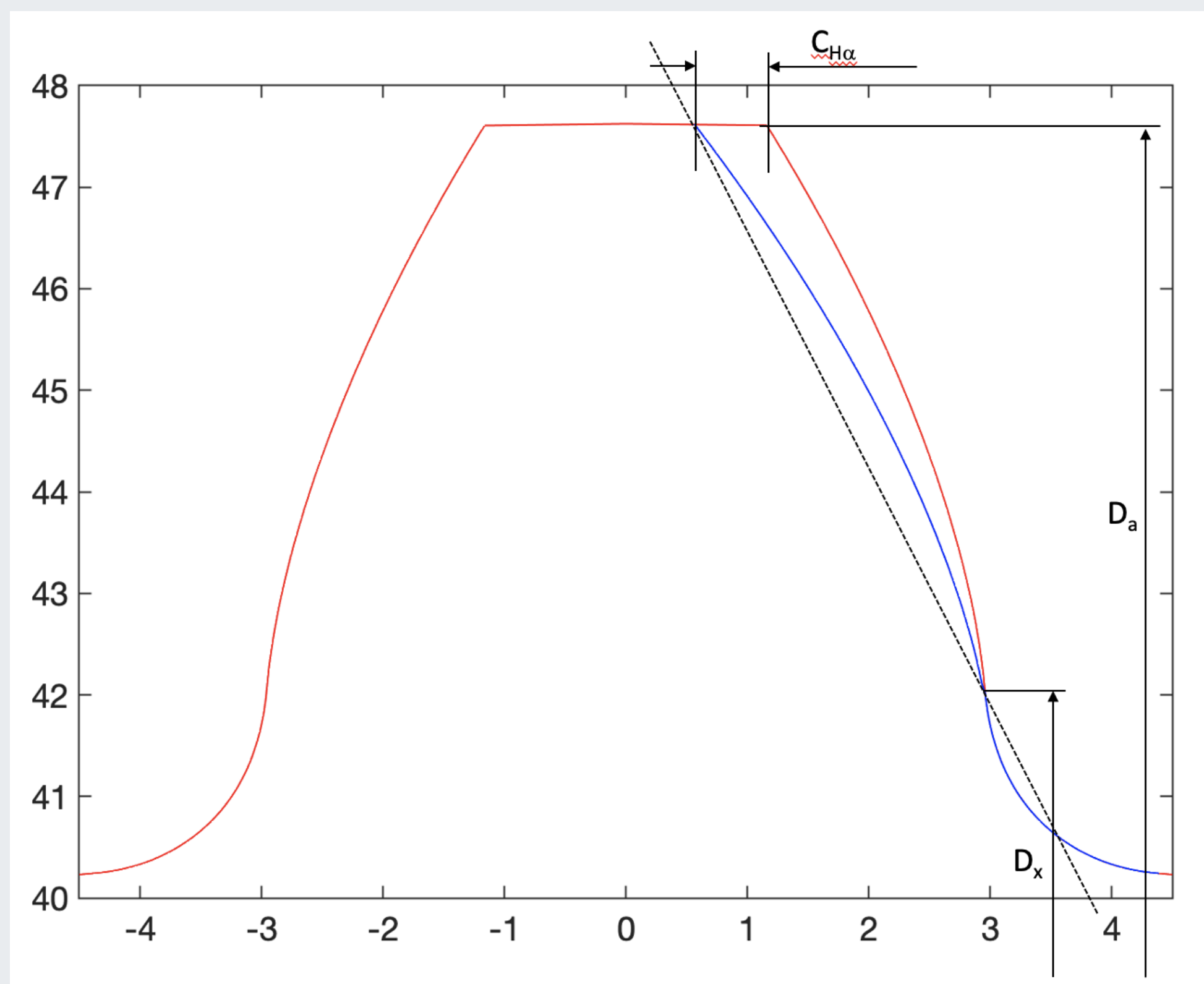
Microgeometria: profilo

Modifica dell'evolvente (involute modification):
tre parametri

$C_{H\alpha}$: quantità di materiale asportato

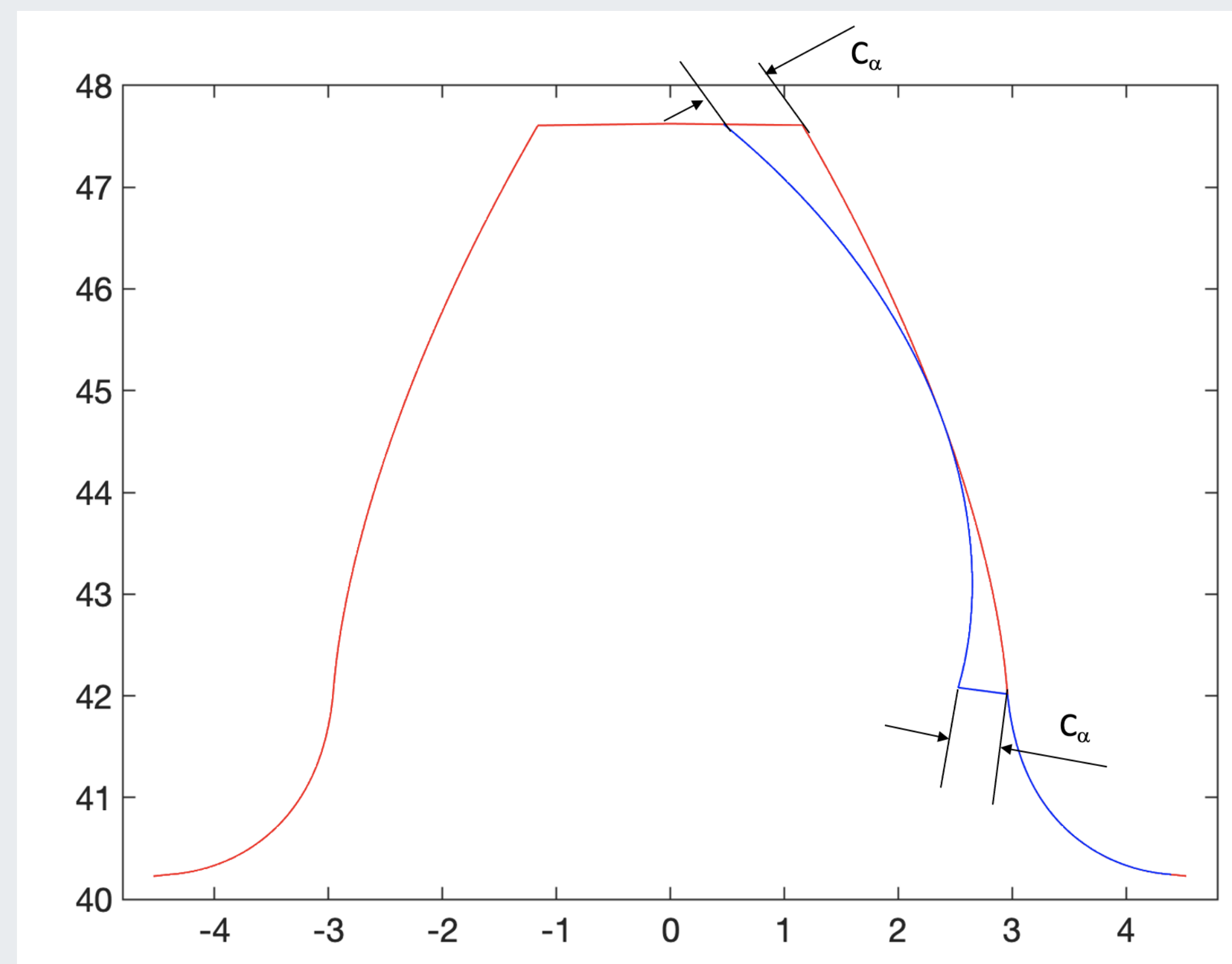
D_a : diametro di fine modifica

D_x : diametro di inizio modifica



Bombatura dell'evolvente:
un parametro

C_α : quantità di materiale asportato



Microgeometria: fianco

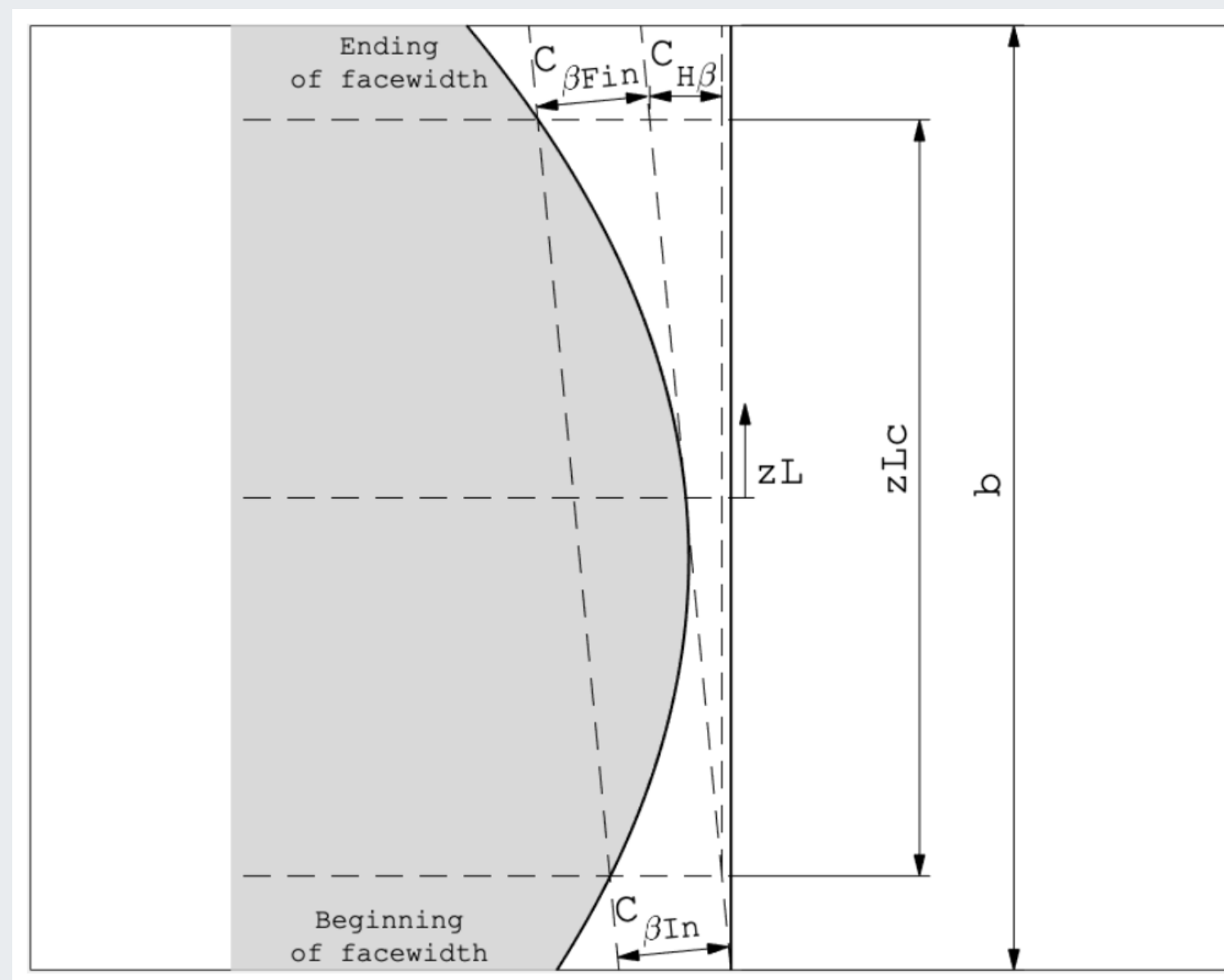
Bombatura del fianco (crowning):

Quattro parametri

$C_{\beta \text{ in o fin}}$ quantità di materiale asportato

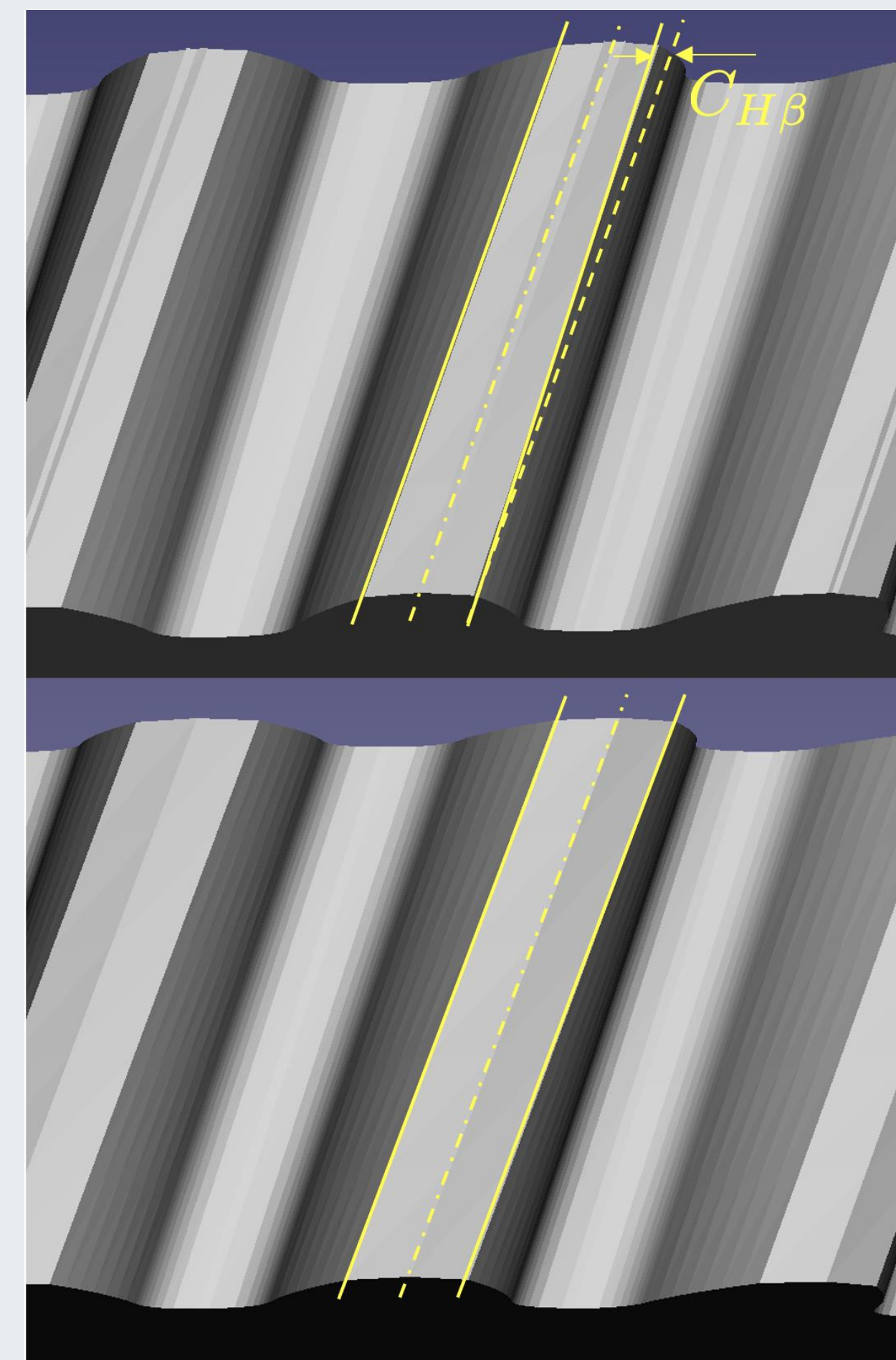
zL : lunghezza del tratto interessato

Percentuale di lunghezza interessata

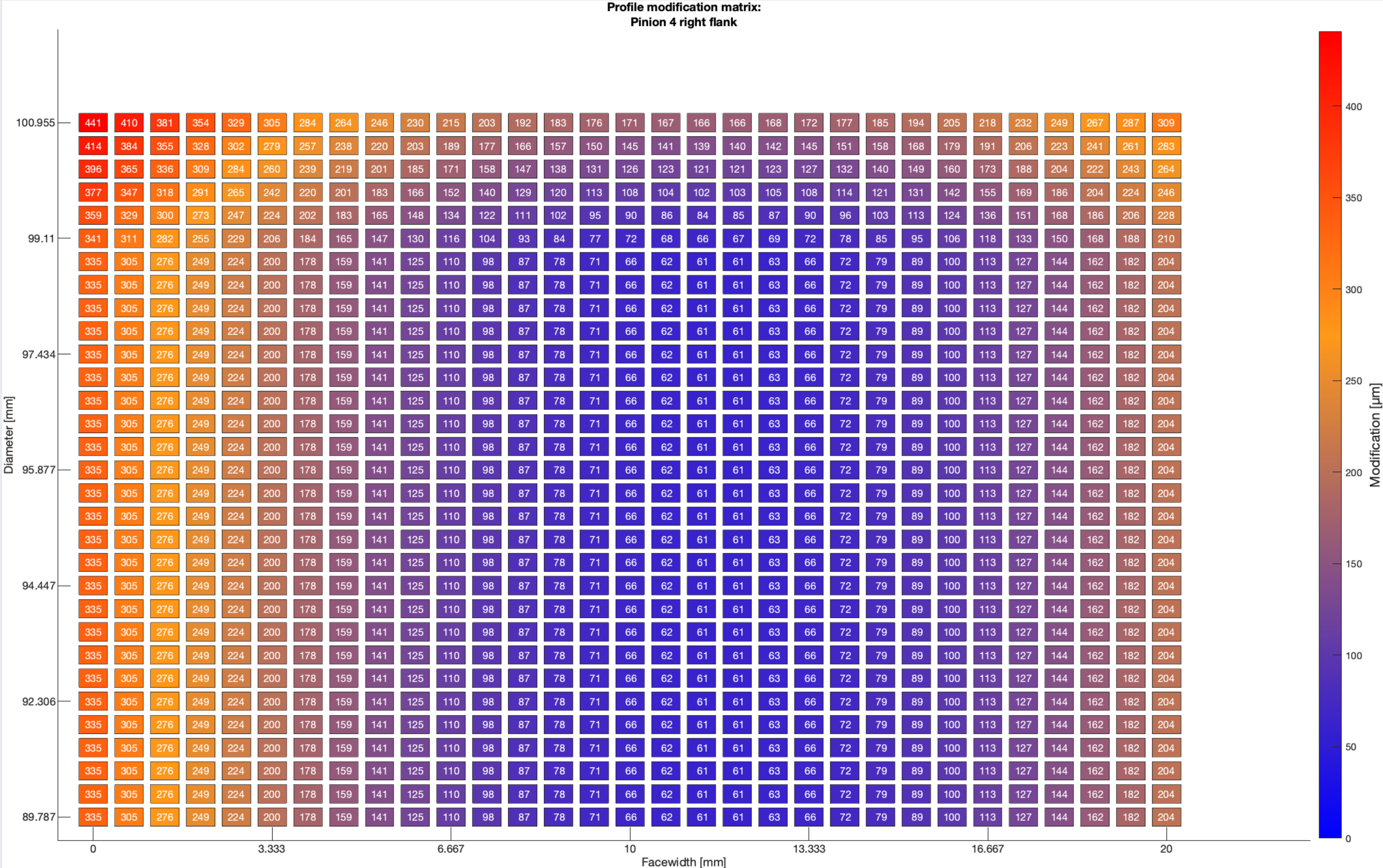


Bombatura dell'evolvente:
un parametro

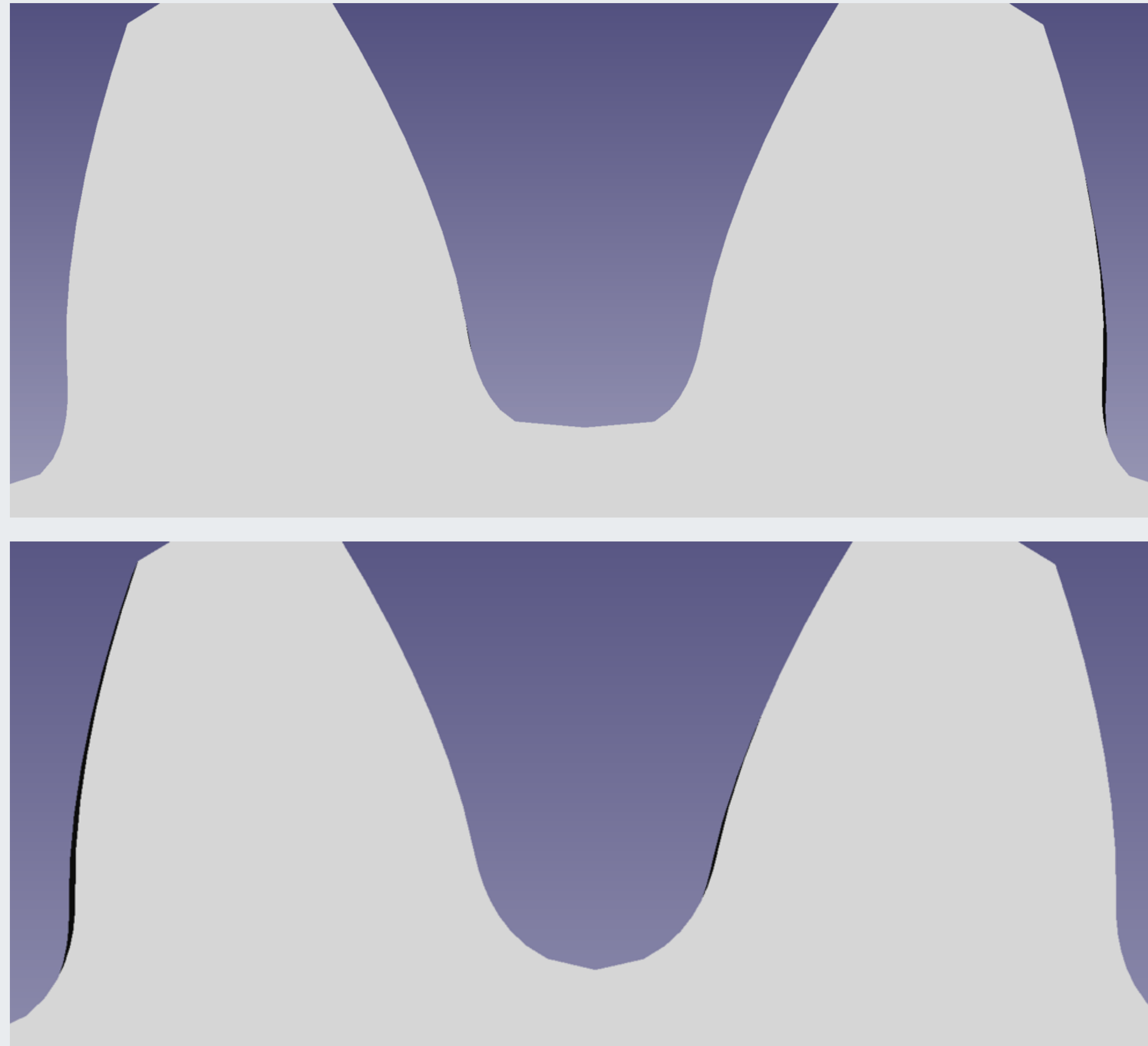
$C_{H\beta}$: quantità di materiale asportato



Microgeometria: mappa delle modifiche

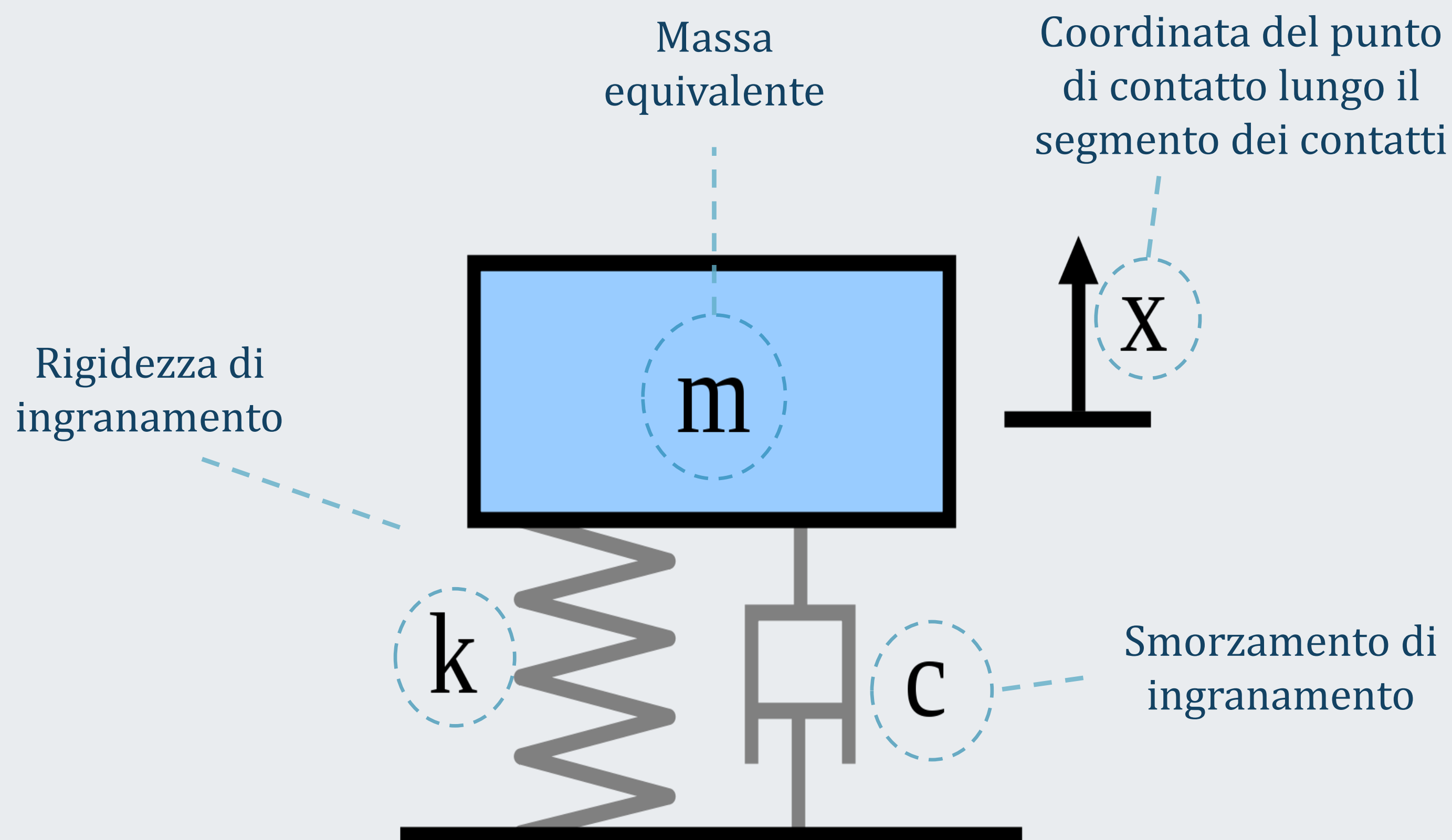


Taglio del fondo dente

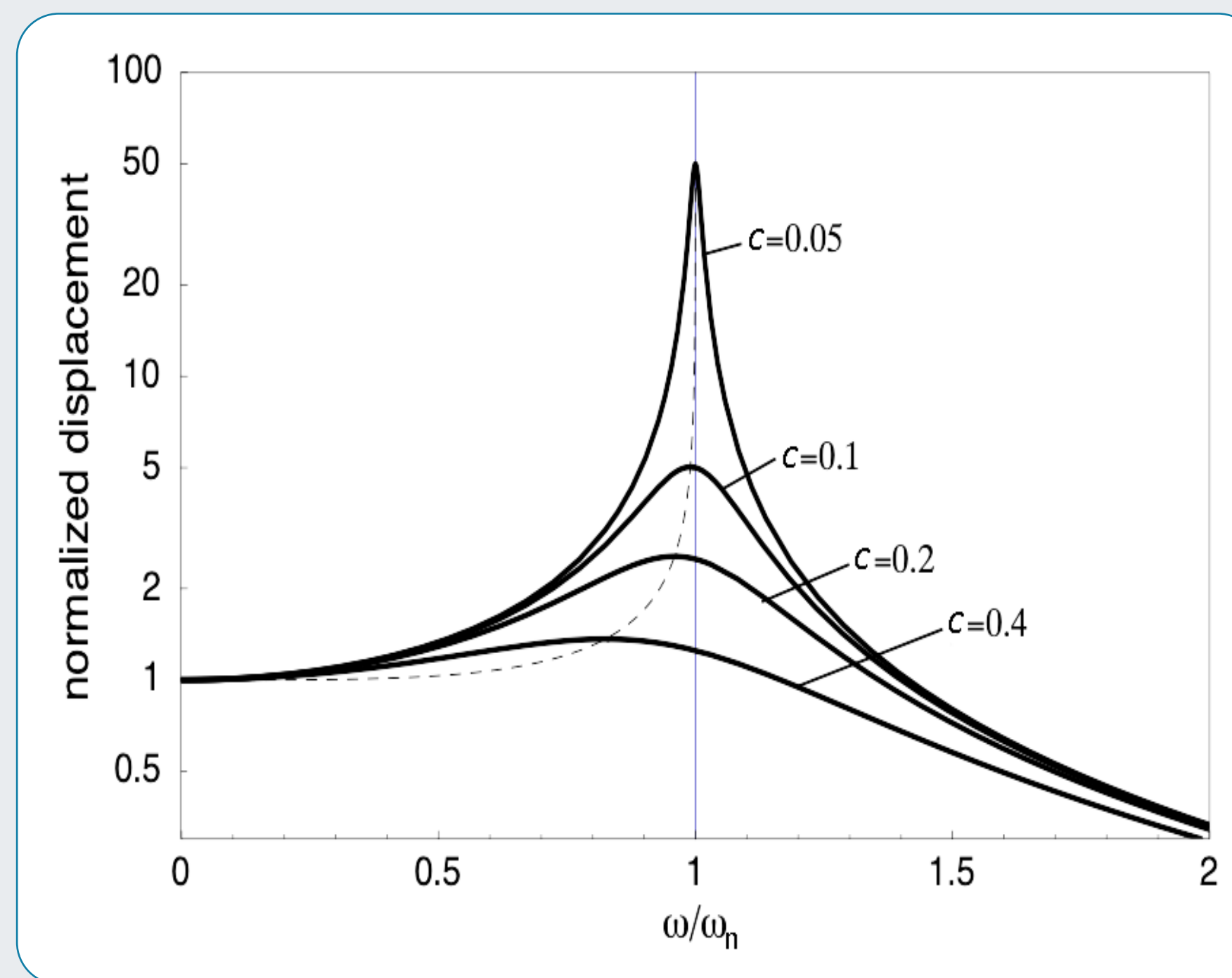


Dinamica di ingranamento

Modello 1D model massa-smorzatore-molla



Risposta forzata



Equazione del moto

$$m_e \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F$$

Dinamica di ingranamento

Massa equivalente

- Ruote considerate come serie di elementi condensati in uno unico
- Masse ricavate dalle proprietà inerziali delle ruote e dal raggio base
- Massa equivalente dipende da inerzia e raggi base

$$\frac{1}{m_e} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}$$

$$m_1 = \frac{J_1}{r_{b1}^2} \quad m_2 = \frac{J_2}{r_{b2}^2}$$

$$m_e = \frac{J_1 J_2}{J_1 r_{b2}^2 + J_2 r_{b1}^2}$$

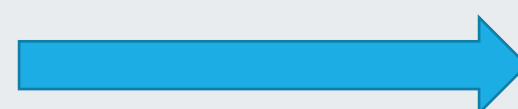
Smorzamento equivalente

Influenzato da:

Attrito

Smorzamento interno

Lubrificazione



Critical damping range:

$$0.05 \leq \zeta \leq 0.1$$

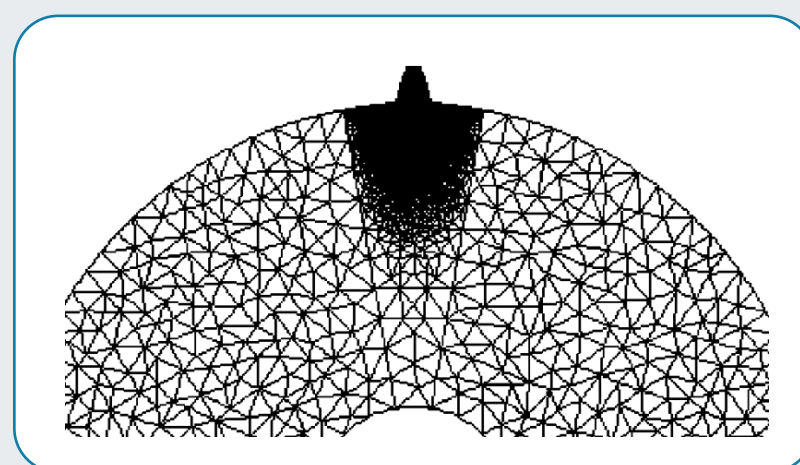
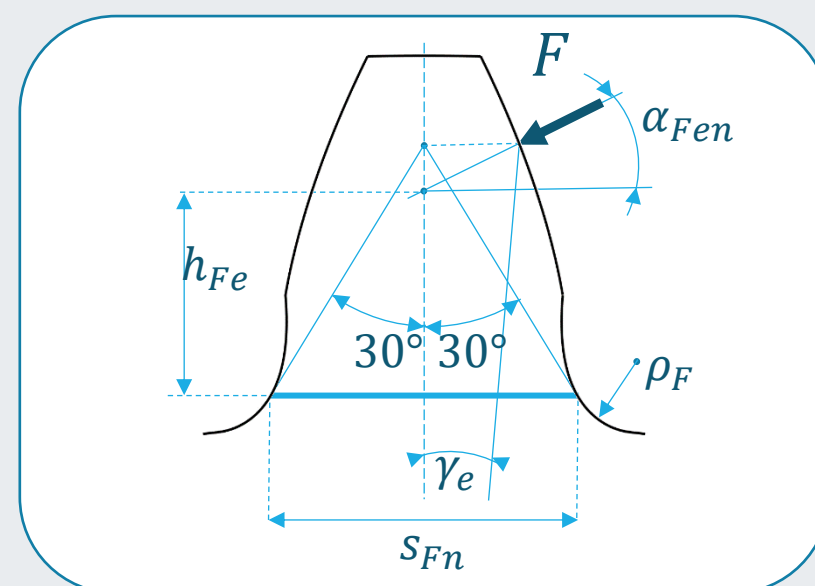
Dinamica di ingranamento

Rigidità equivalente

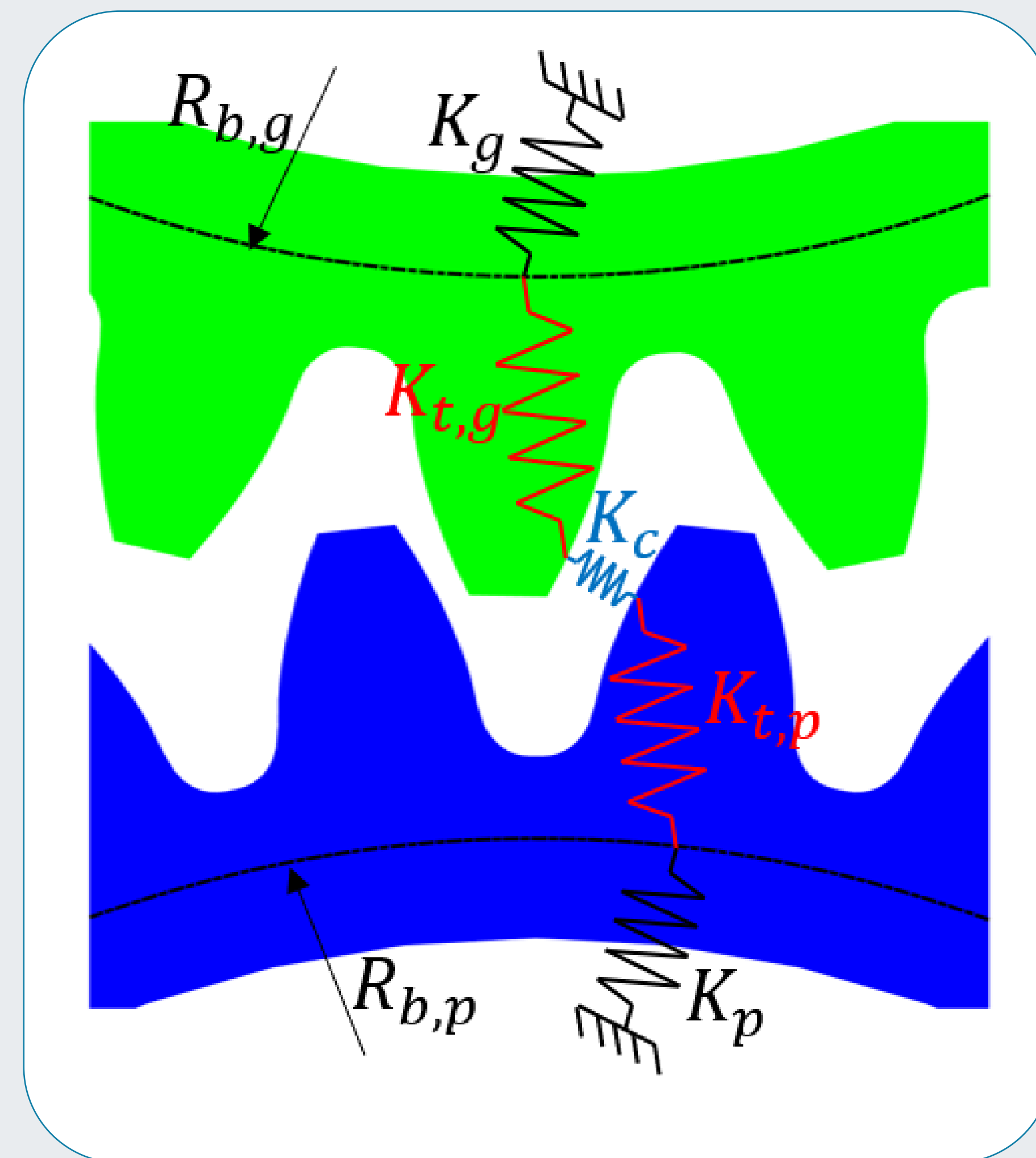
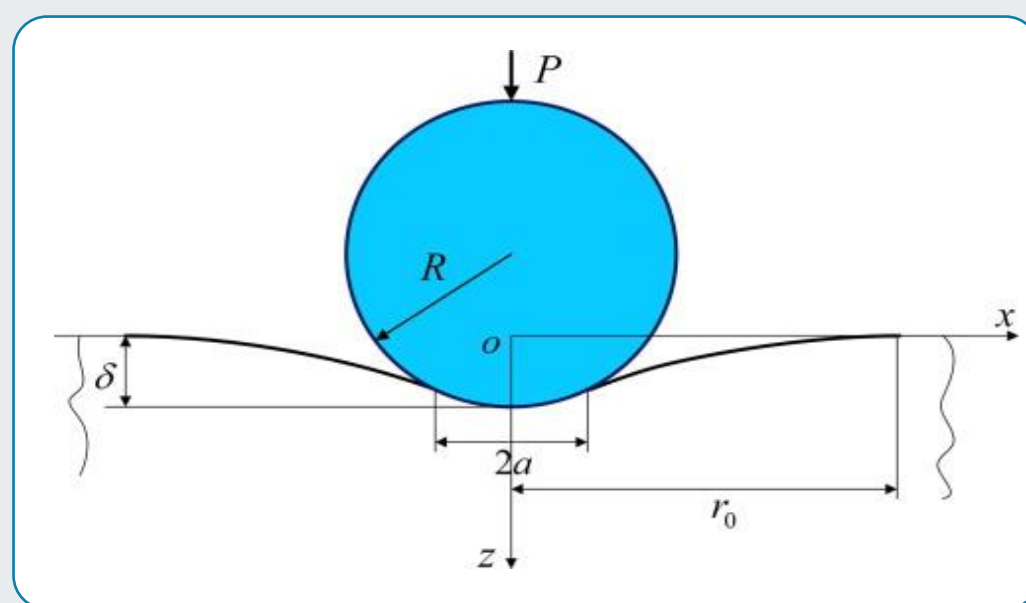
Le ruote sono considerate come una **serie di molle**:

Corpo Ruota K_P, K_G

Dente $K_{t,p}, K_{t,g}$



Contatto K_C



Dinamica di ingranamento

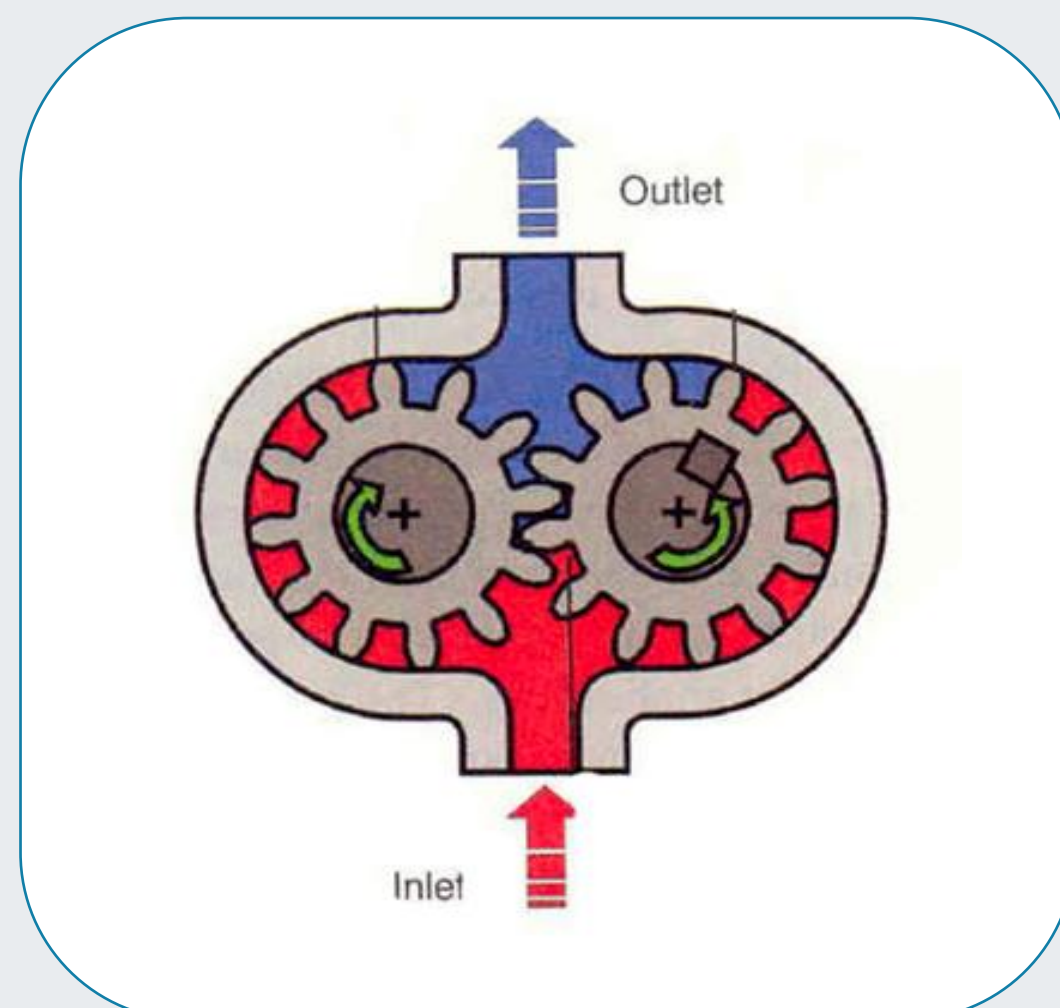
Sorgenti di vibrazione

Noise, Vibration and Harshness (NVH) sono generalmente creati da:

Sorgenti esterne



Variazione di coppia



Sorgenti interne



Transmission Error
(TE)

Manufacturing Transmission
Error (MTE)

Static Transmission
Error (STE)

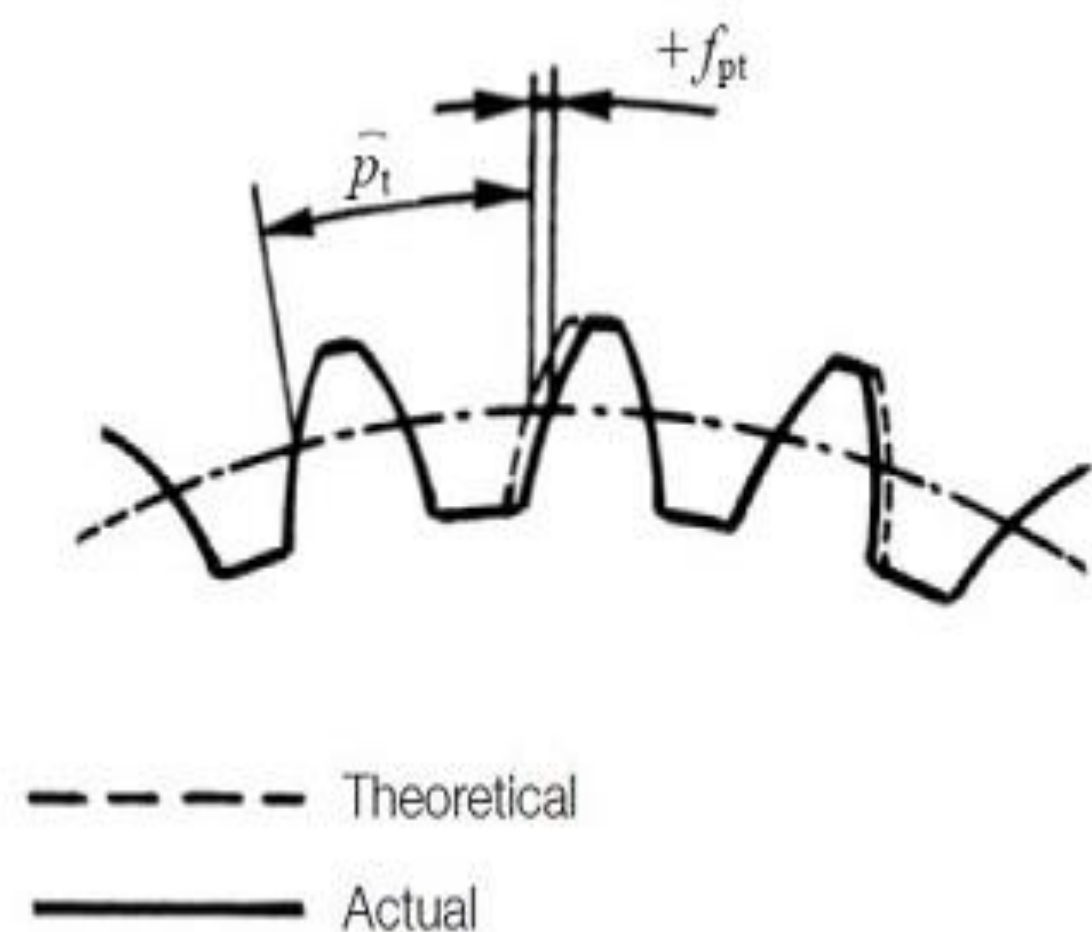
Dynamic Transmission
Error (DTE)

Dinamica di ingranamento

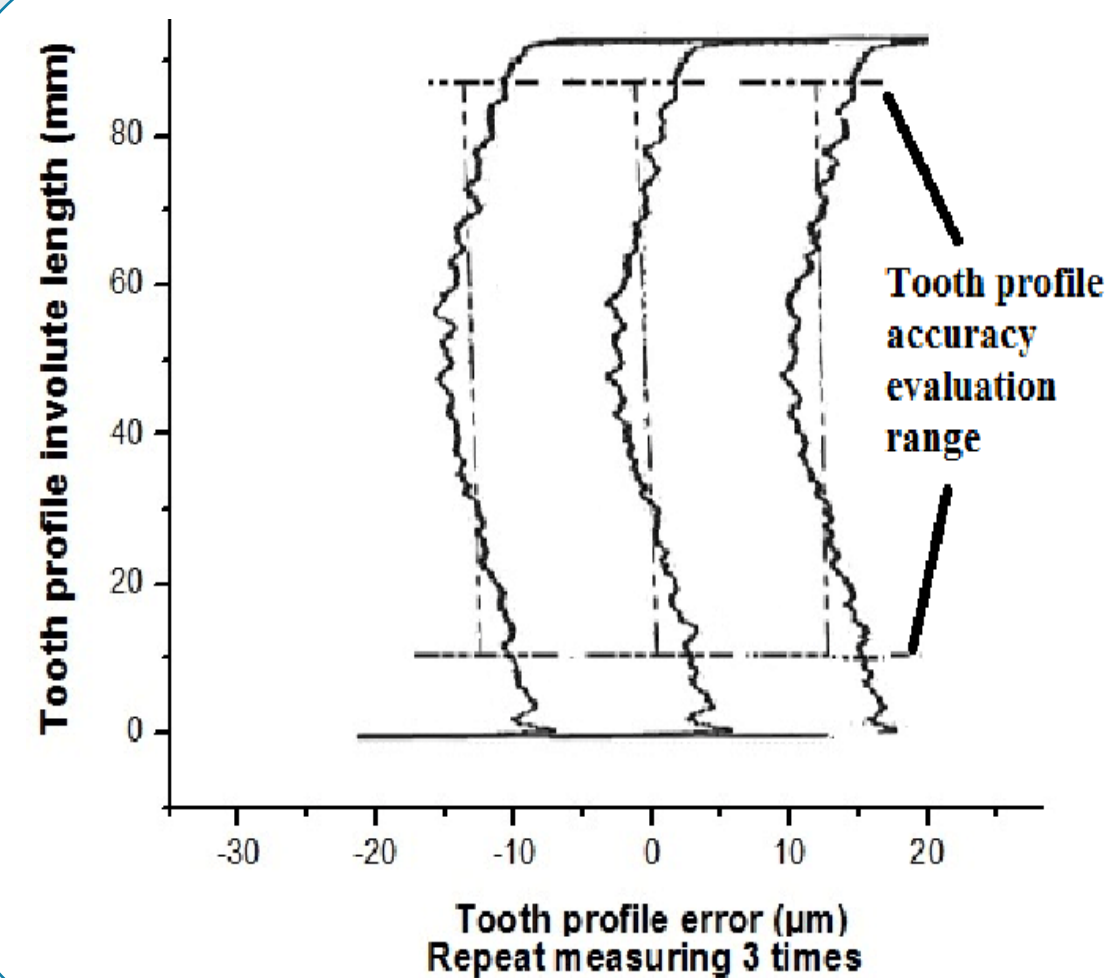
Errori di produzione MTE

Geometry of the
tooth

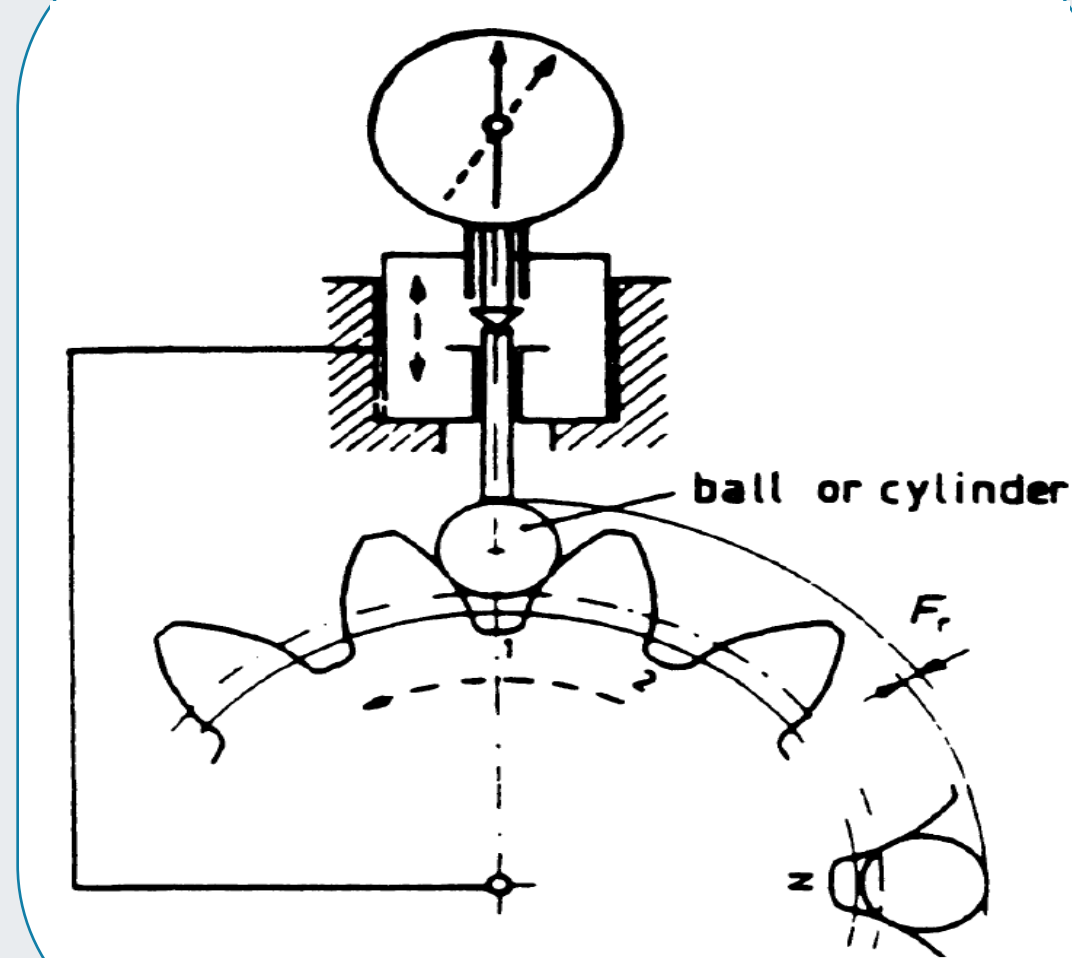
Geometry of the
system



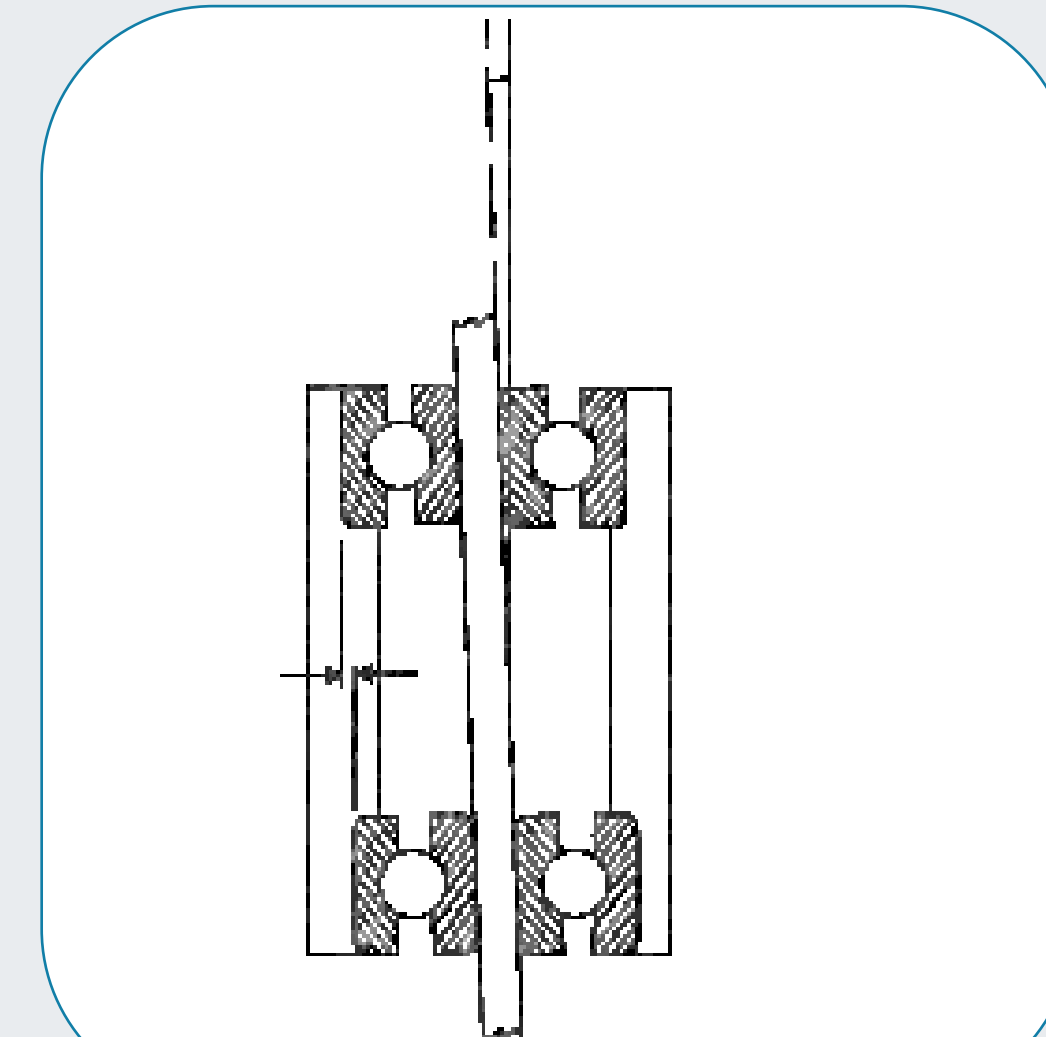
Pitch error



Tooth profile accuracy



Runout



Misalignment

Dinamica di ingranamento

Errore statico di trasmissione

STE

$$STE = \theta_1 r_{b,1} - \theta_2 r_{b,2} \text{ [mm]}$$

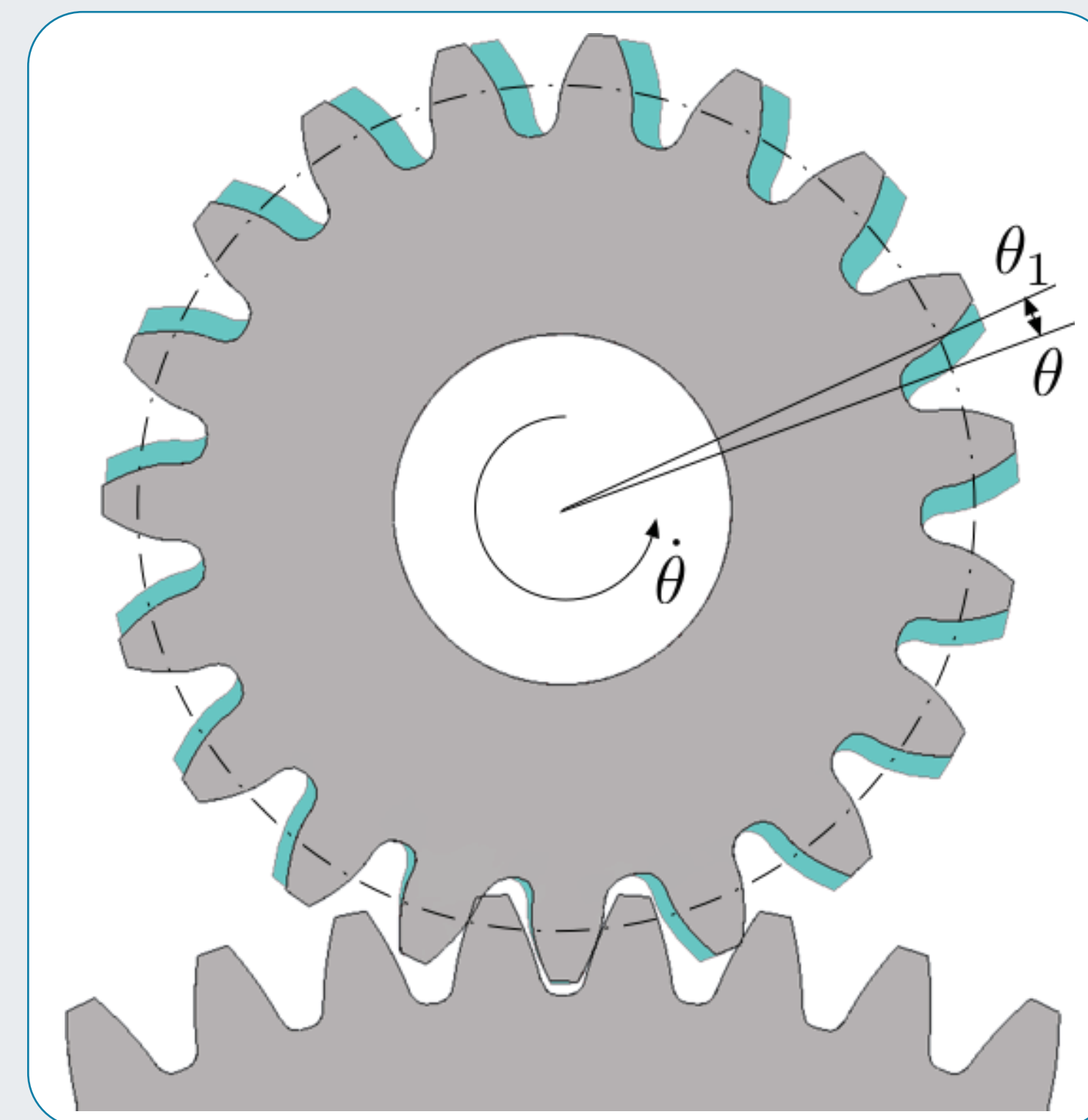
$$STE = \theta_1 - \theta_2 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Condizioni quasi statiche, le ruote si muovono molto lentamente

Assenza di errore di manifattura



Errore statico di trasmissione causato solamente dall'applicazione del carico



Dinamica di ingranamento

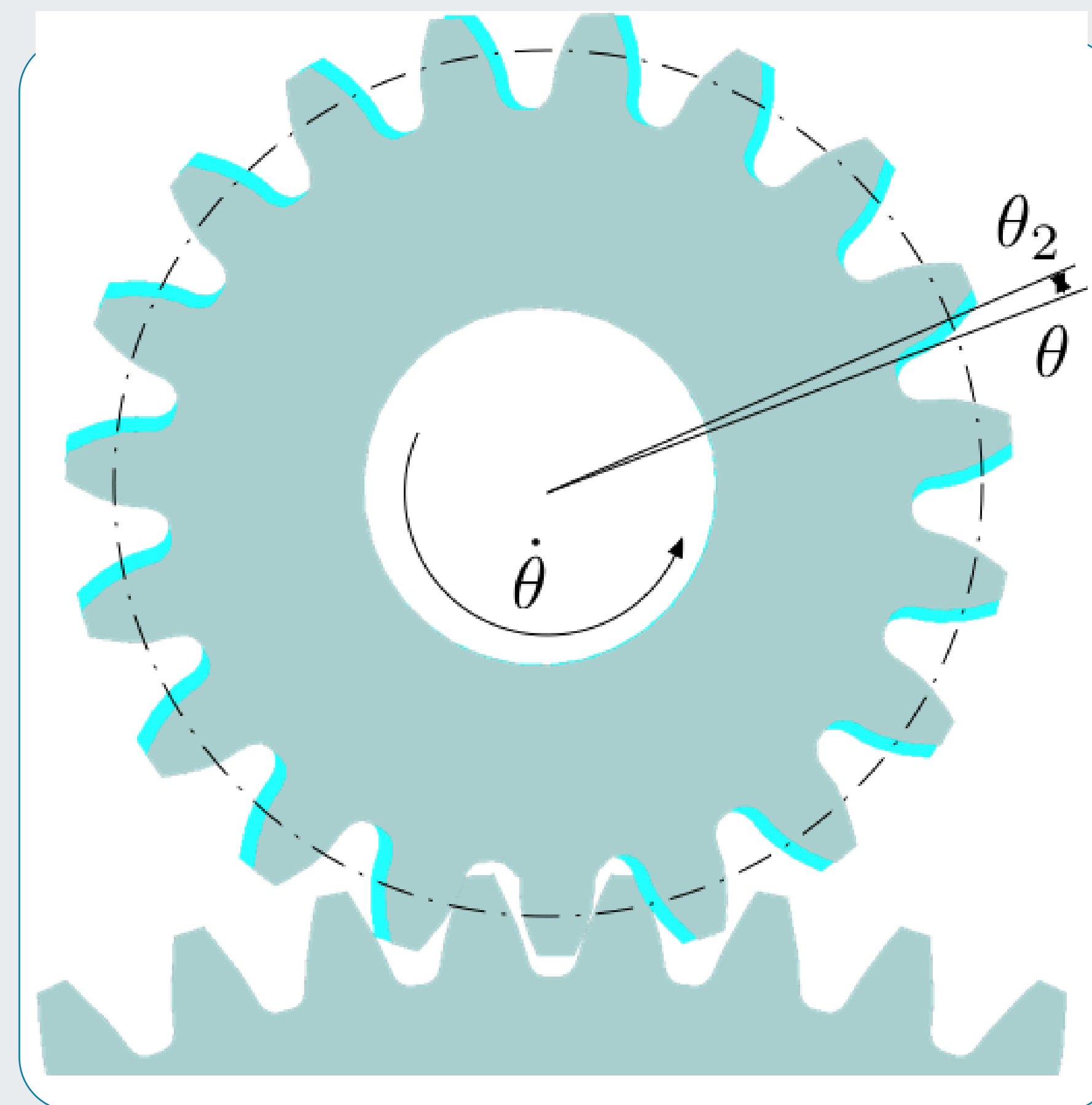
Errore dinamico di
trasmissione DTE

$$DTE = r_{b,1}v_1(t) - r_{b,2}v_2(t) \quad [mm]$$

Velocità tangenziali differenti
 $v_1(t) \neq v_2(t)$

Ad alta velocità è difficile
distinguere i diversi
contributi di errore

L'errore dinamico di trasmissione è il maggior
responsabile delle problematiche di usura,
rottura e rumorosità



Dinamica di ingranamento

Problemi di vibrazione

Gear Mesh TE
Component to optimize



Gearbox
TE influences the
gearbox



In abitacolo arriva il
rumore



Rumorosità percepita



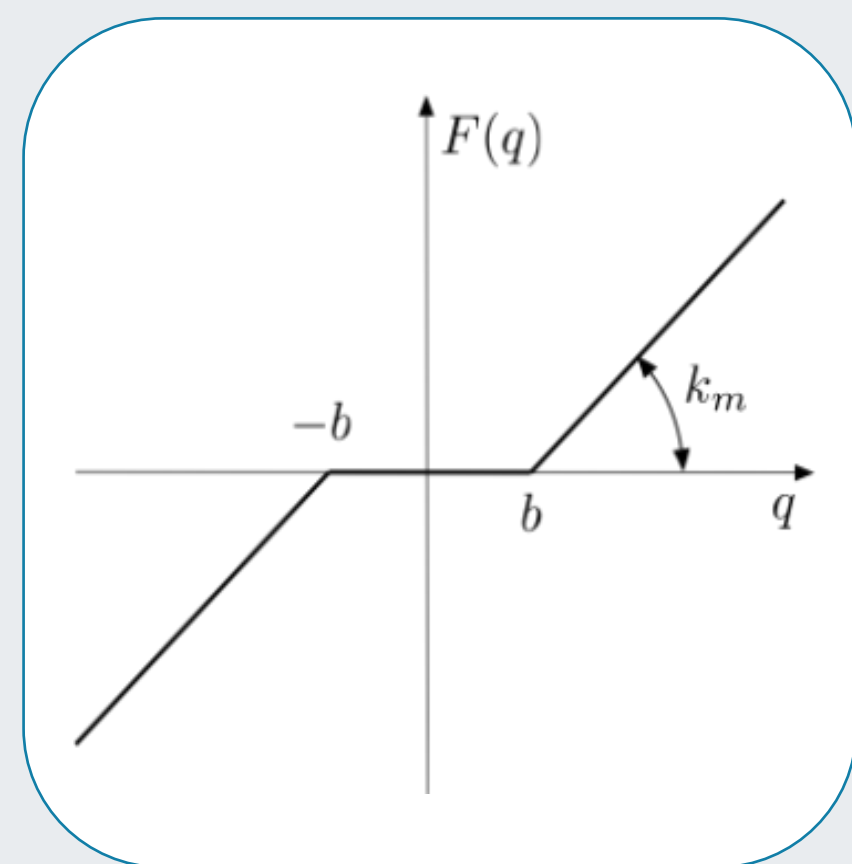
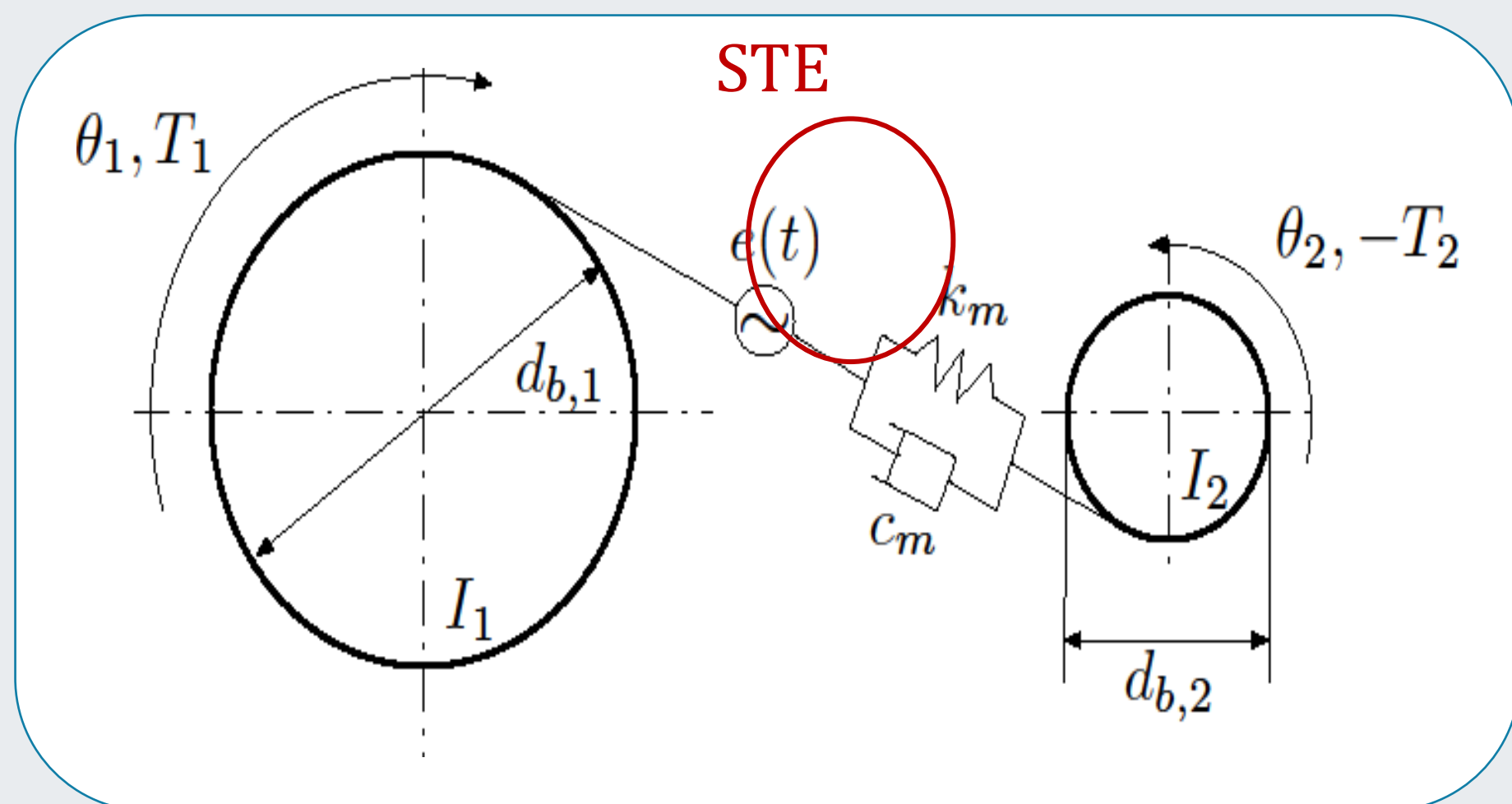
Cedimenti precoci
Pitting dovuto ai
sovraccarichi



Dinamica di ingranamento

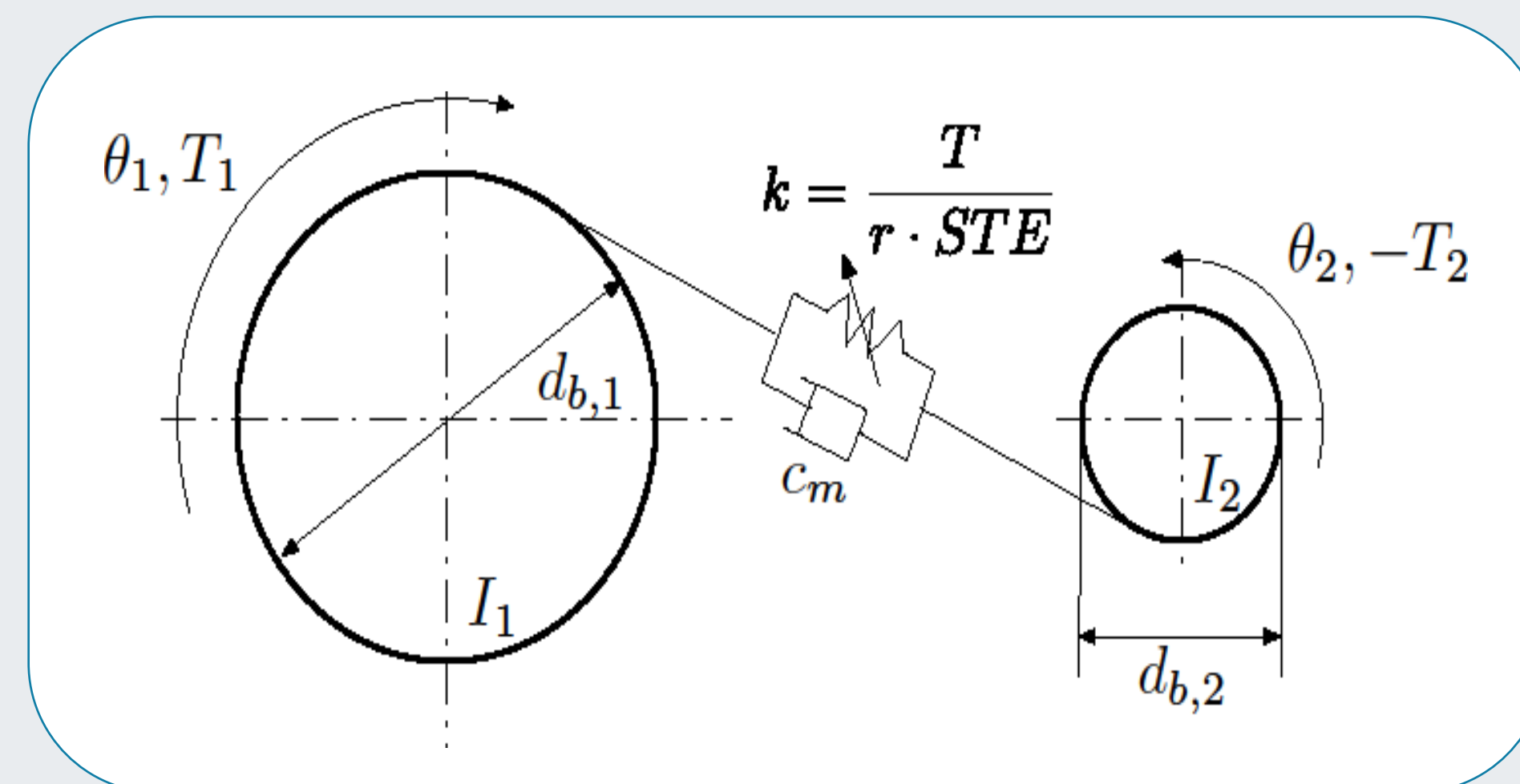
Modelli a parametri concentrati

Kahraman and Singh's
model (1990)

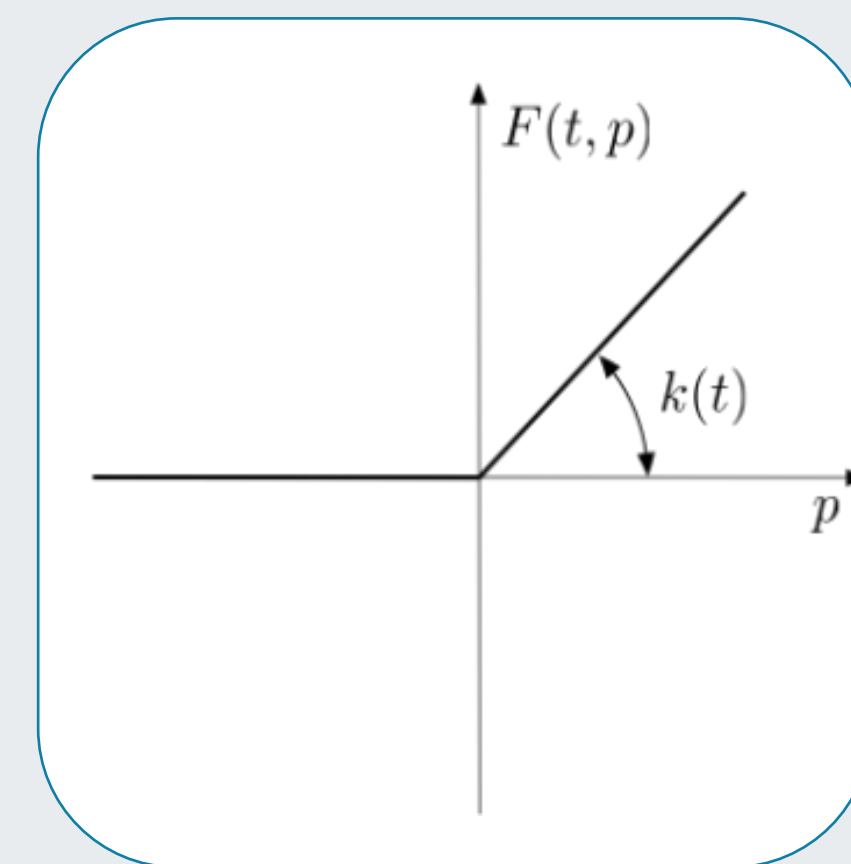


STE è eccitazione
esterna

Parker's
model (2000)

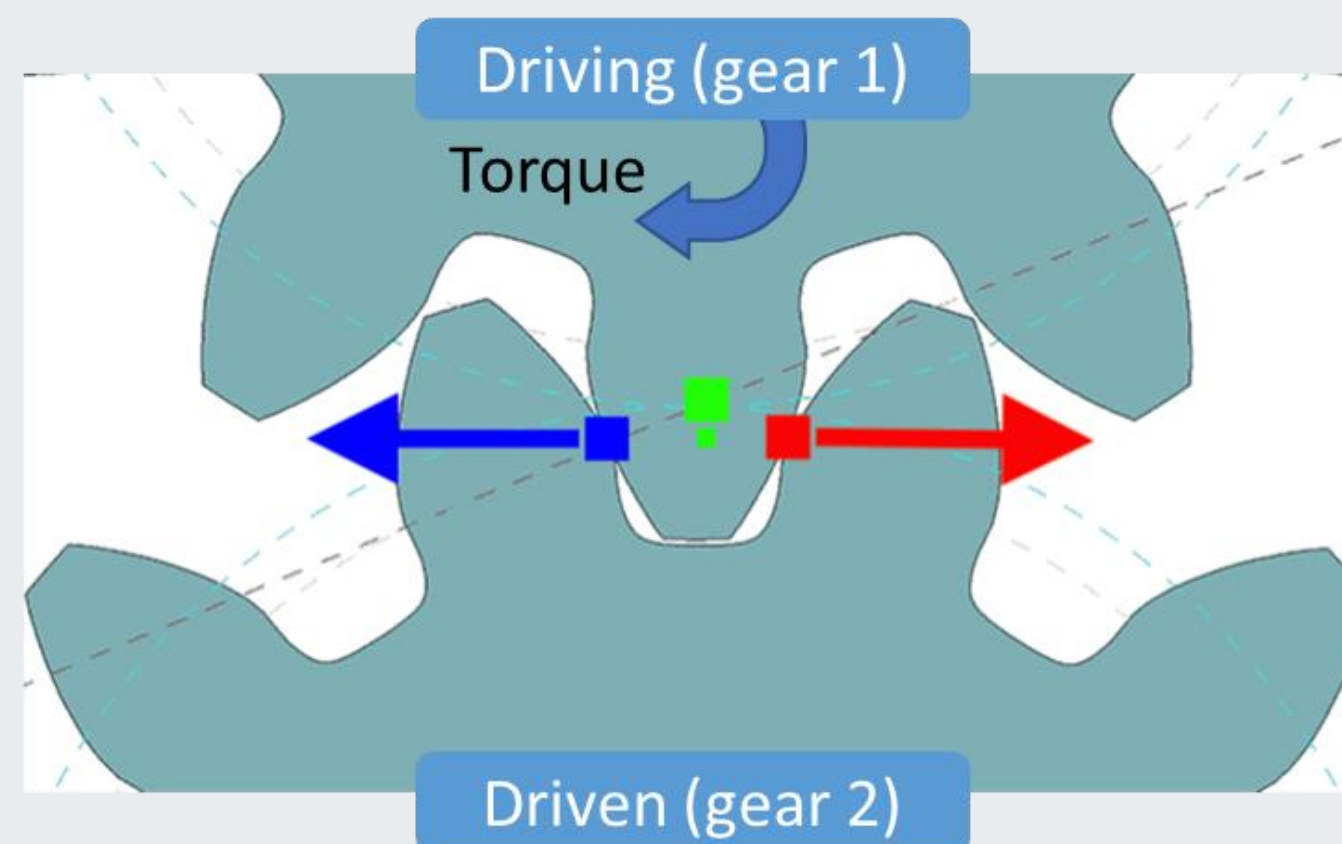
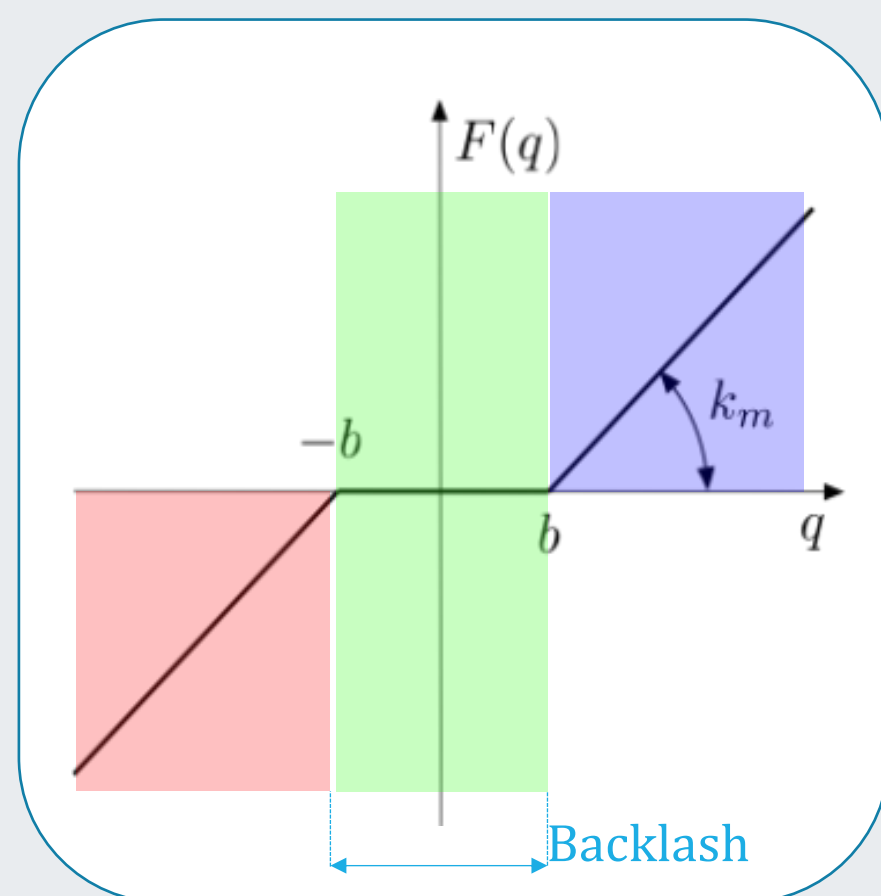
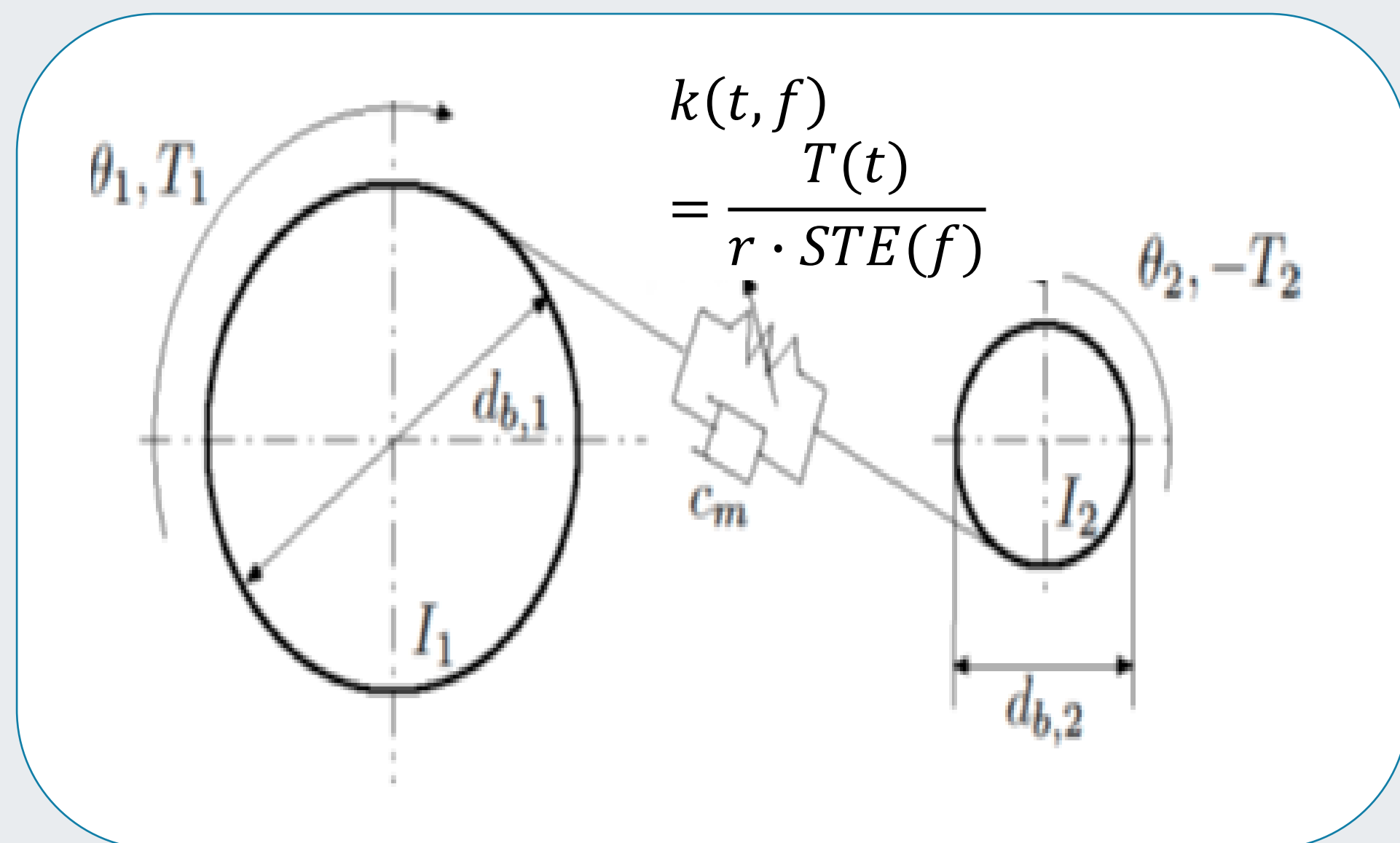


STE è
autoeccitazione
intrinseca



Dinamica di ingranamento

GeDy TrAss 1D model



Accoppiamento tra le
ruote con qualsiasi
modifica di
profilo(TPM)



OptiMicro
Modello quasi statico:

- STE lookup-table a coppie differenti
- STE a coppia singola



1D dynamic model

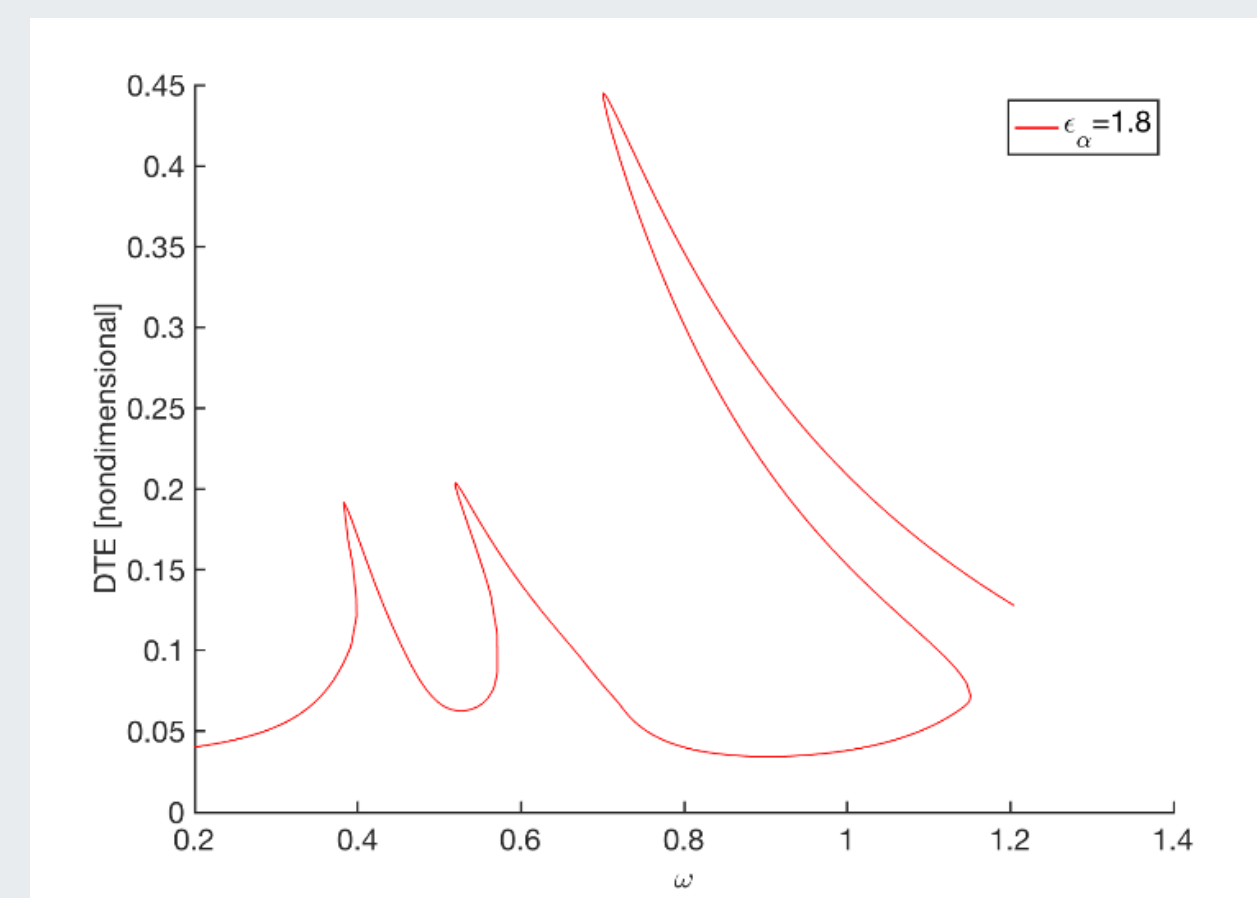
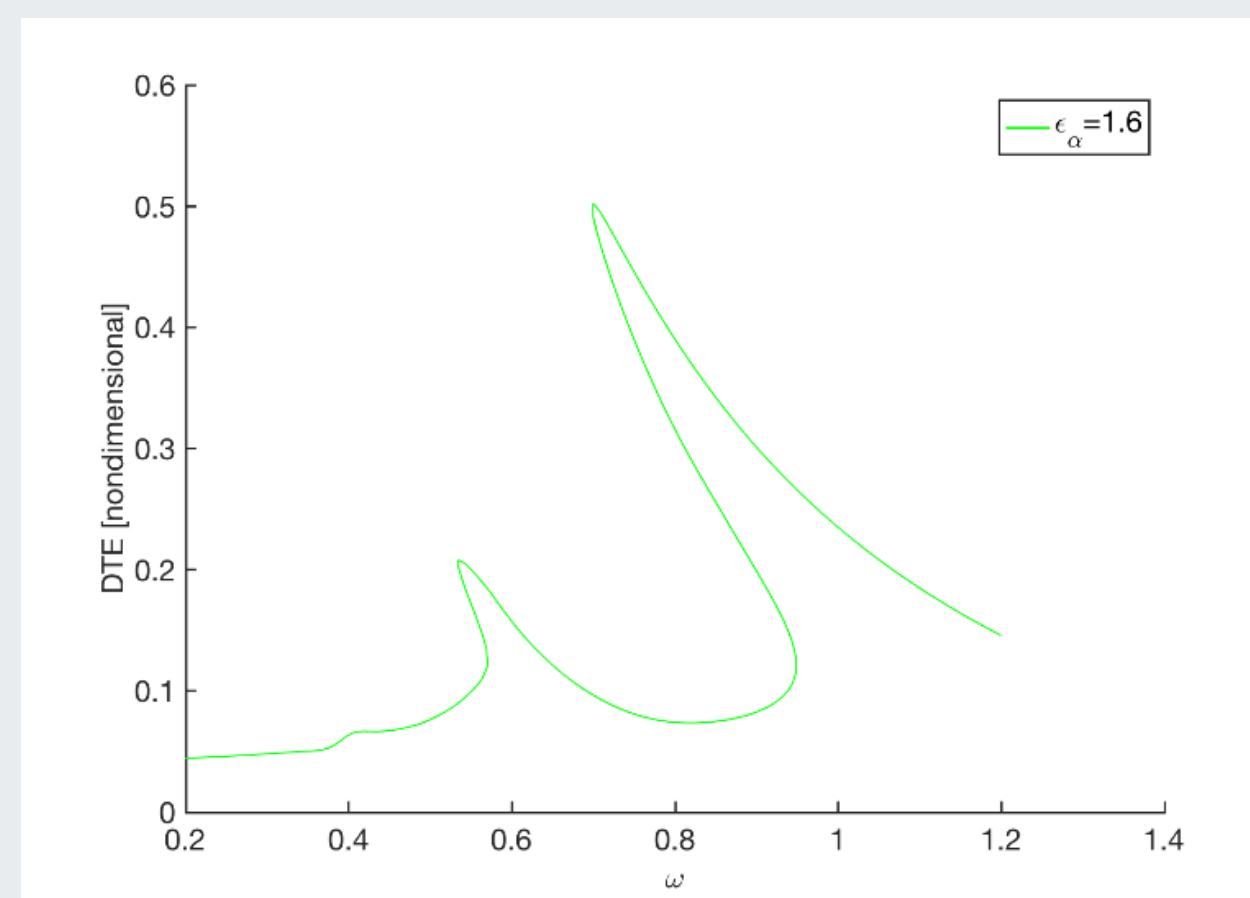
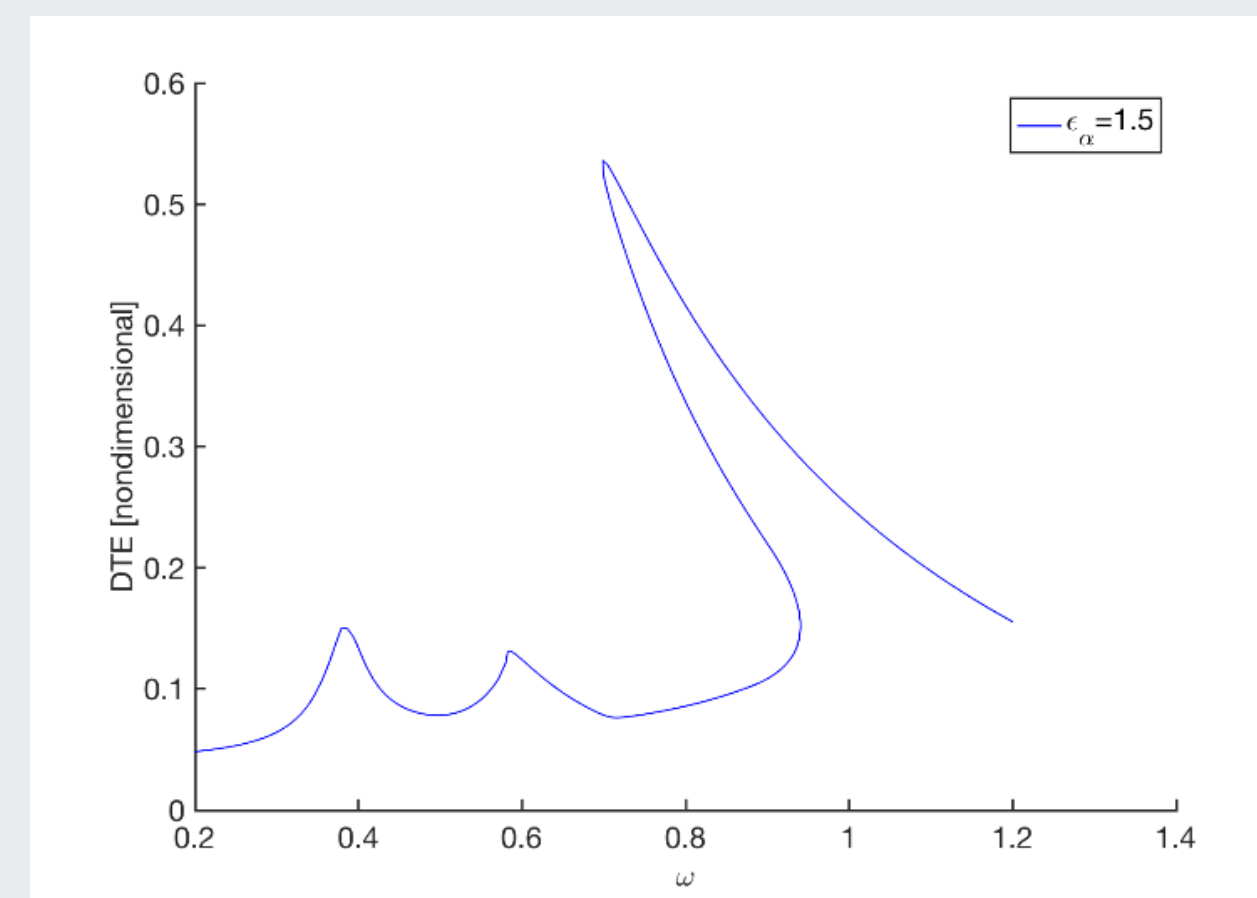
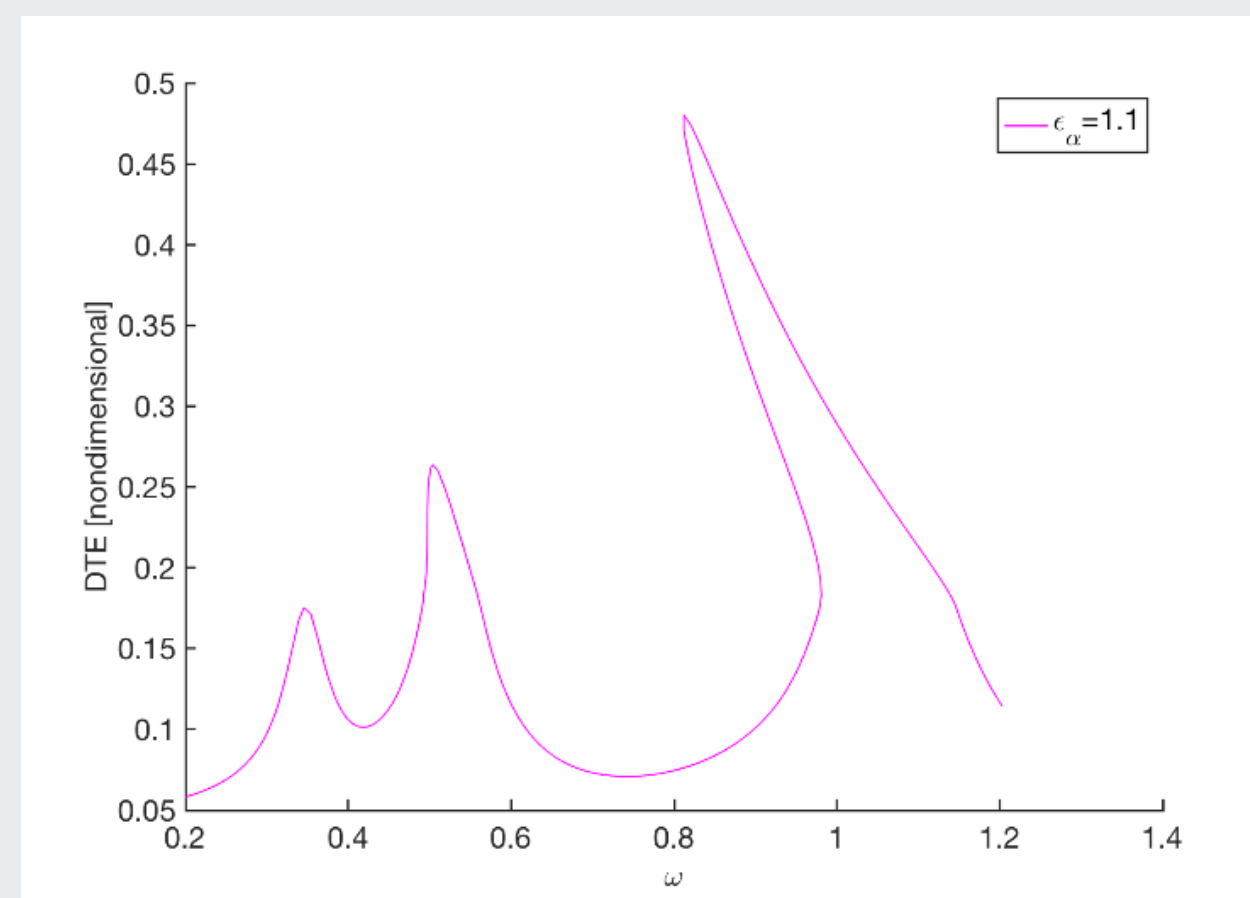
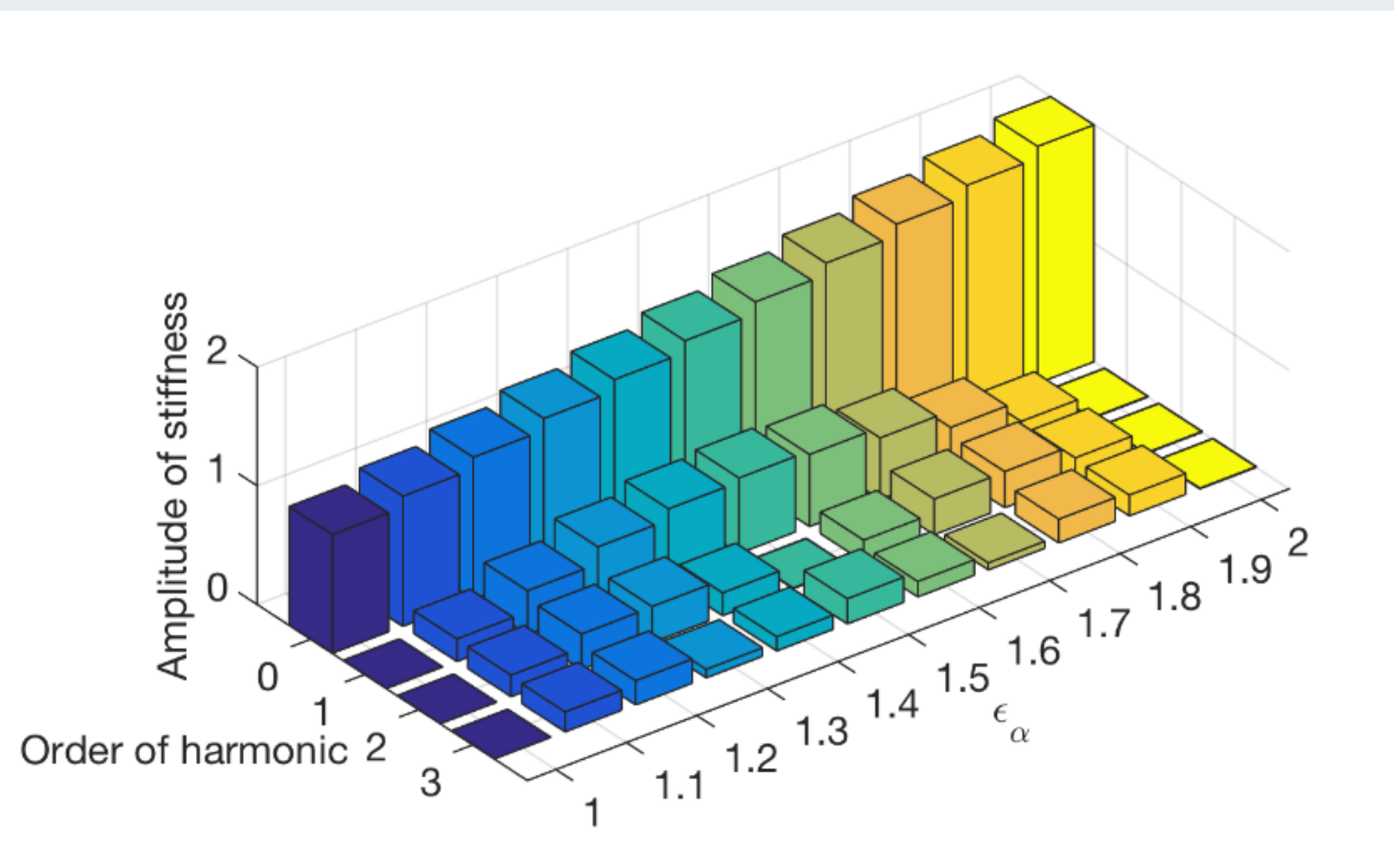
- Velocità variabile o costante

E' possibile calcolare:

- DTE and DF
- Nonlinearità

Effetti macrogeometria

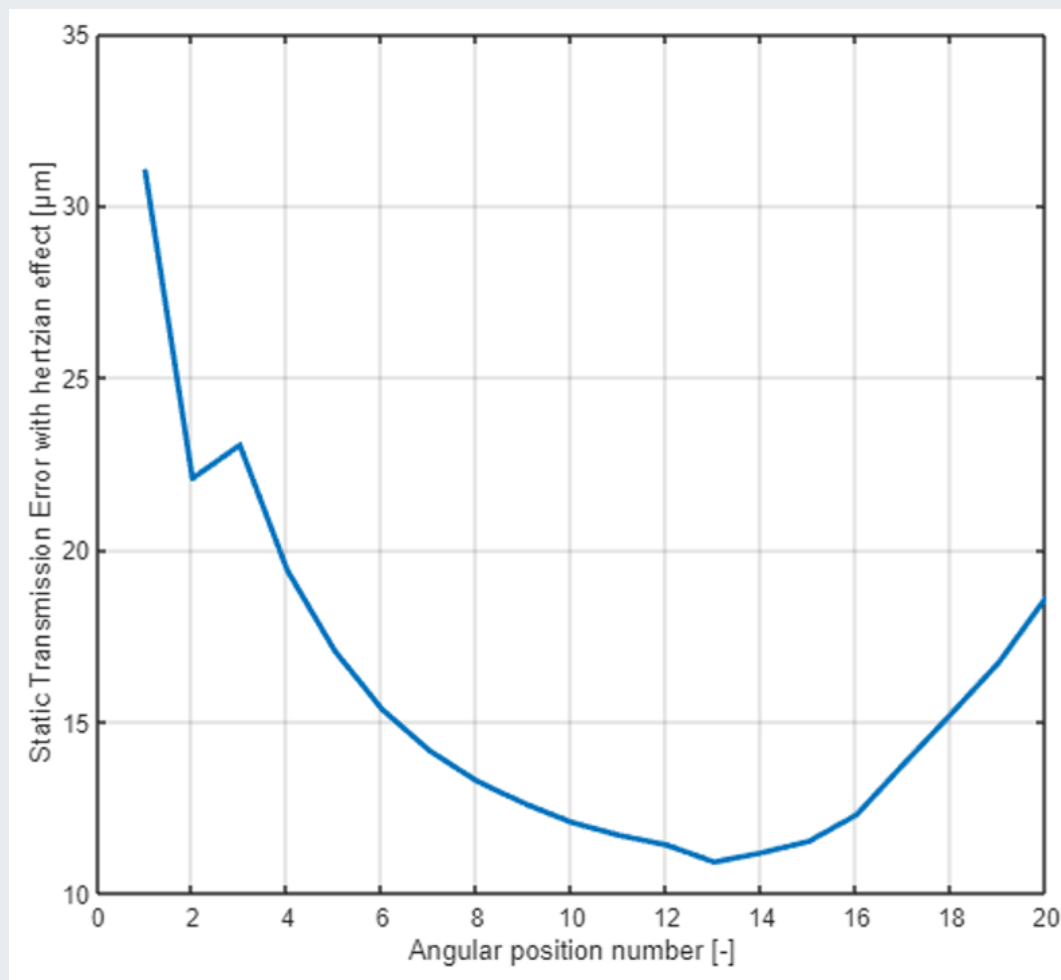
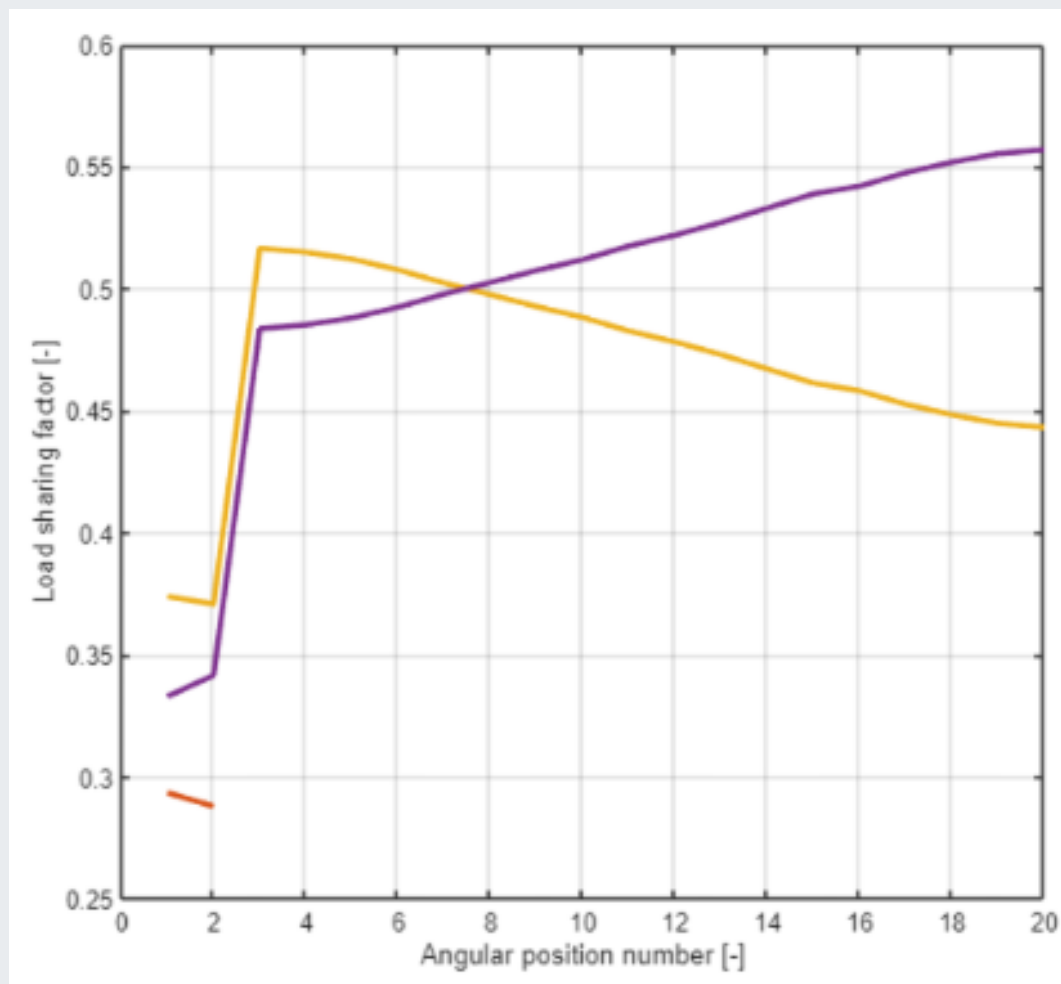
Rapporto di condotta



Macrogeometria: effetti

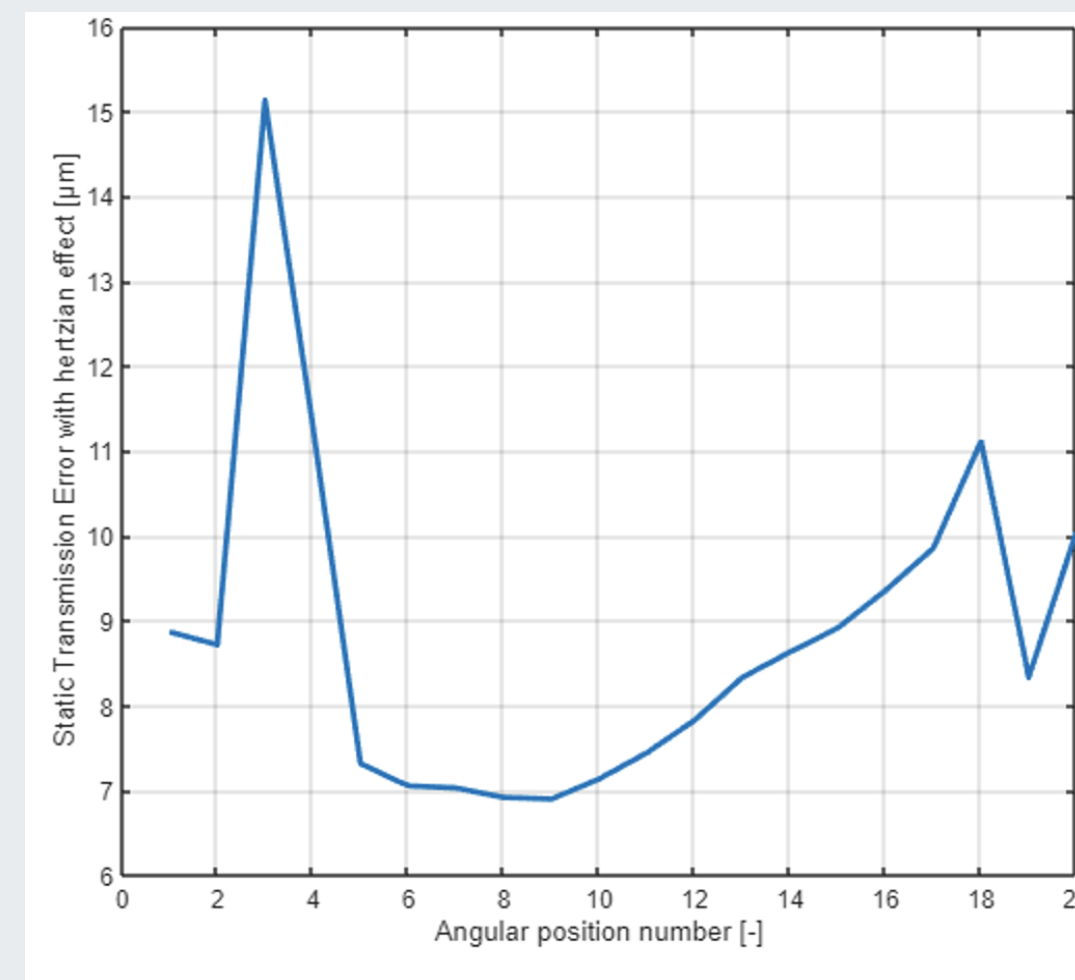
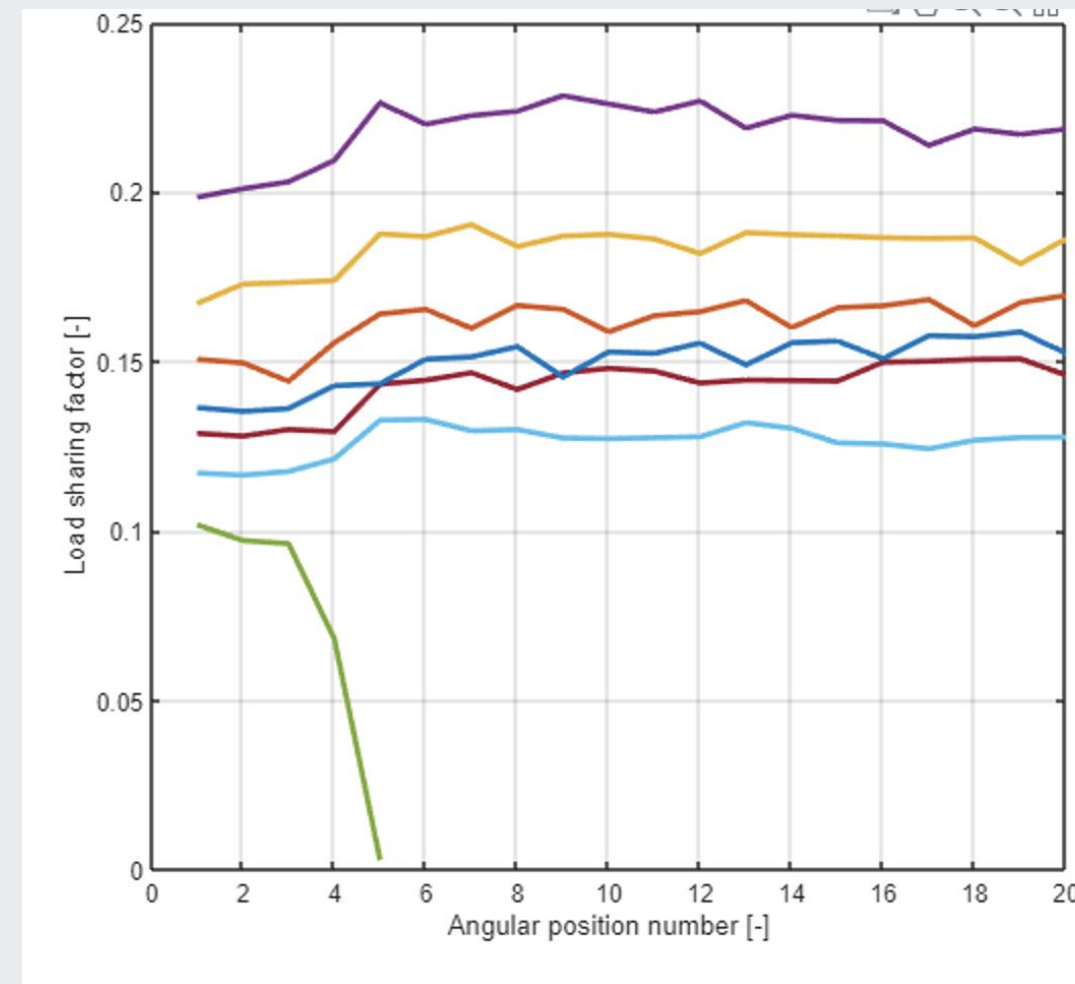
Dimensionamento con Lewis

$z_1 = 13$; $z_2 = 34$; $m_n = 3.75$ mm; $\beta = 7^\circ$
 $x_1 = 0.363$, $x_2 = -0.024$



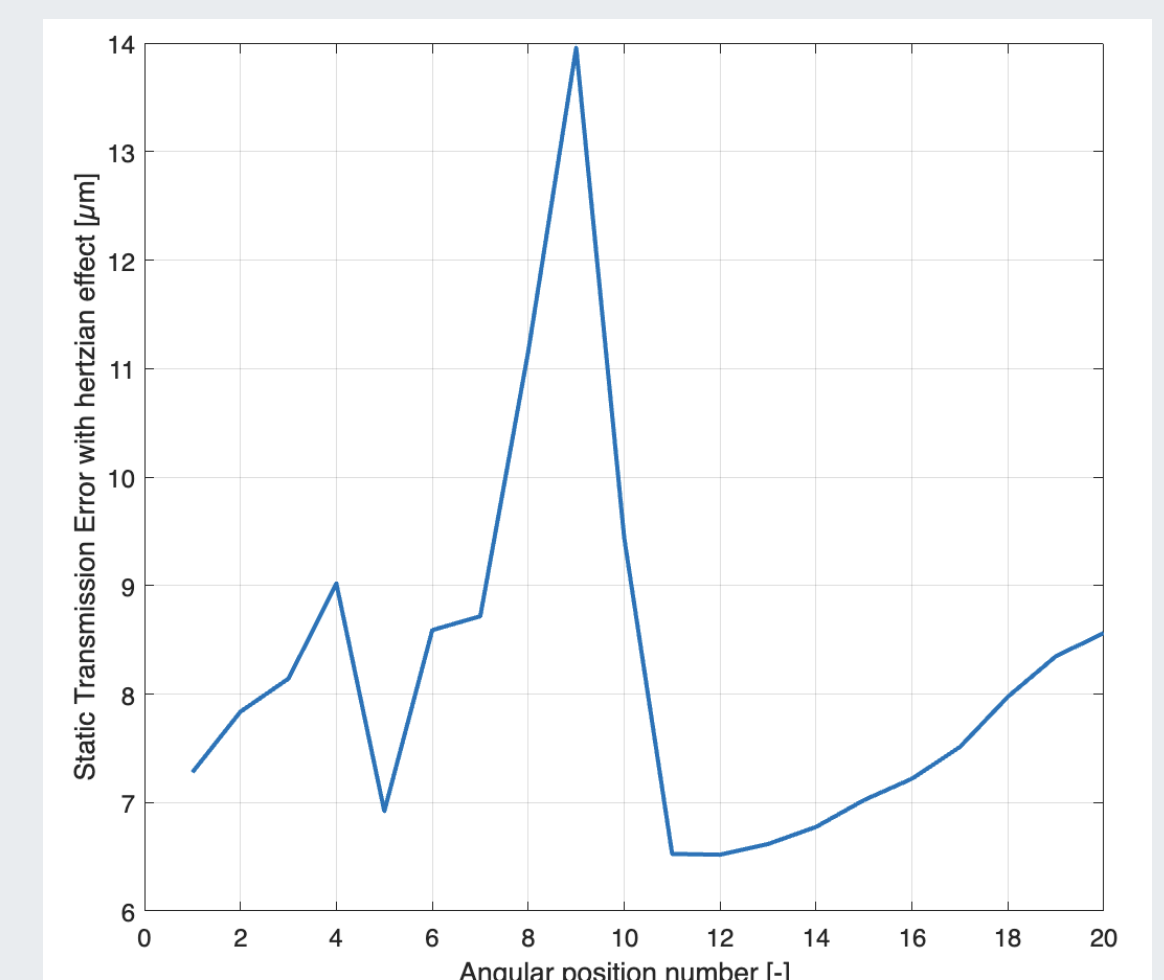
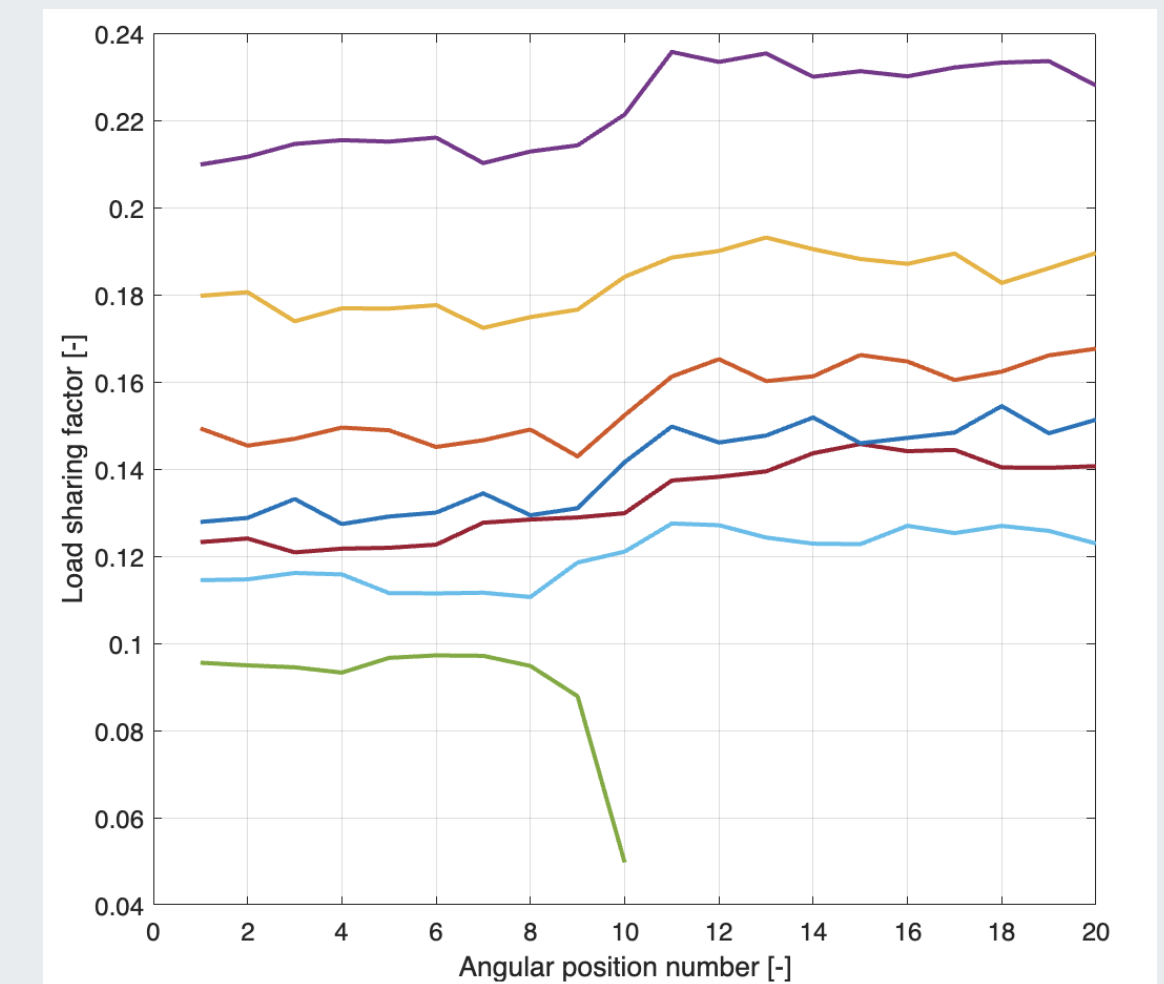
Design alternativo 2

$z_1 = 47$; $z_2 = 125$; $m_n = 1$ mm; $\beta = 17^\circ$
 $x_1 = 0.071$, $x_2 = 0$



Design alternativo 3

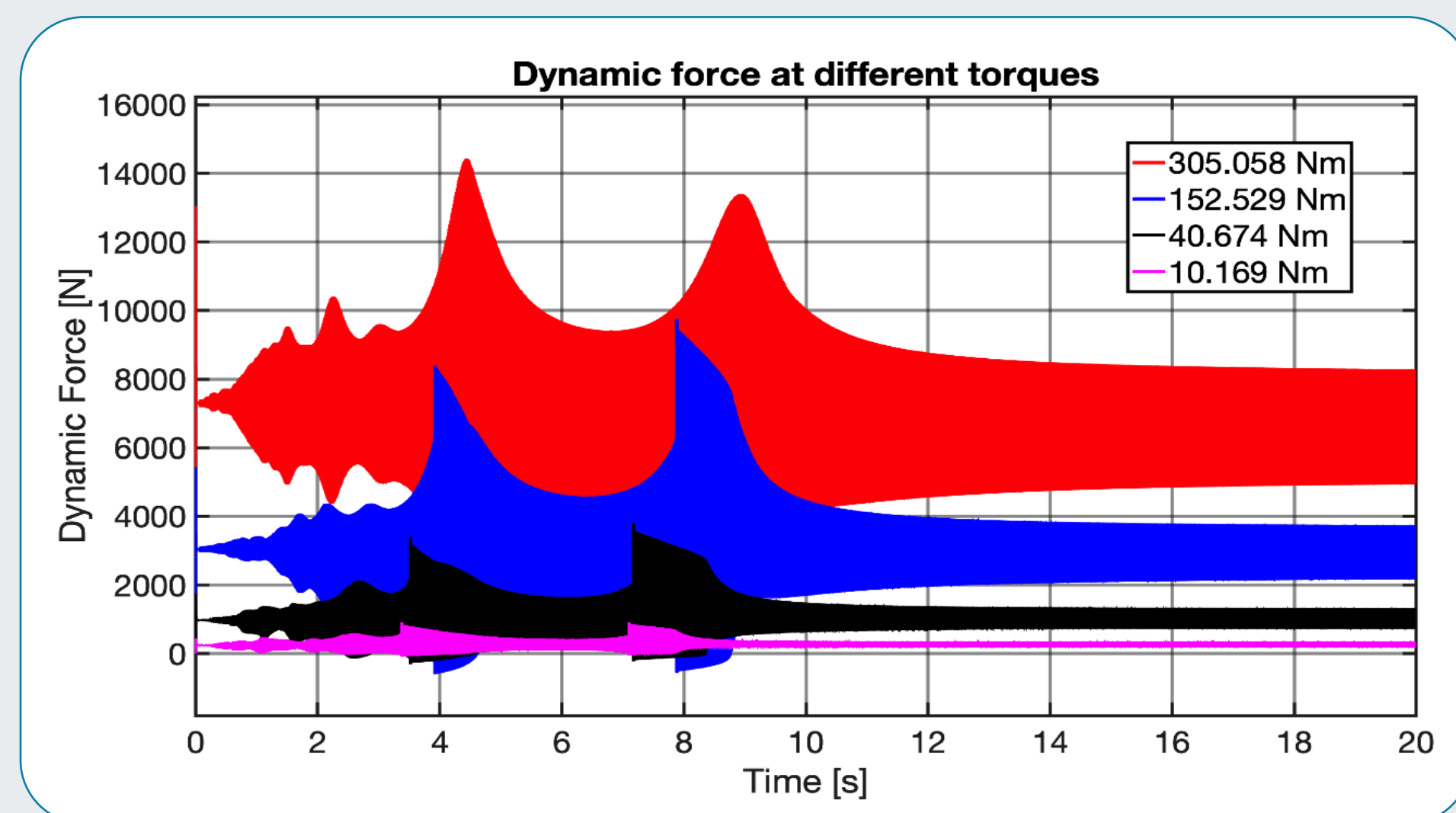
$z_1 = 47$; $z_2 = 125$; $m_n = 1$ mm; $\beta = 17^\circ$
 $x_1 = 0.071$, $x_2 = 0$, $h_{fP} = 1.7$, $h_{aP} = 1.4$



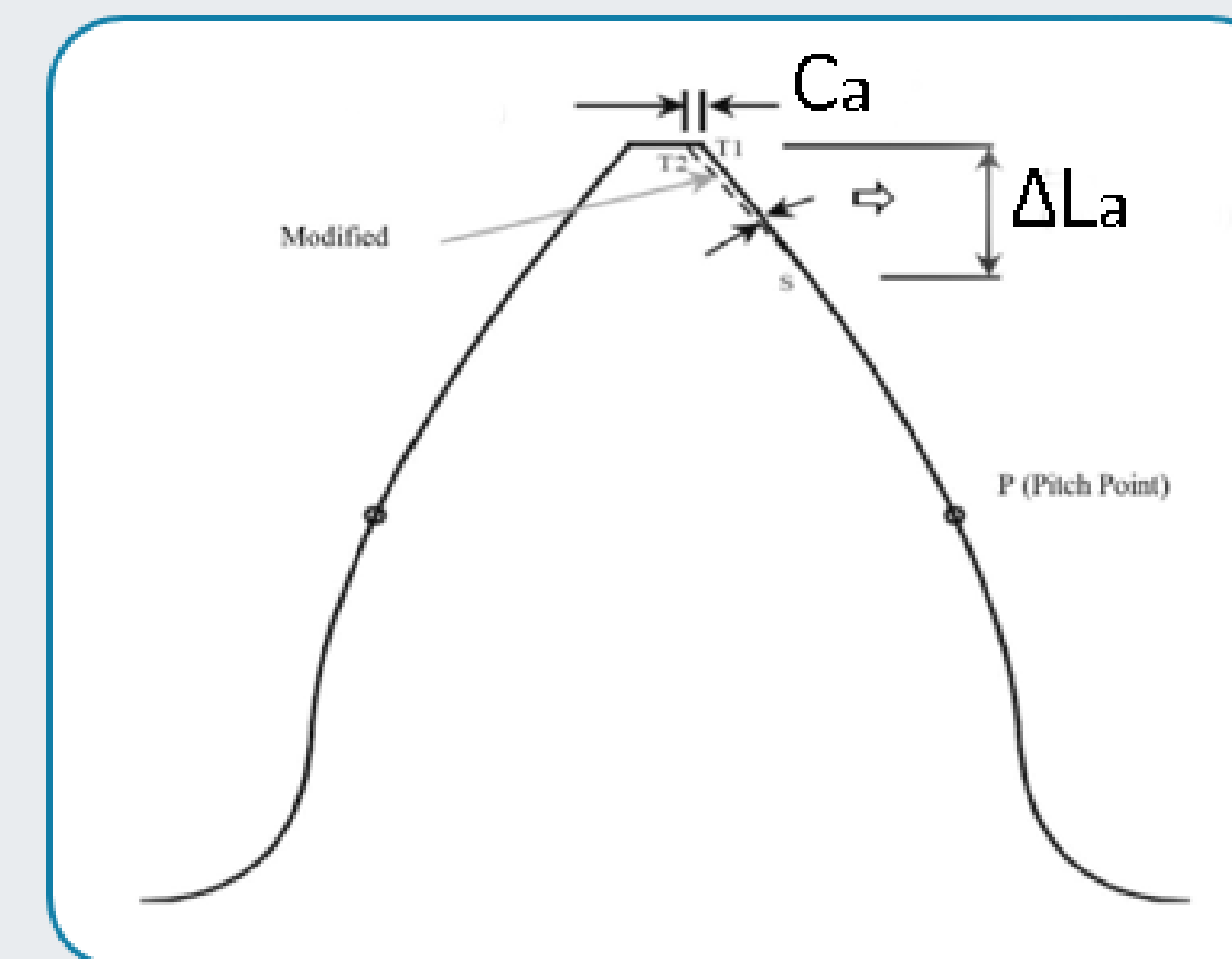
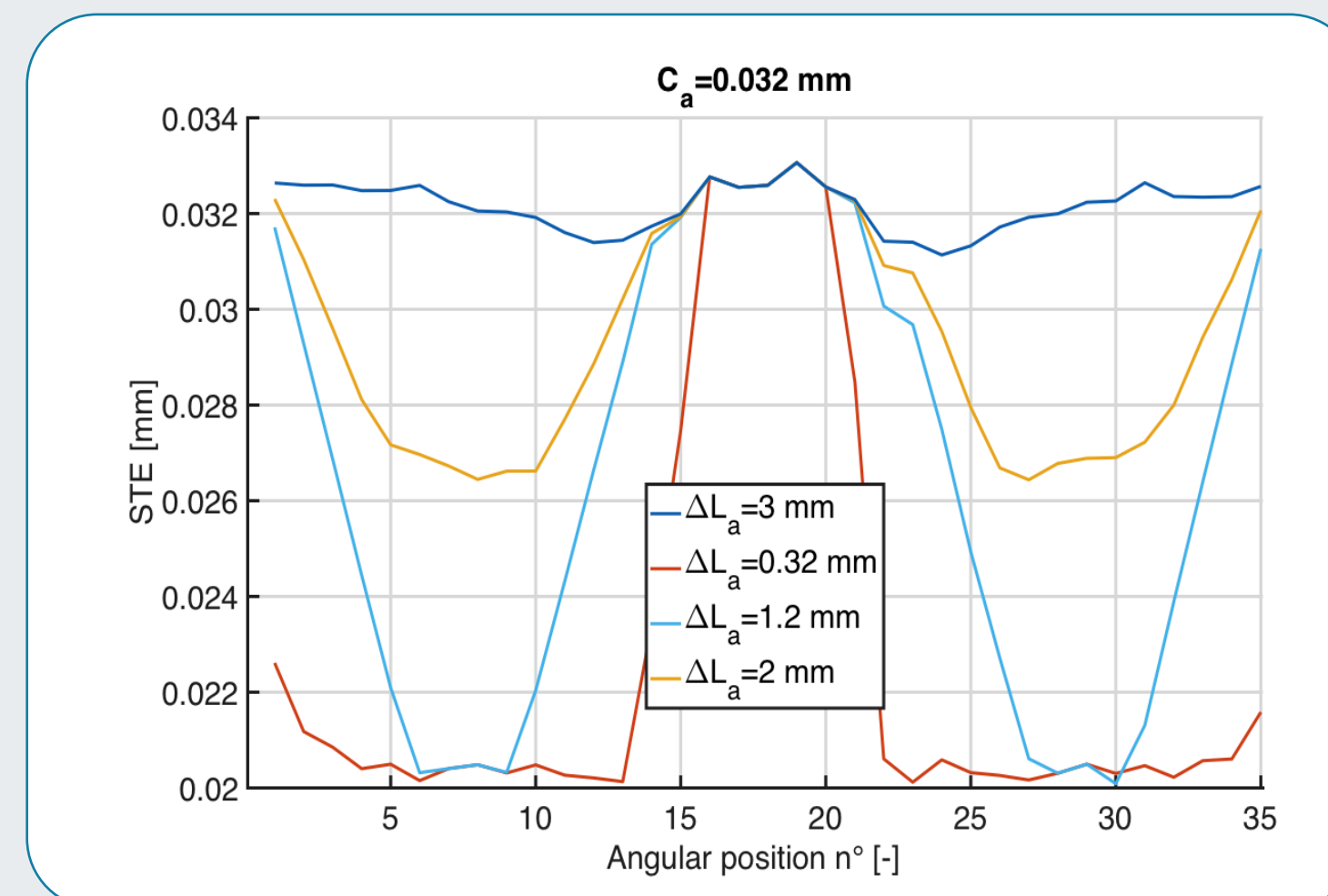
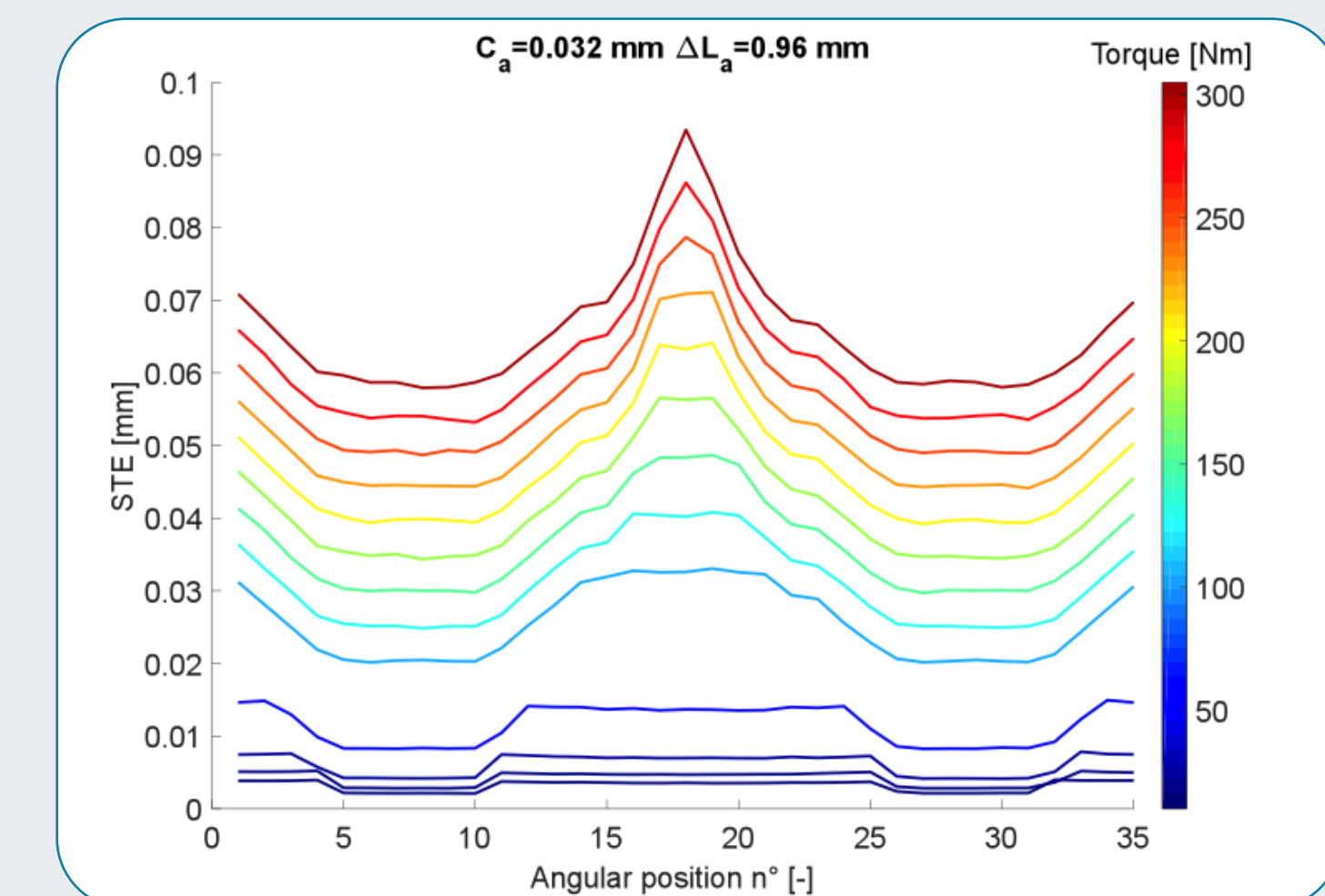
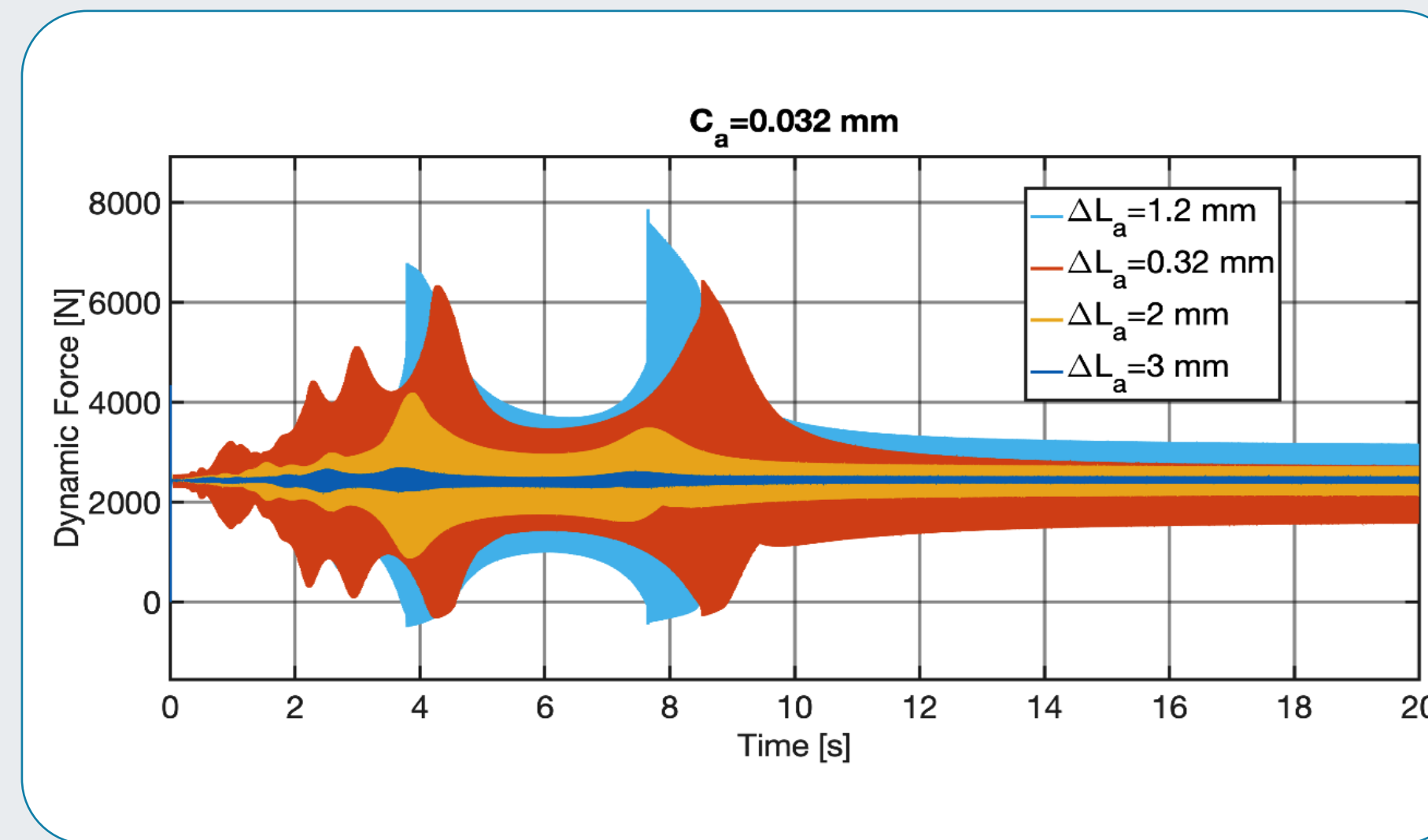
Effetti microgeometria

Tip relief

Coppie differenti

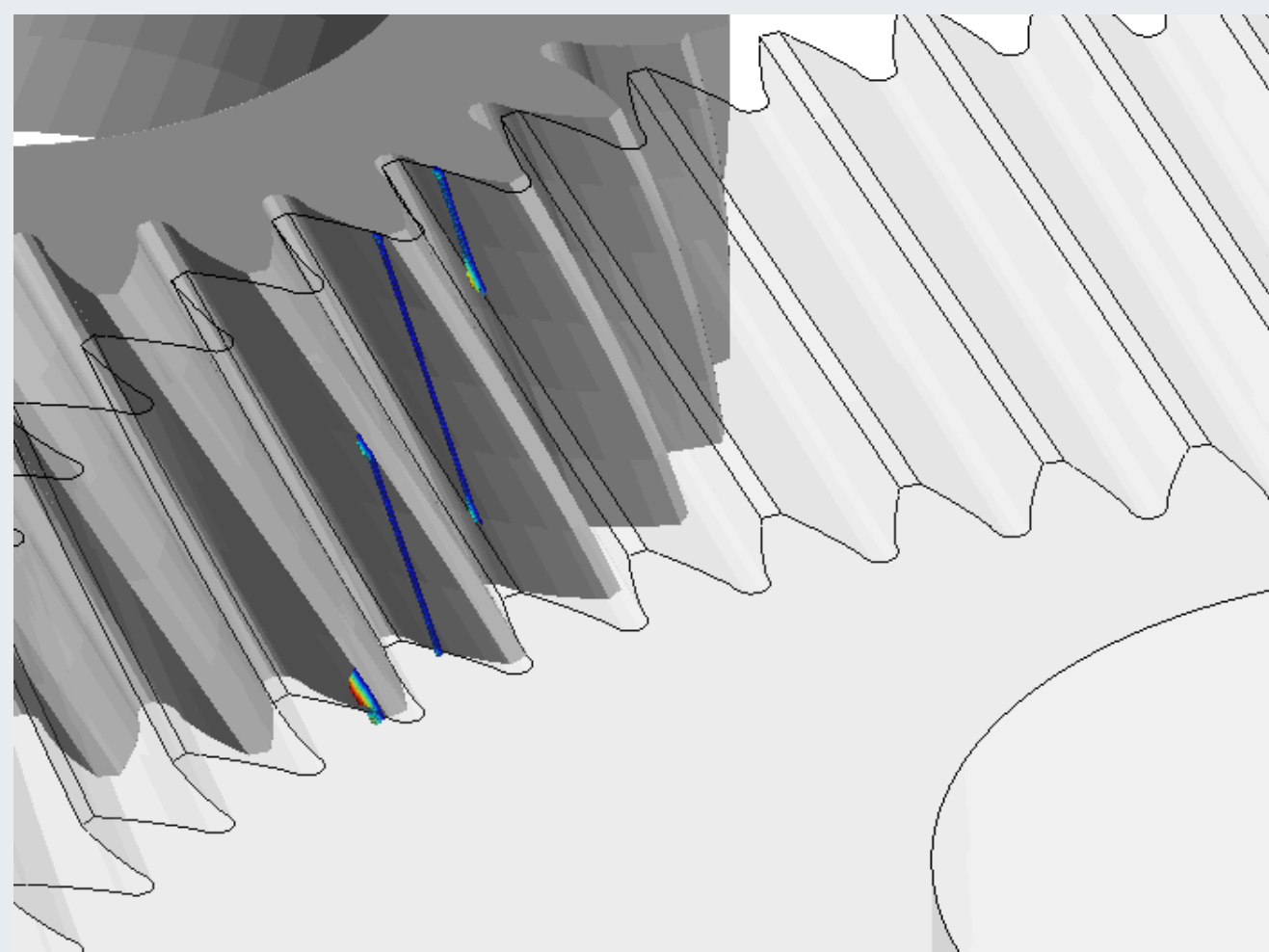


Stessa coppia differenti modifiche di profilo

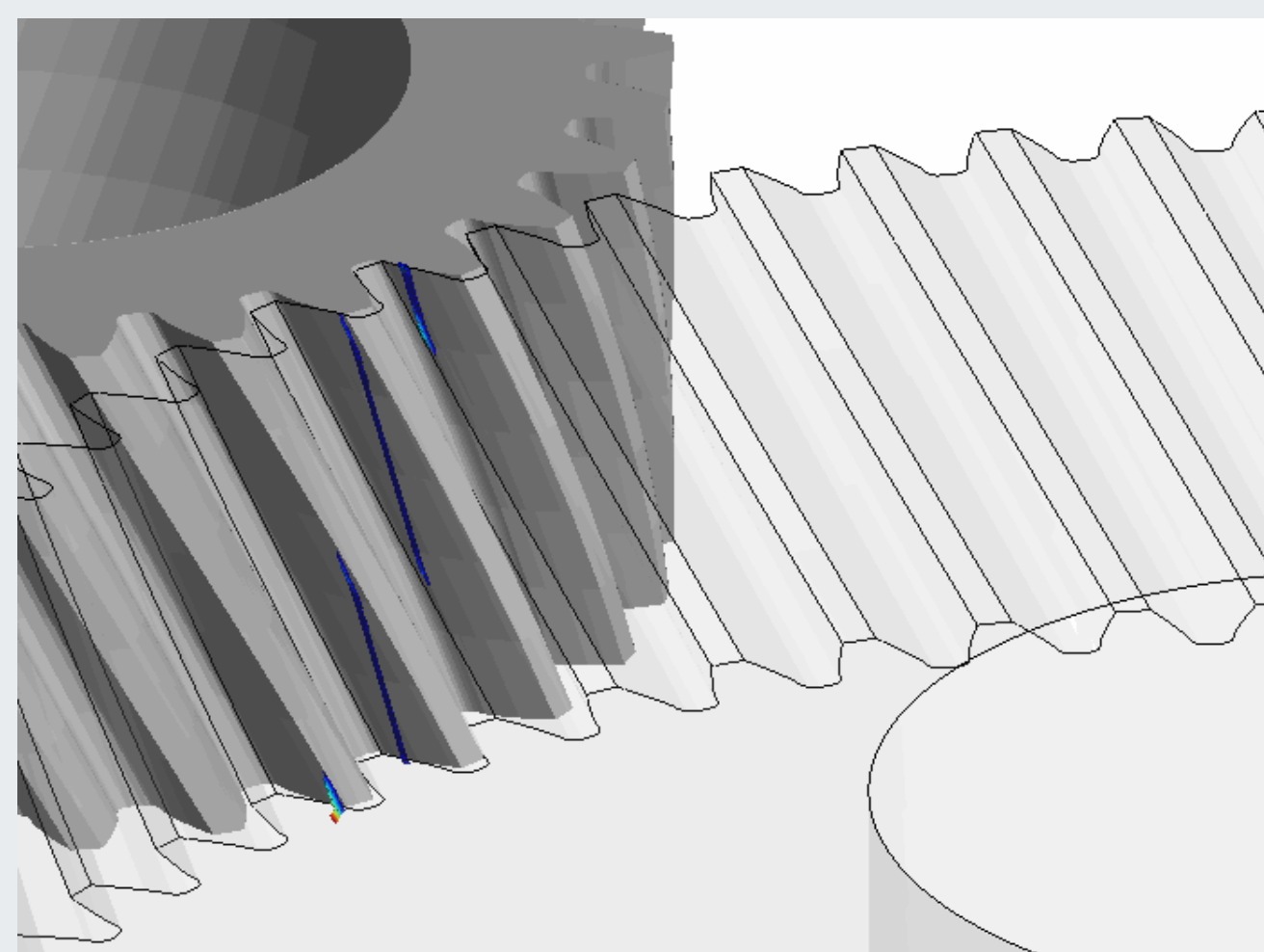


Effetti microgeometria e macrogeometria

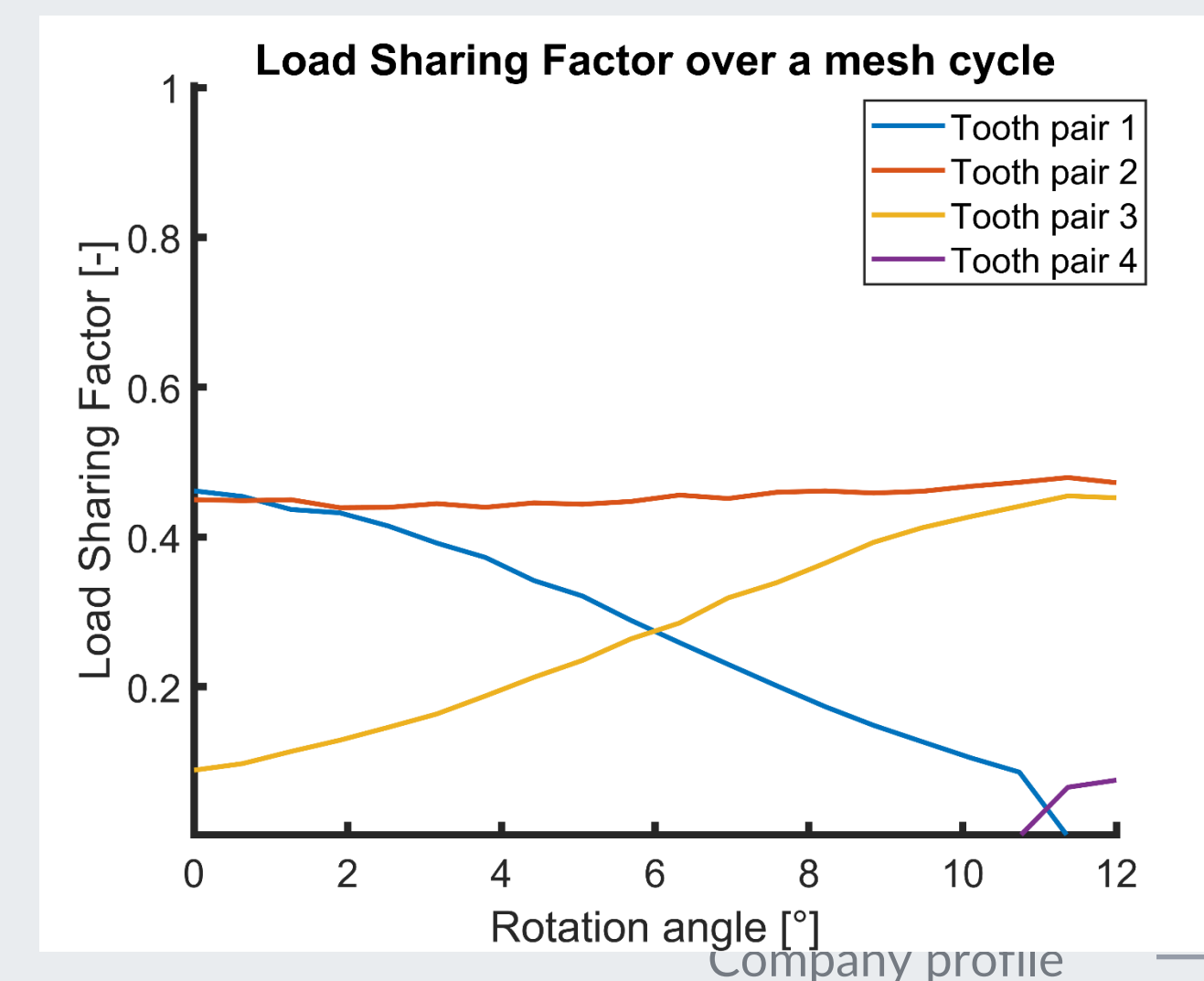
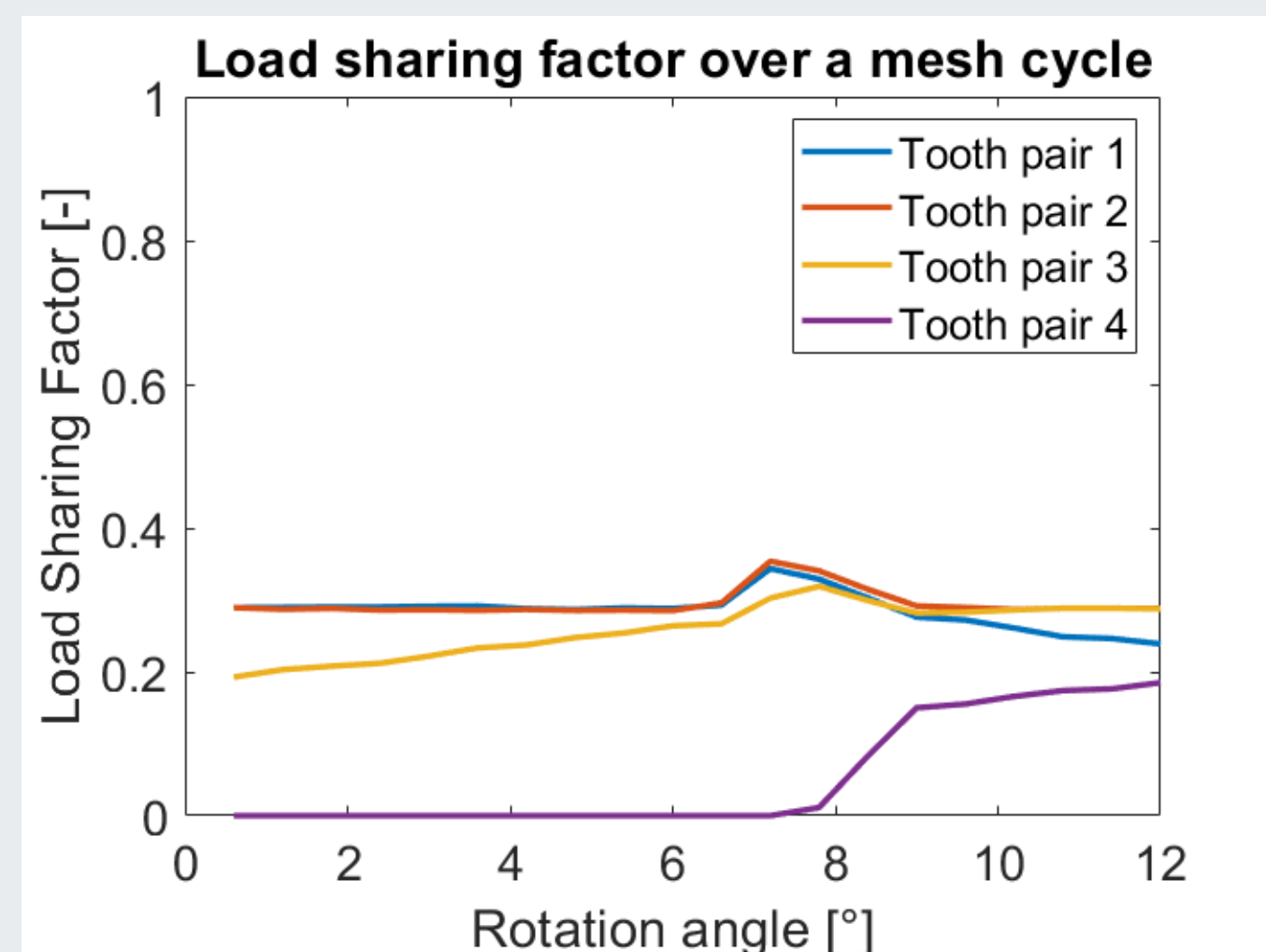
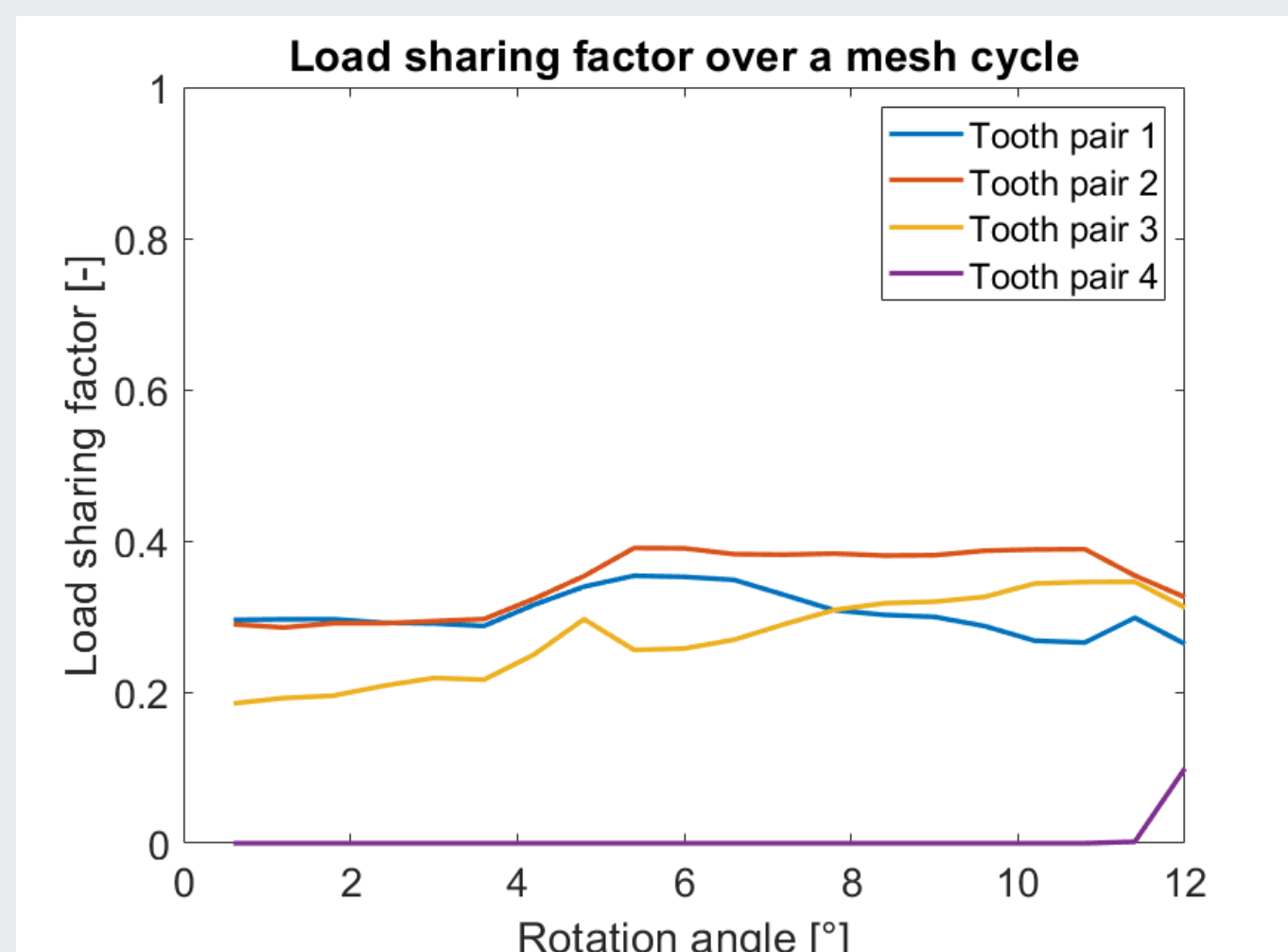
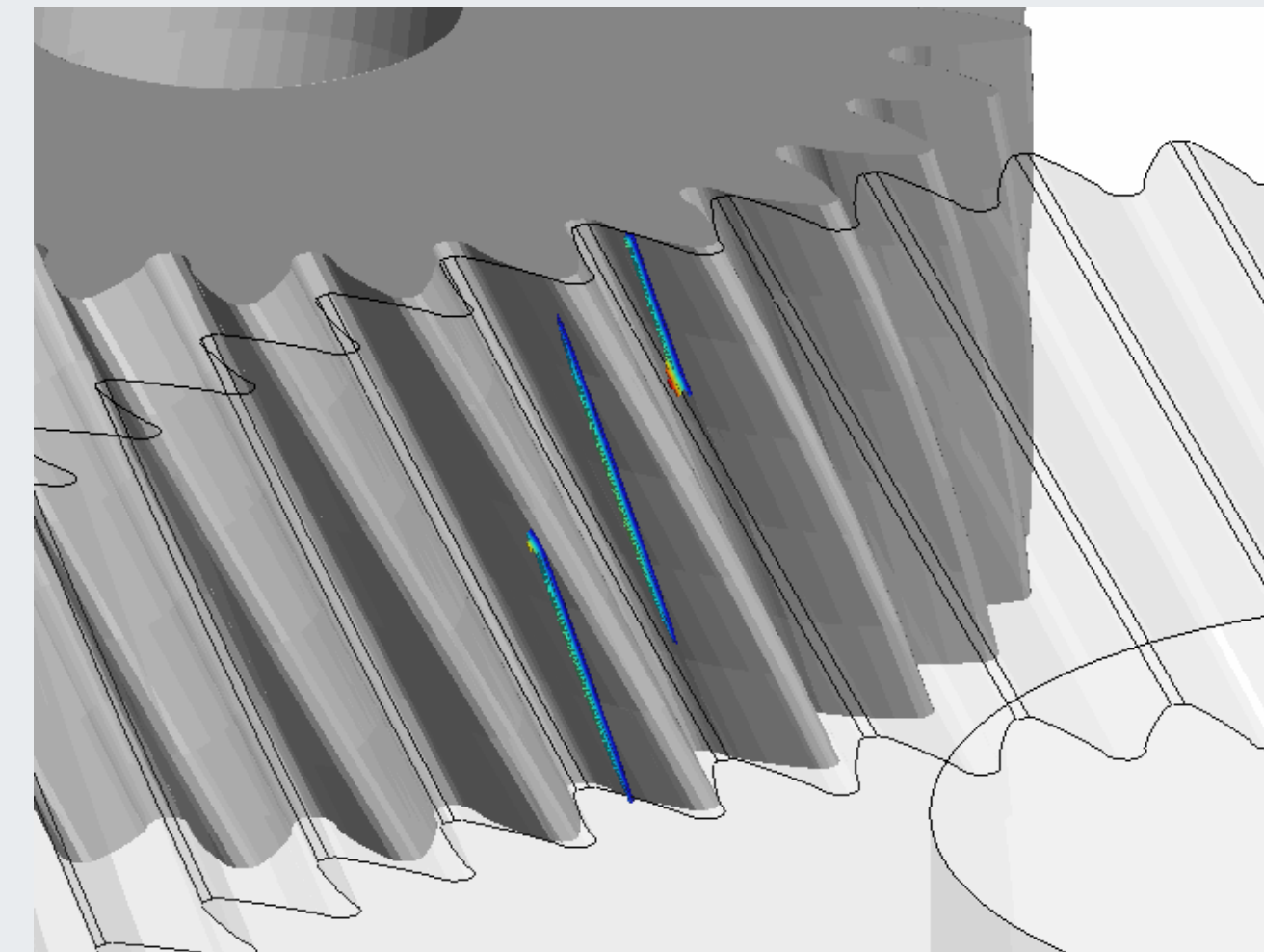
Standard rack, no modifications



Non standard rack, no modifications



Non standard rack, with modifications



Effetti microgeometria e macrogeometria

Standard rack, no modifications

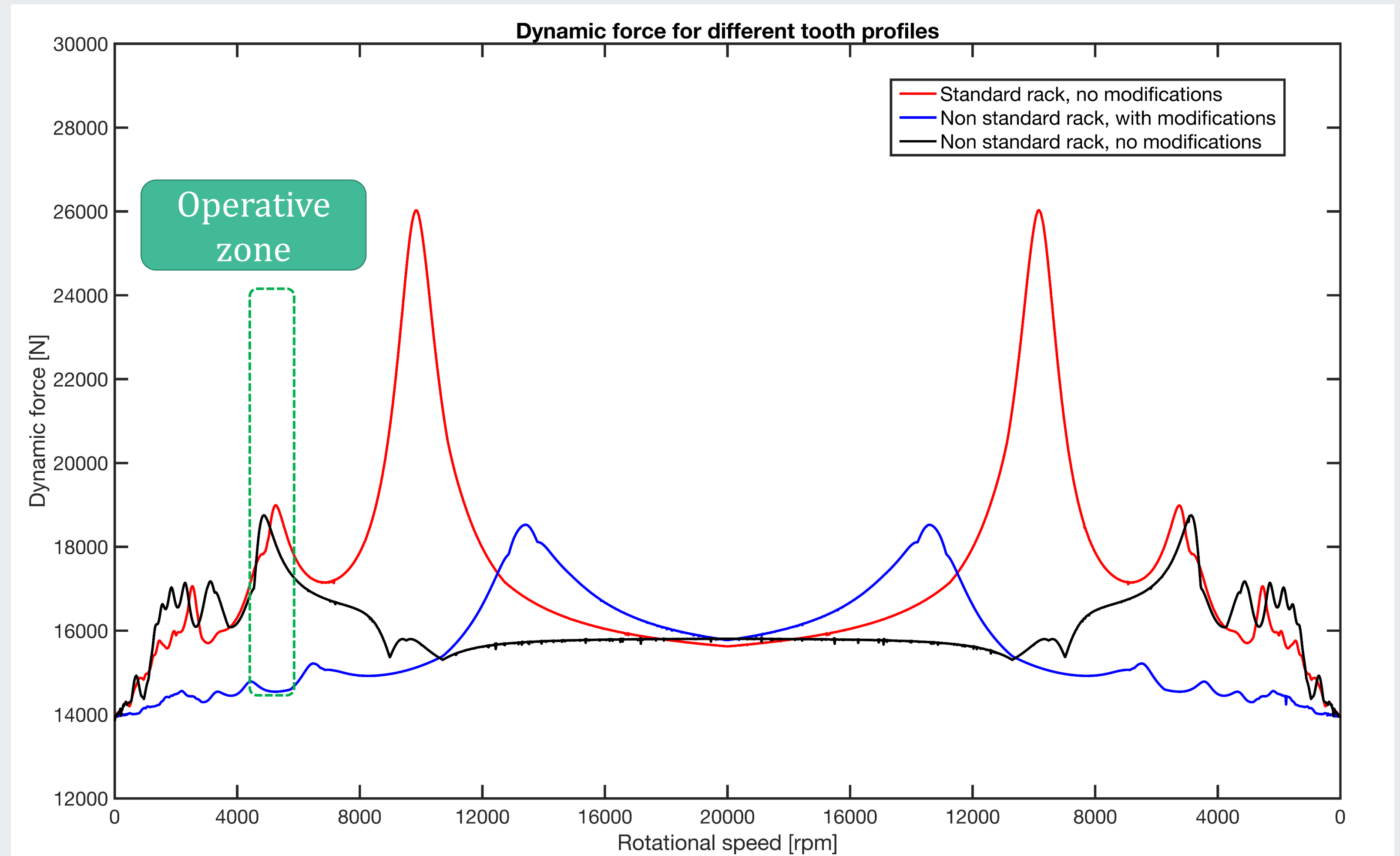
Non standard rack, no modifications

Non standard rack, with modifications

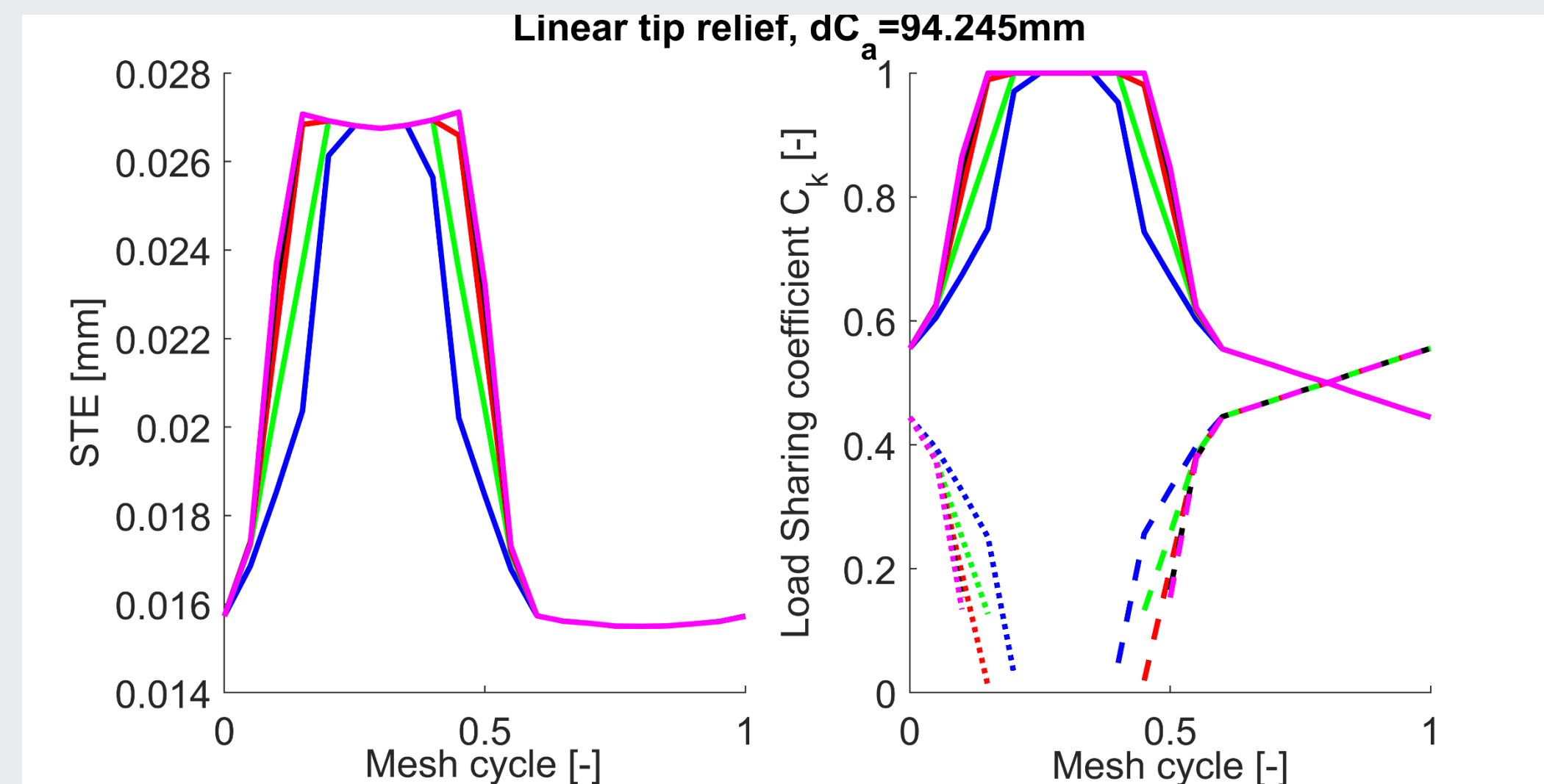
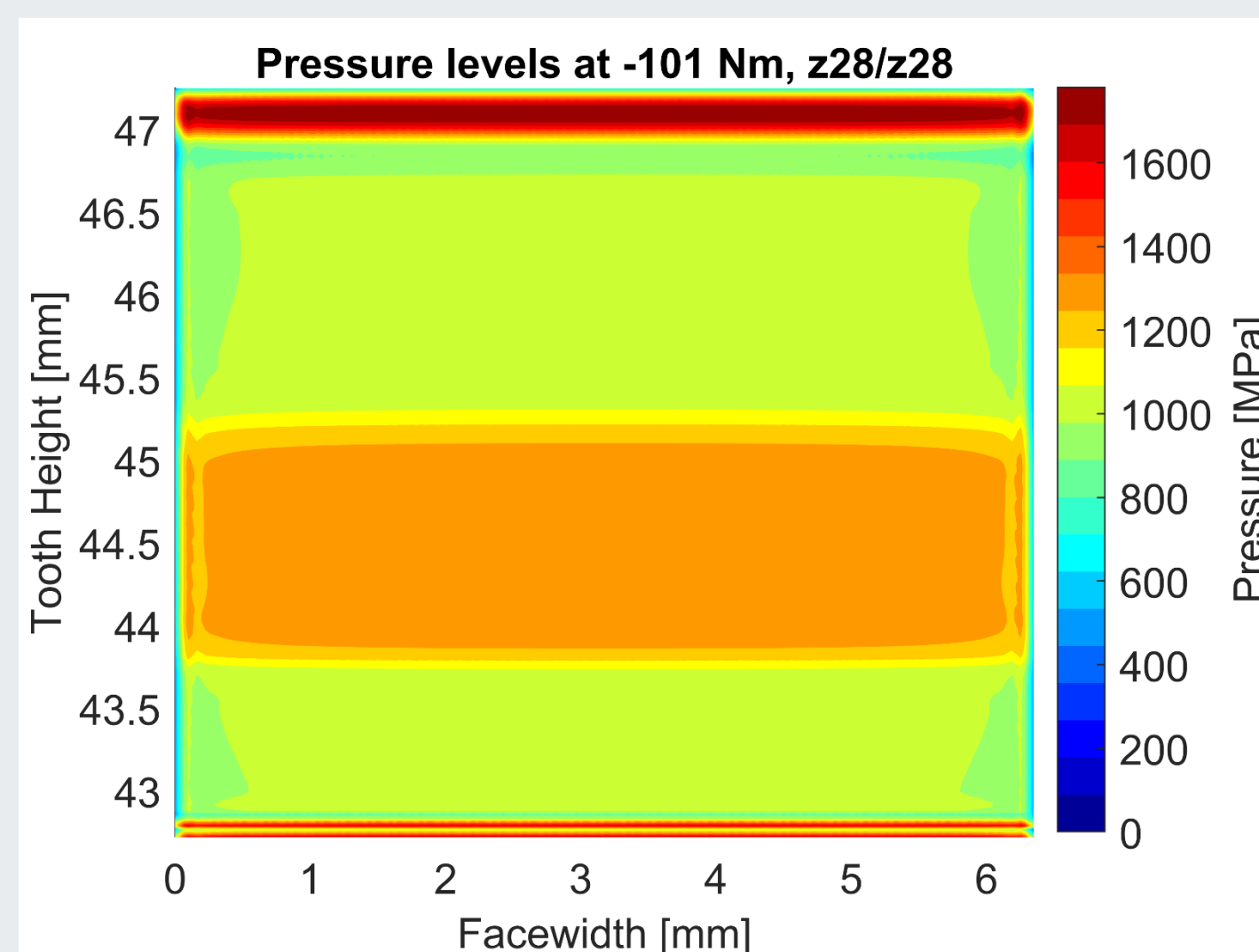
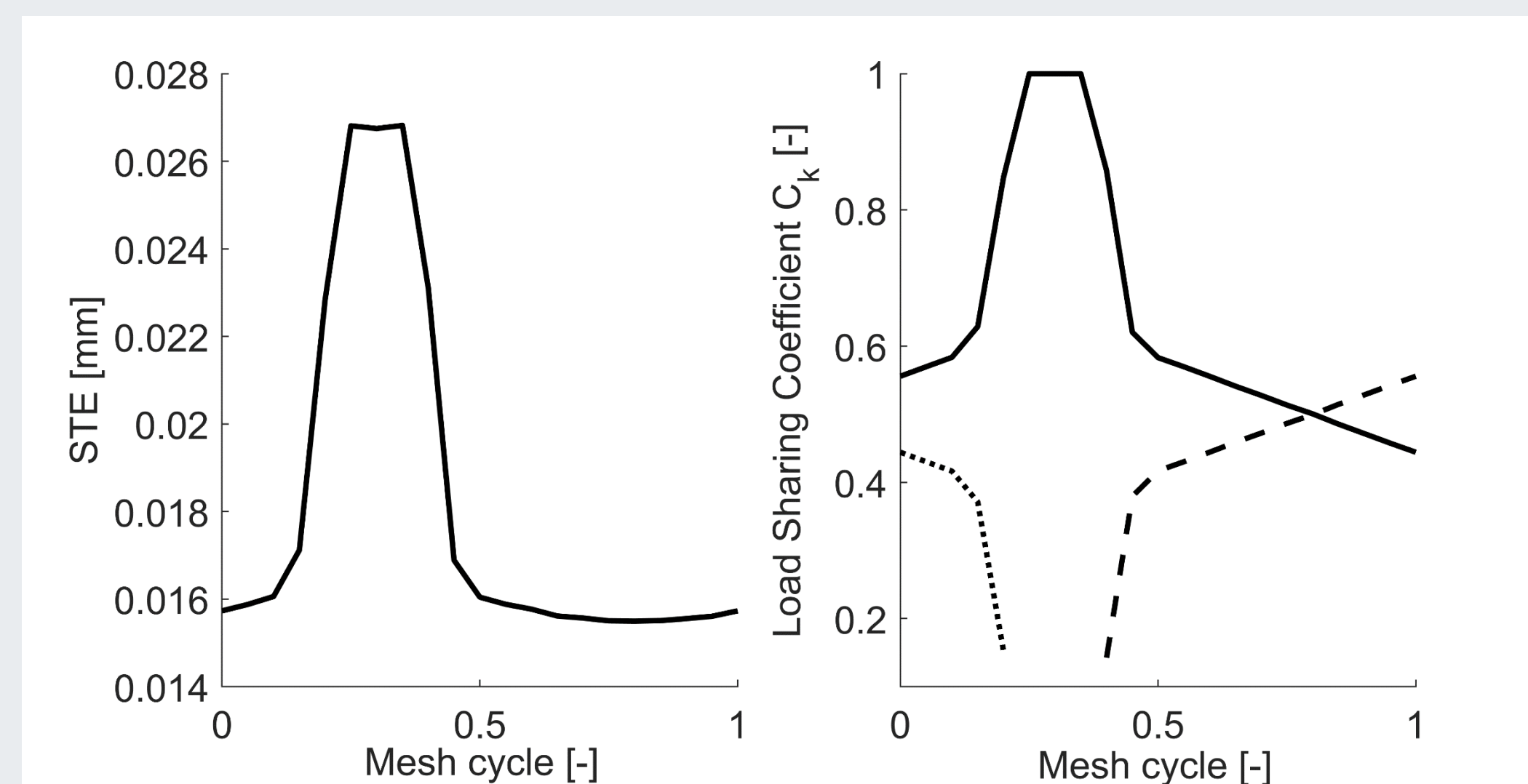
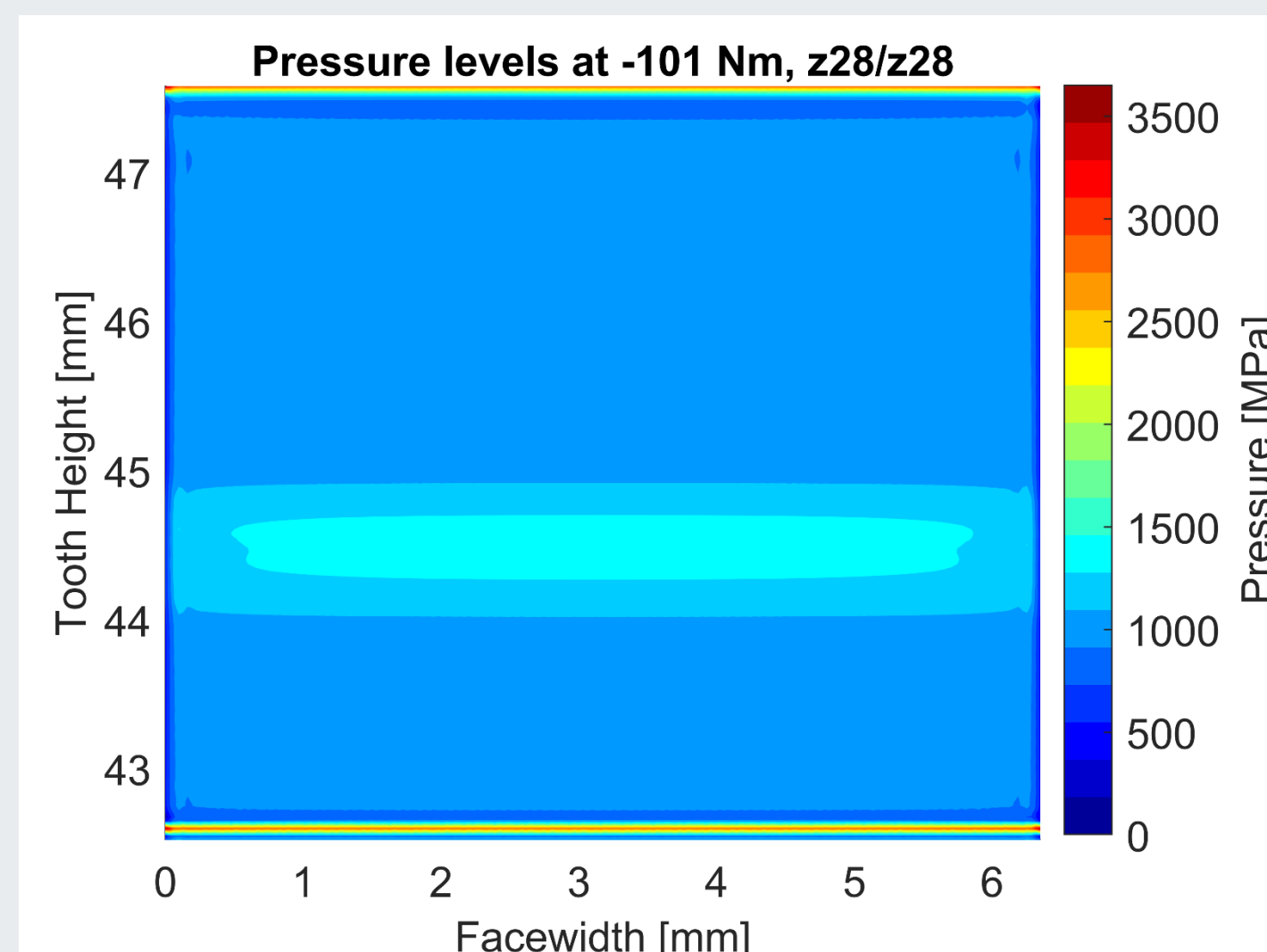
Alto valore di forza dinamica dovuta a risonanza

Seconda armonica in campo di lavoro

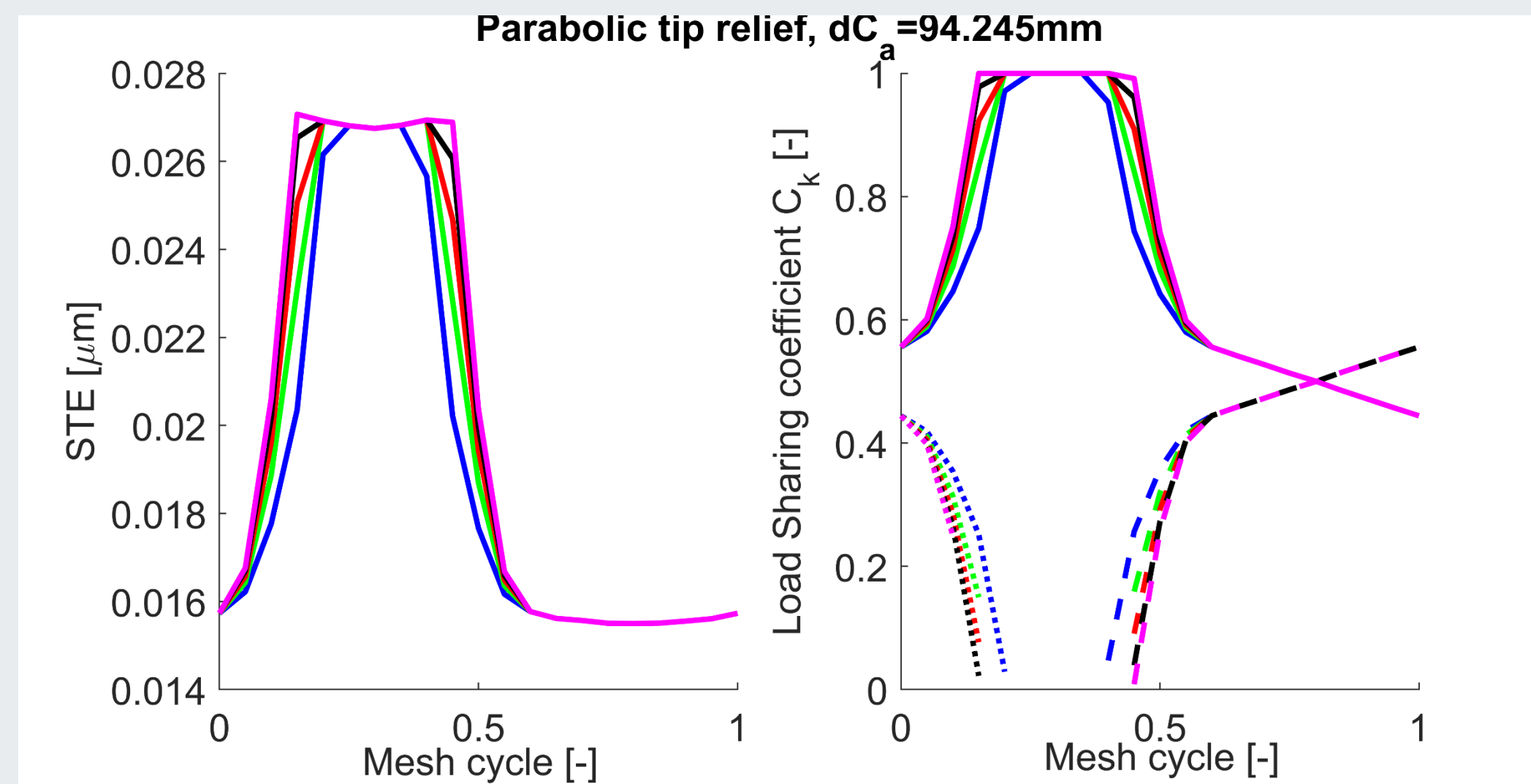
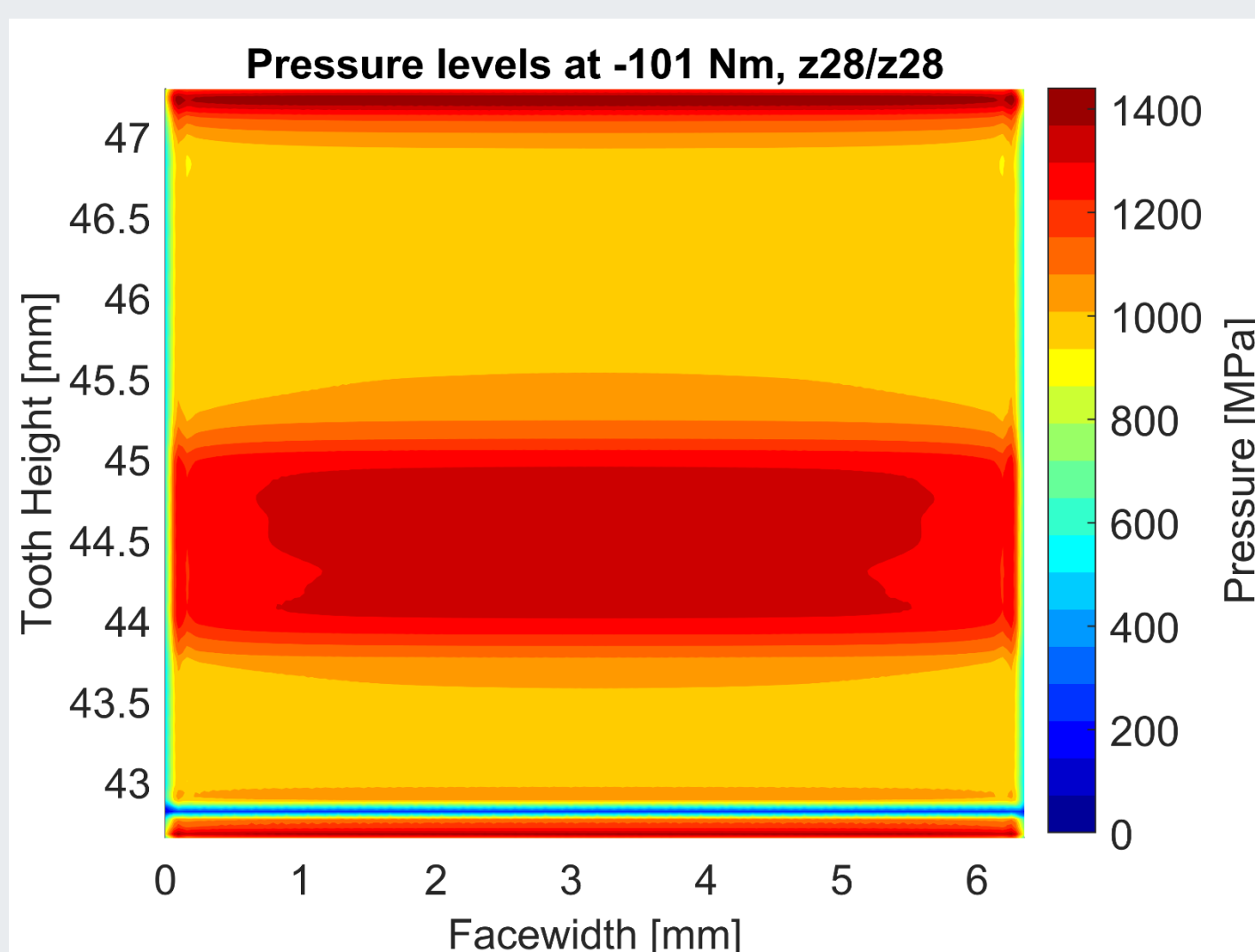
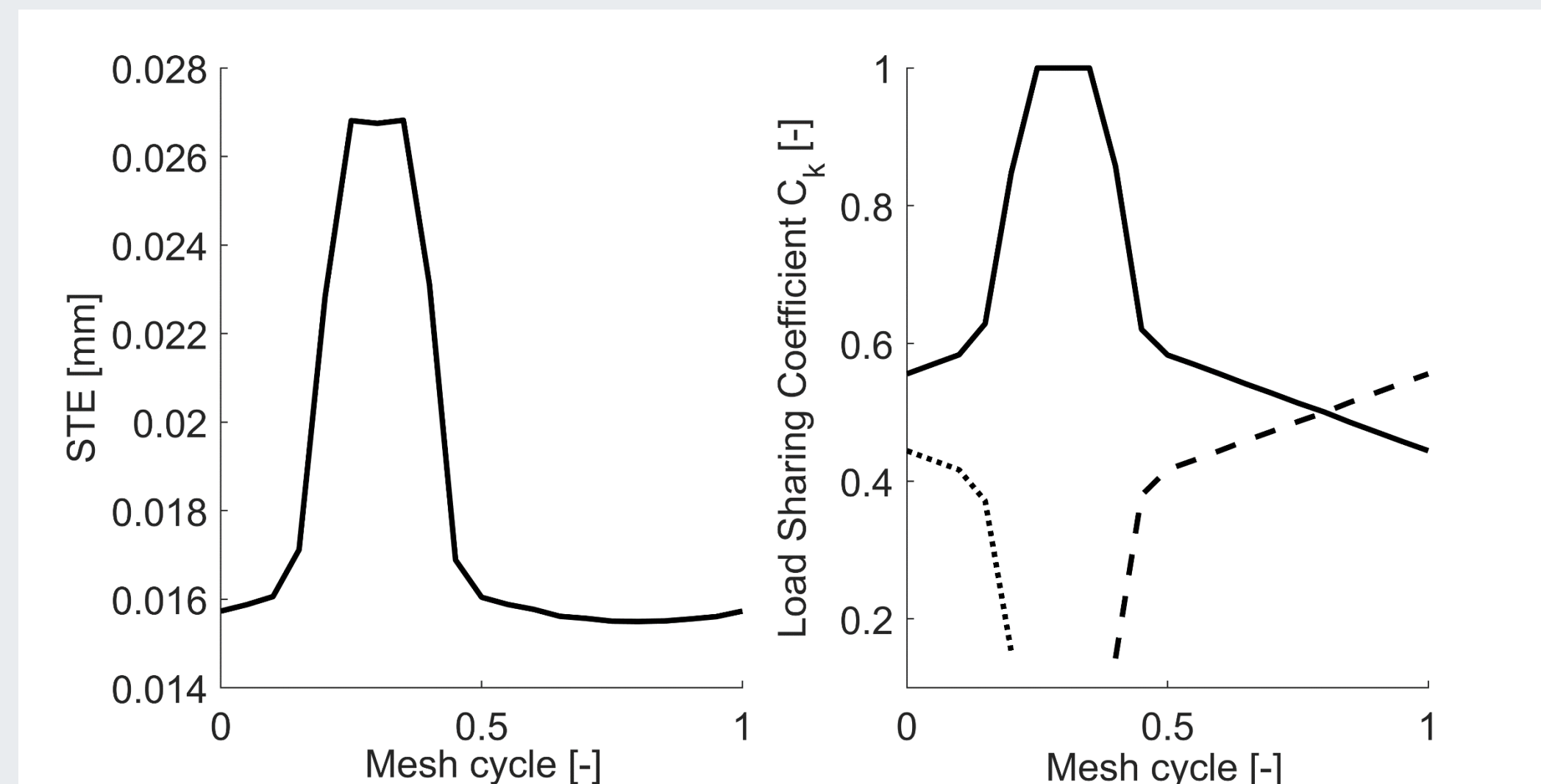
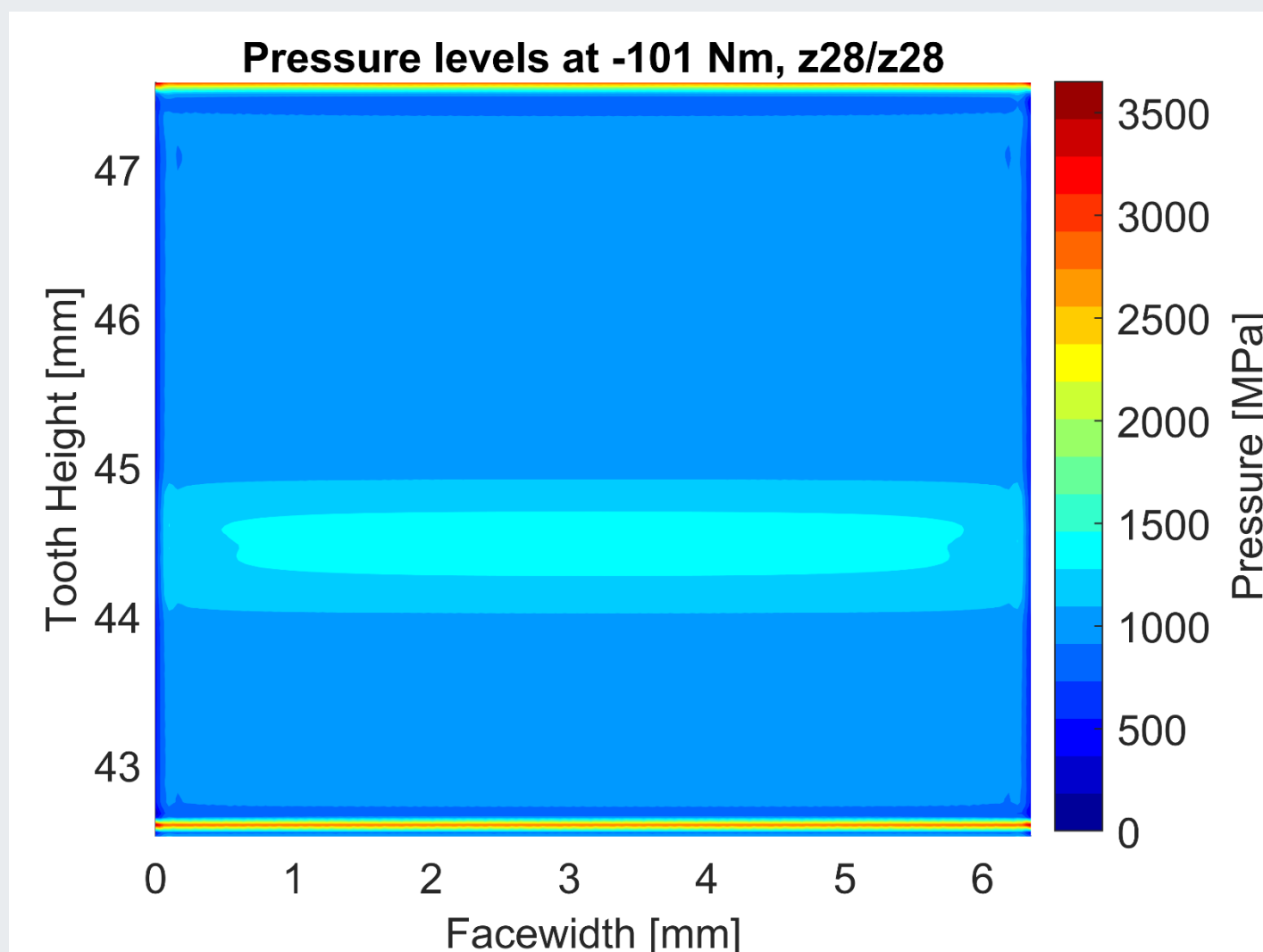
Nessuna risonanza in zona operativa e picchi molto appiattiti



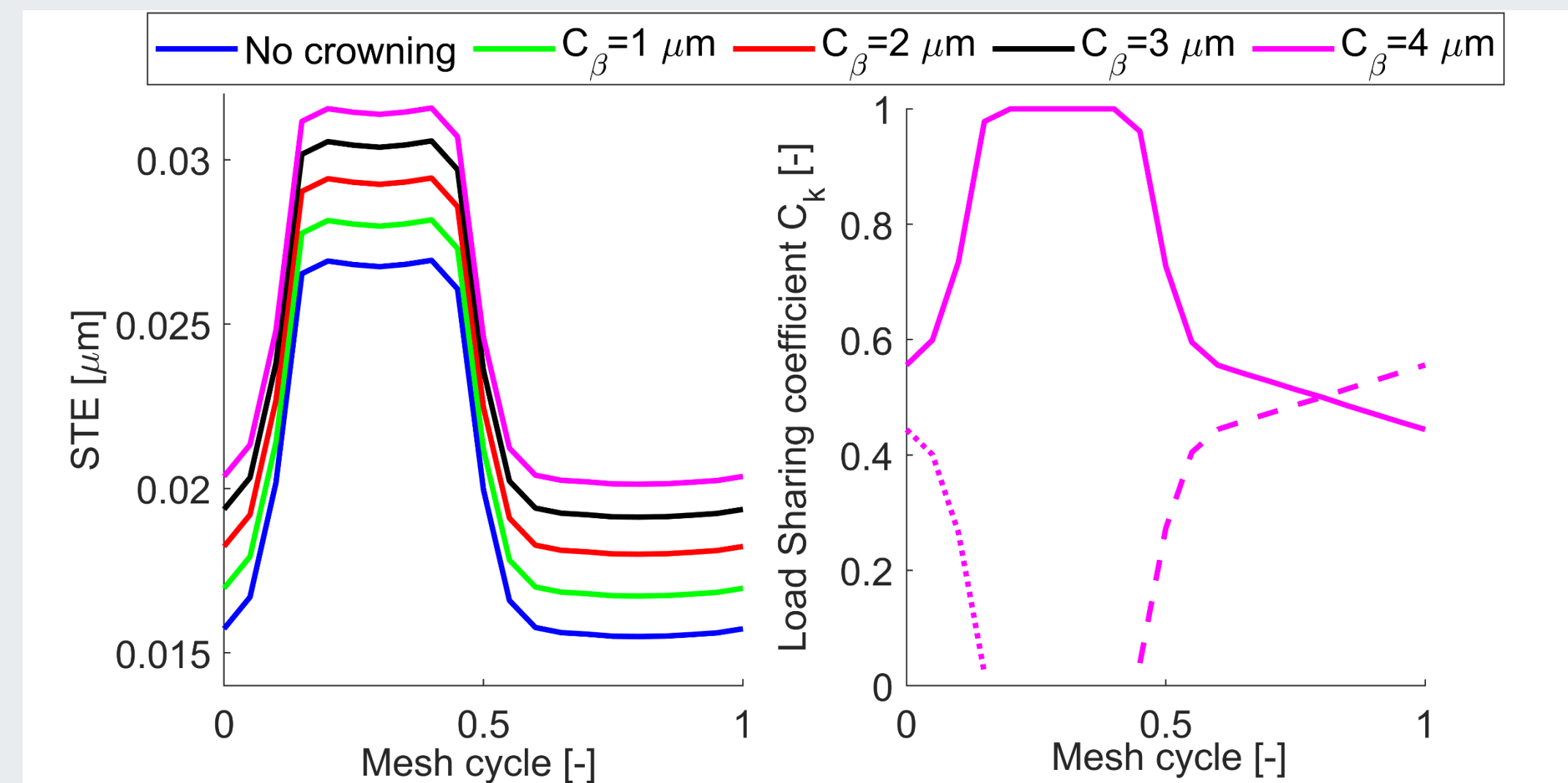
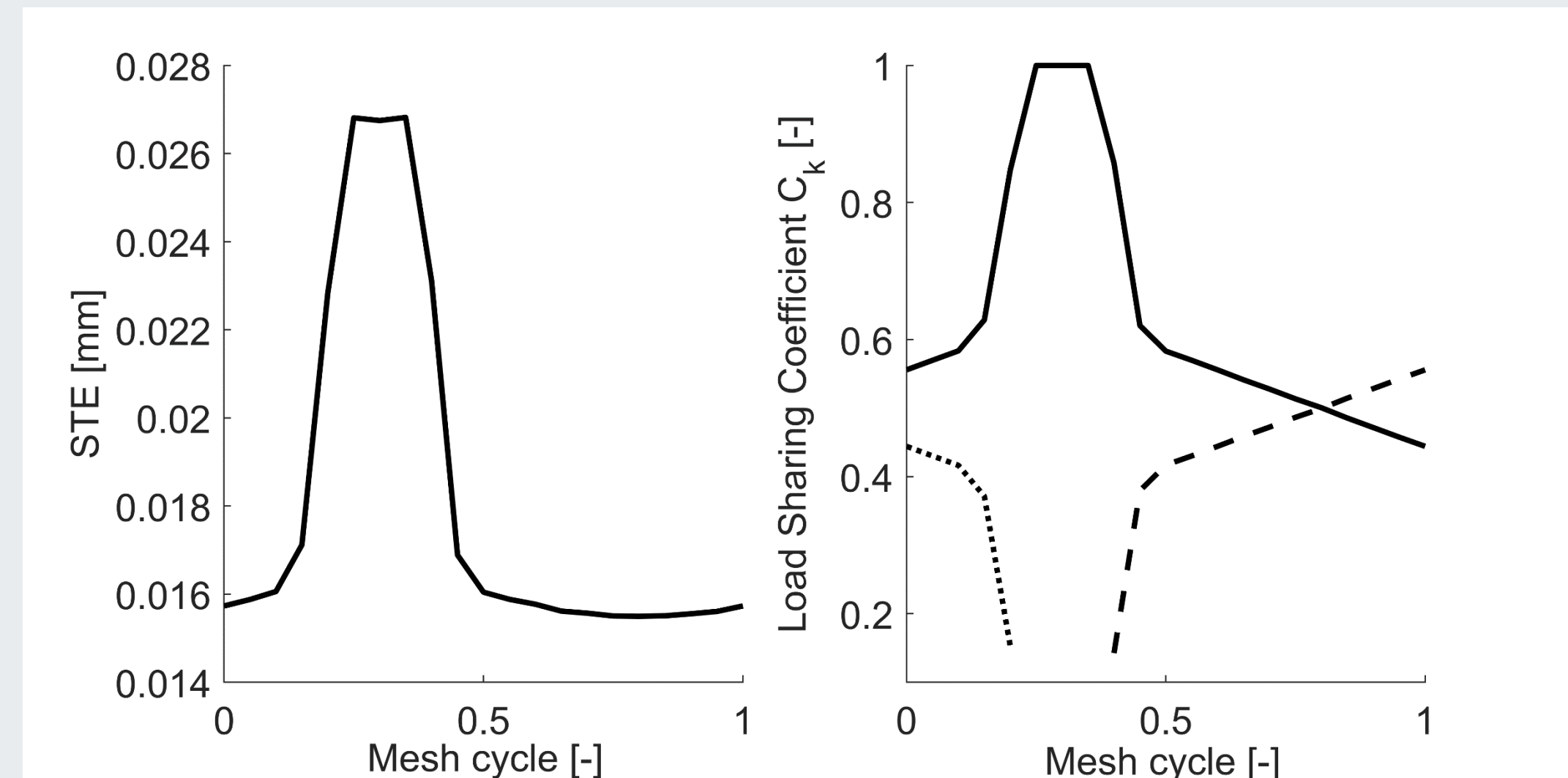
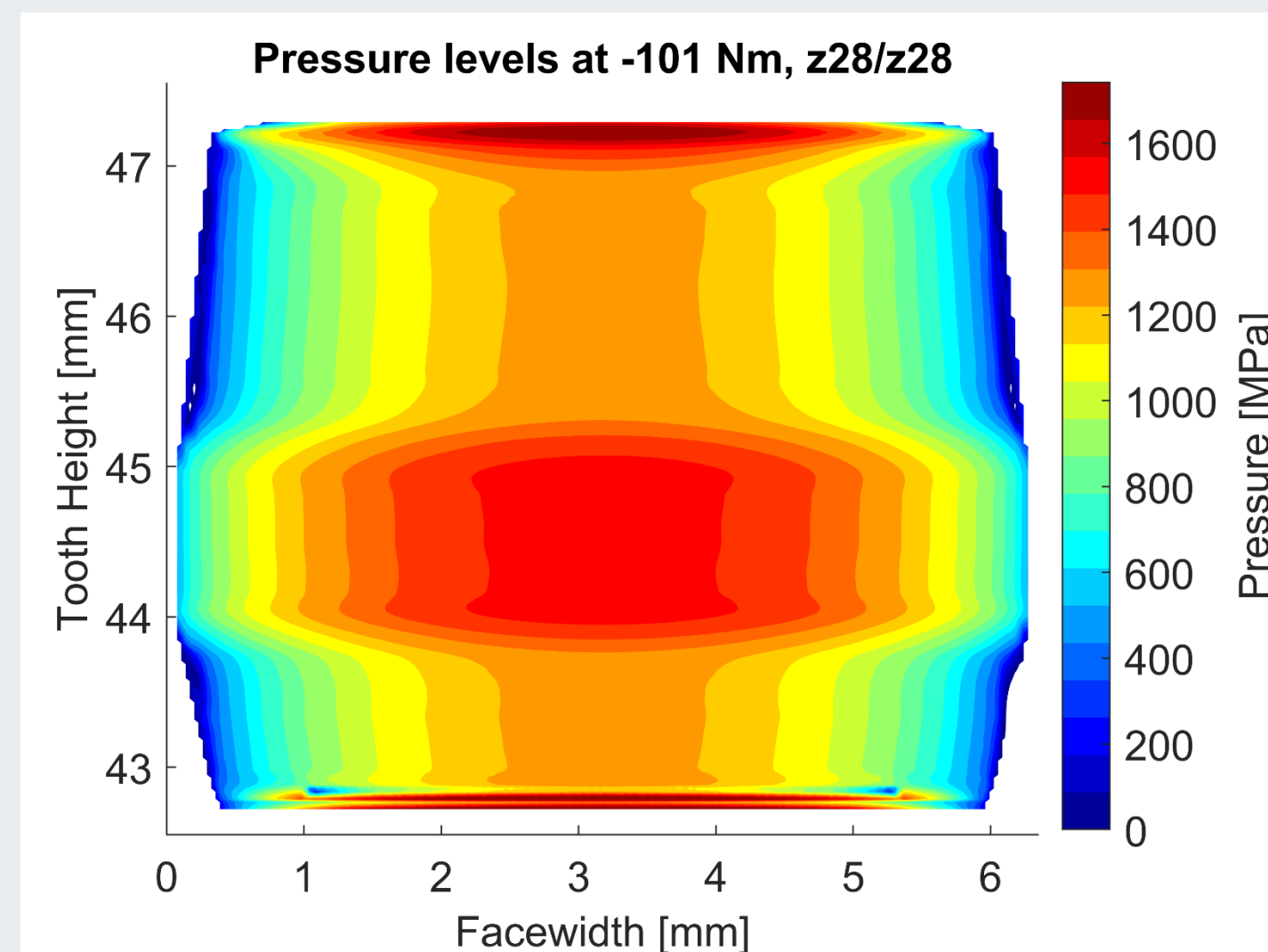
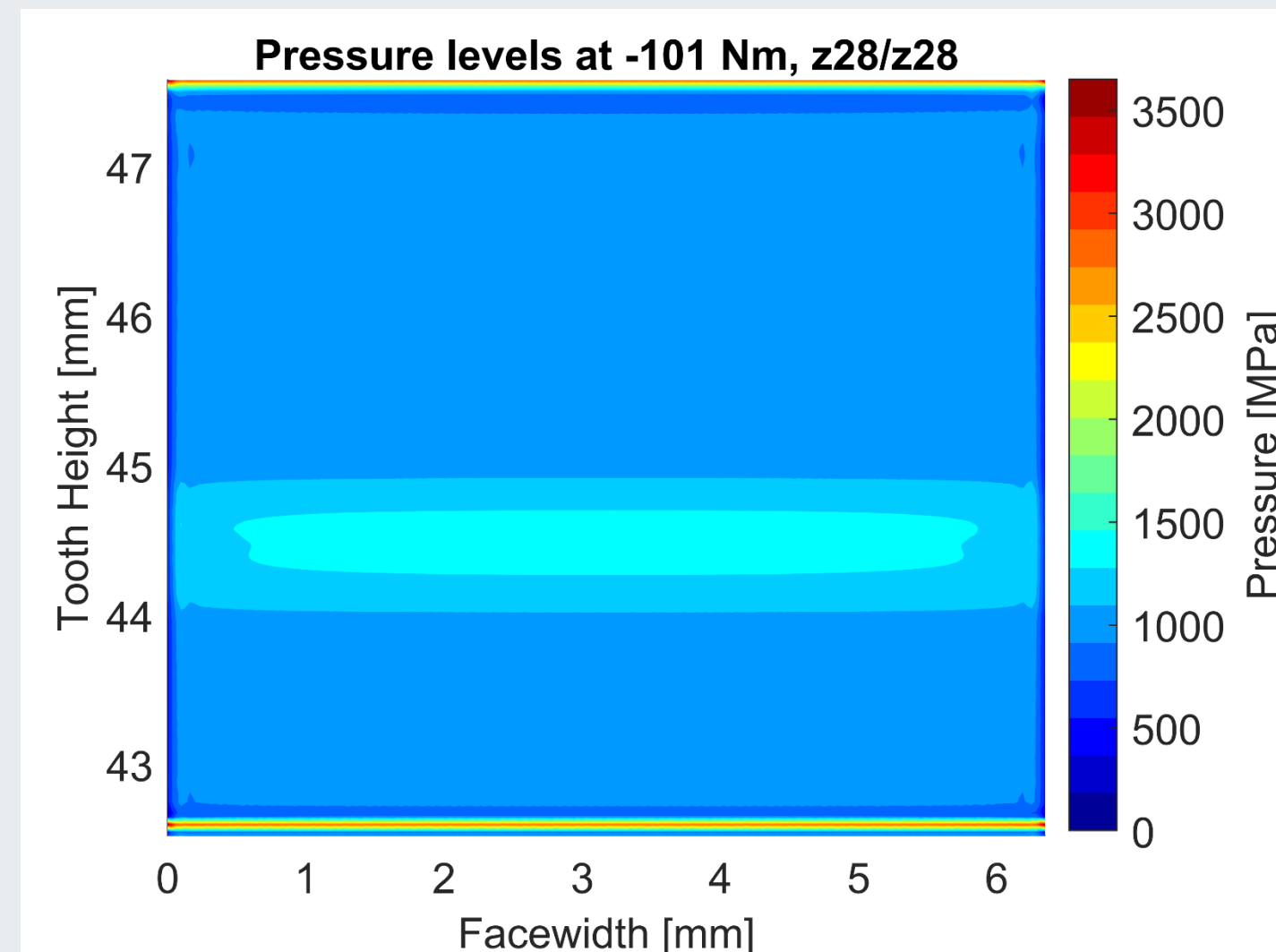
Effetti microgeometria



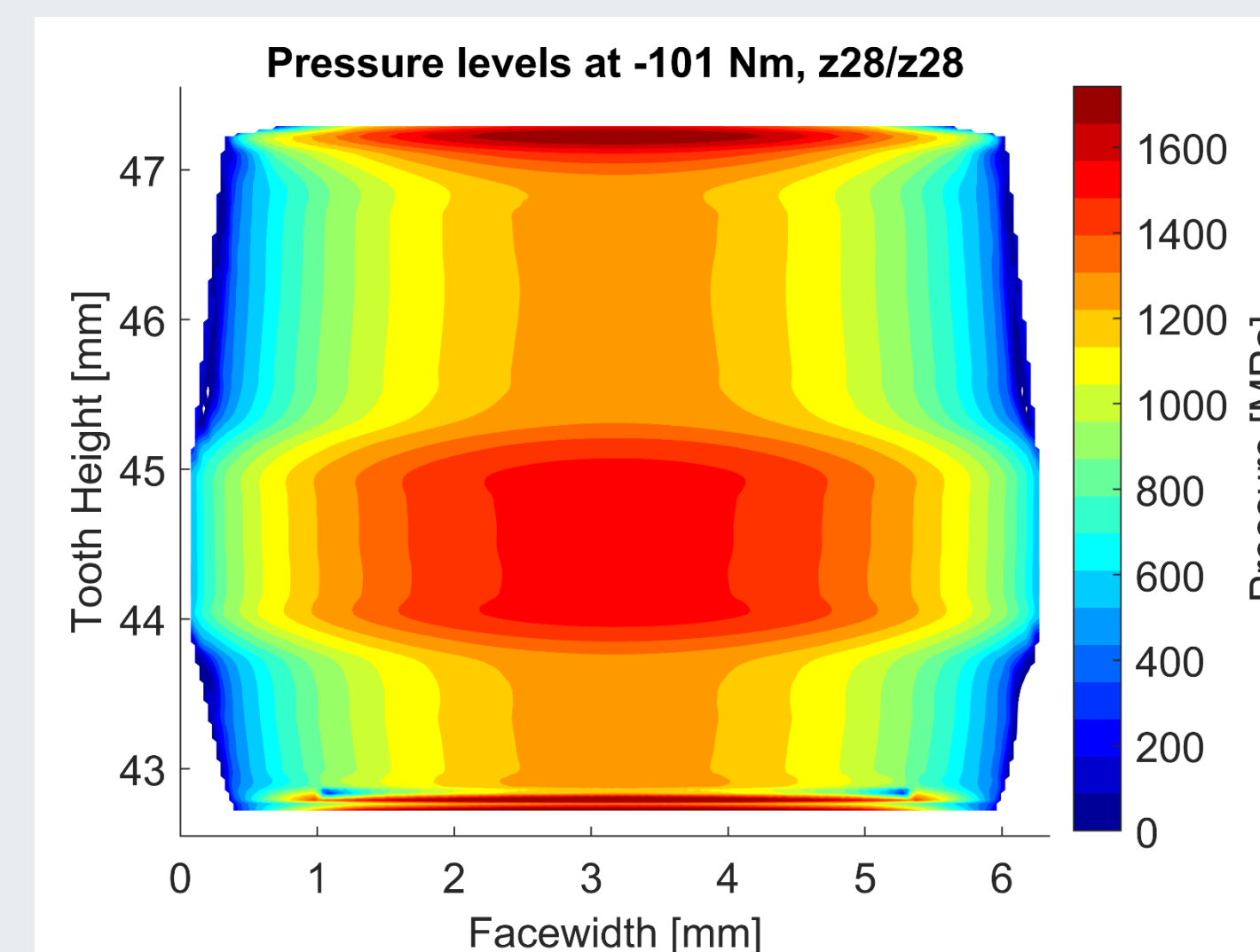
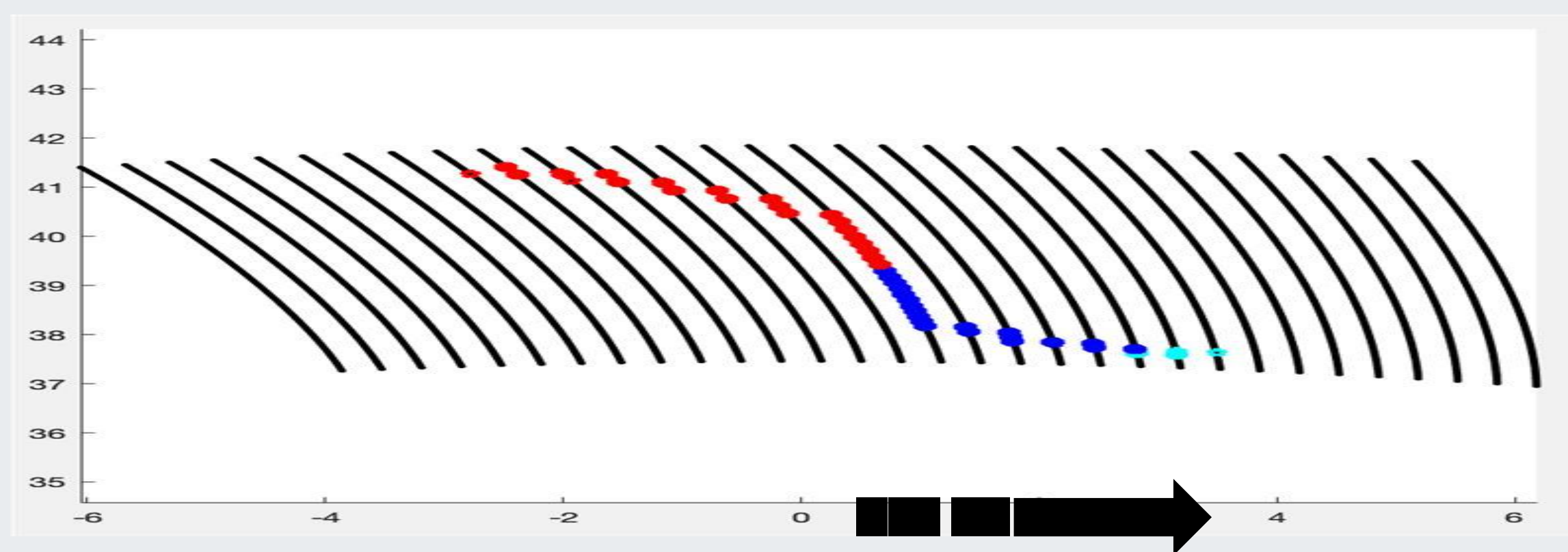
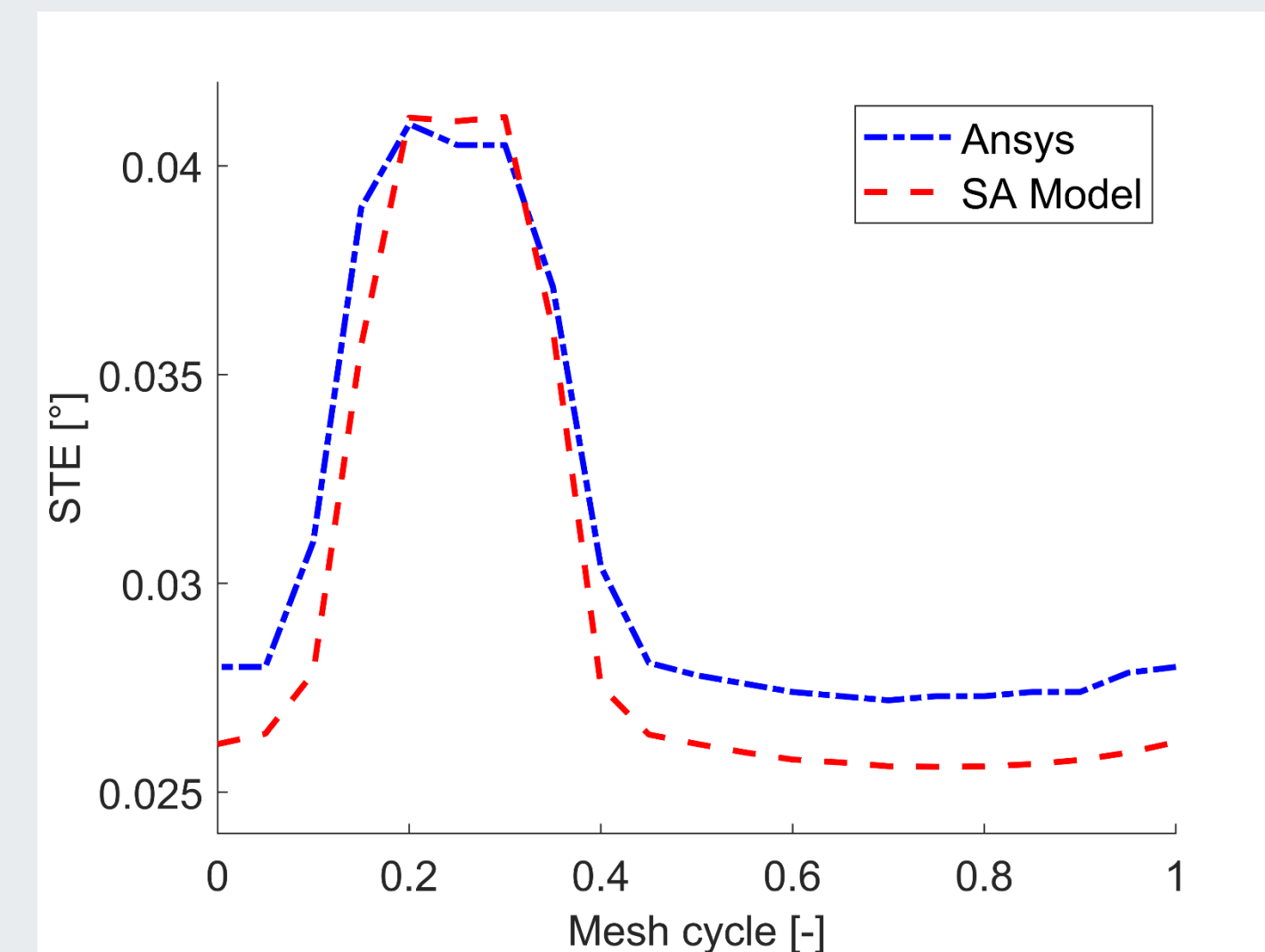
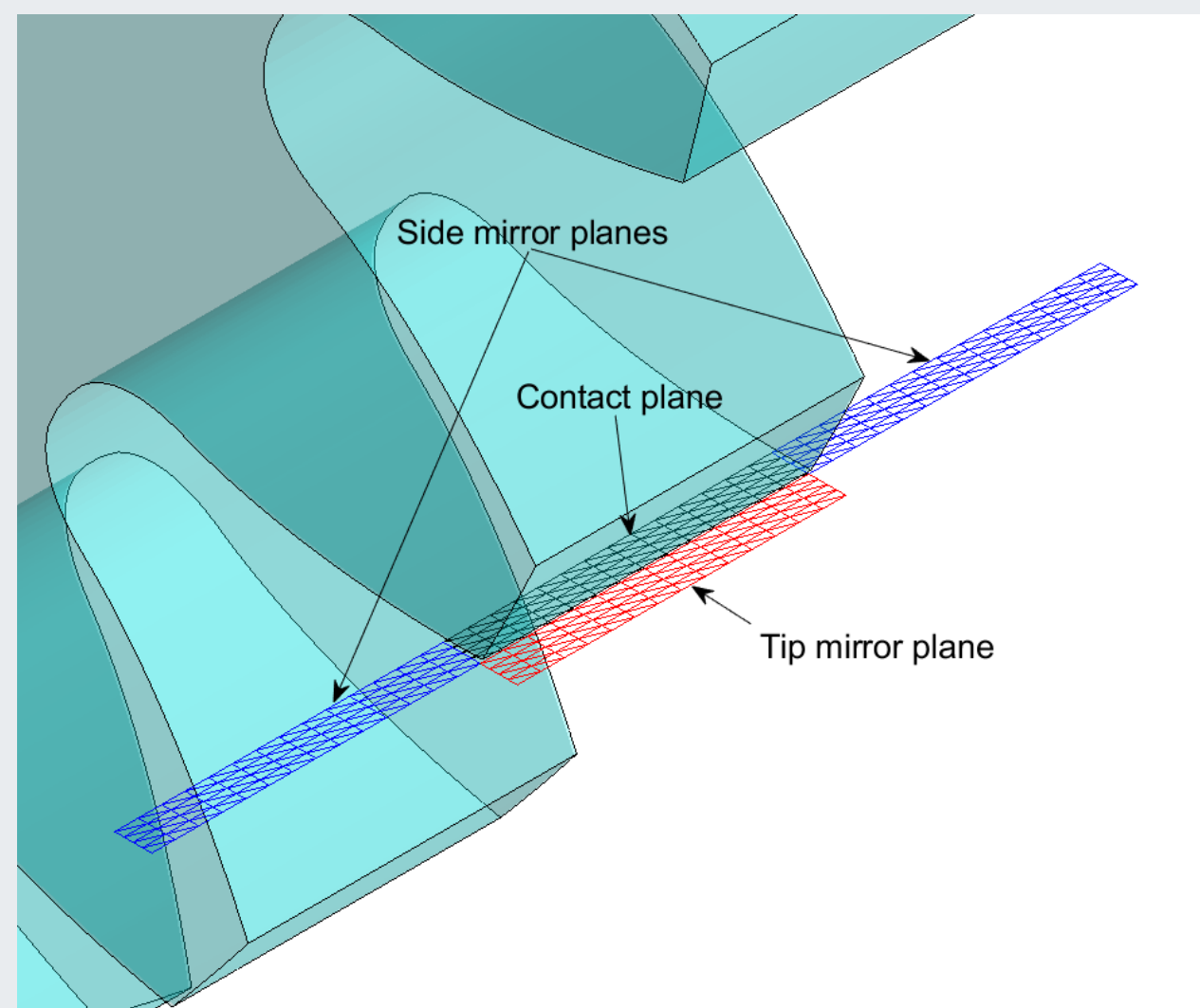
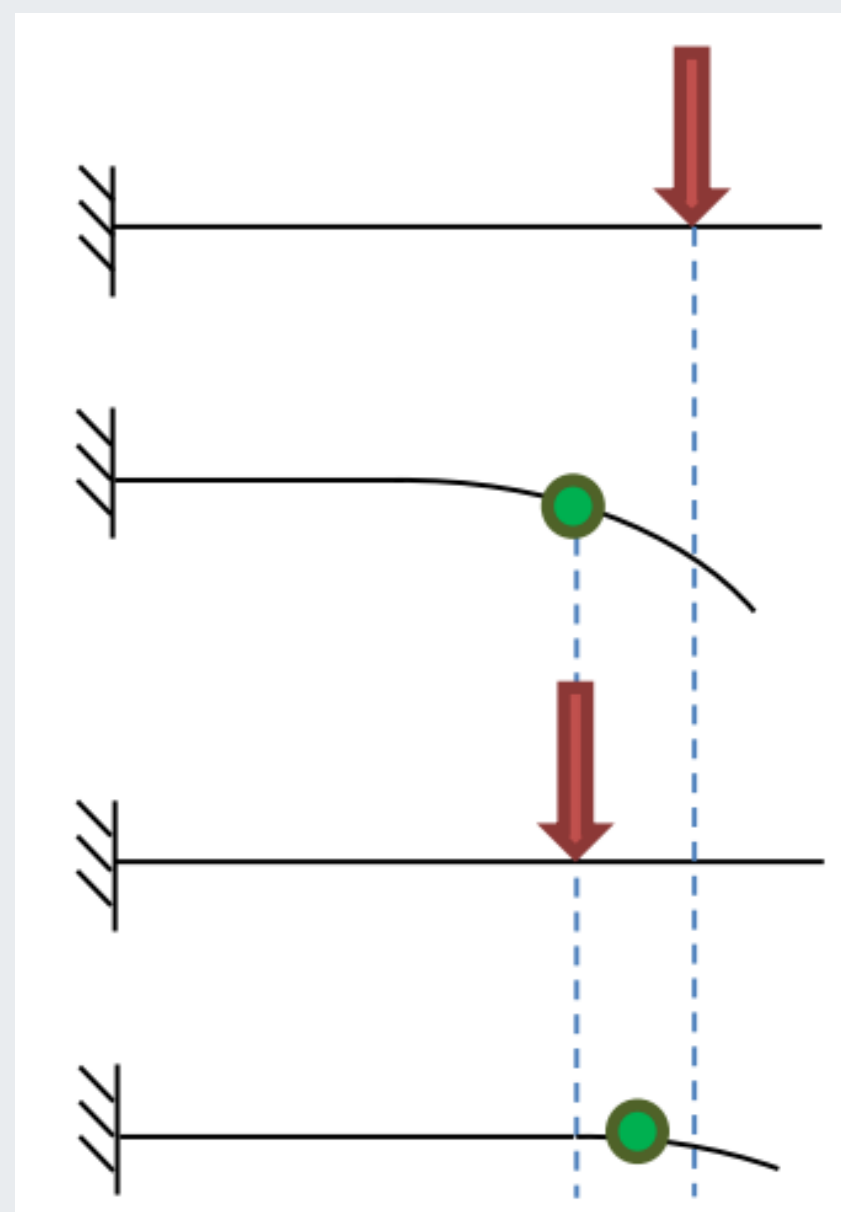
Effetti microgeometria



Effetti microgeometria

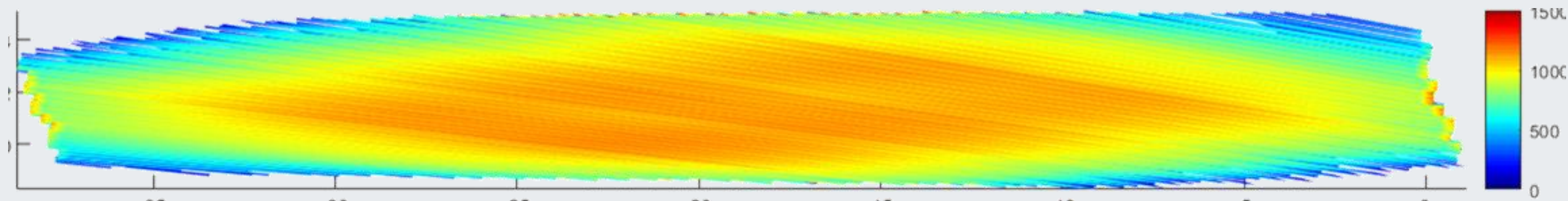
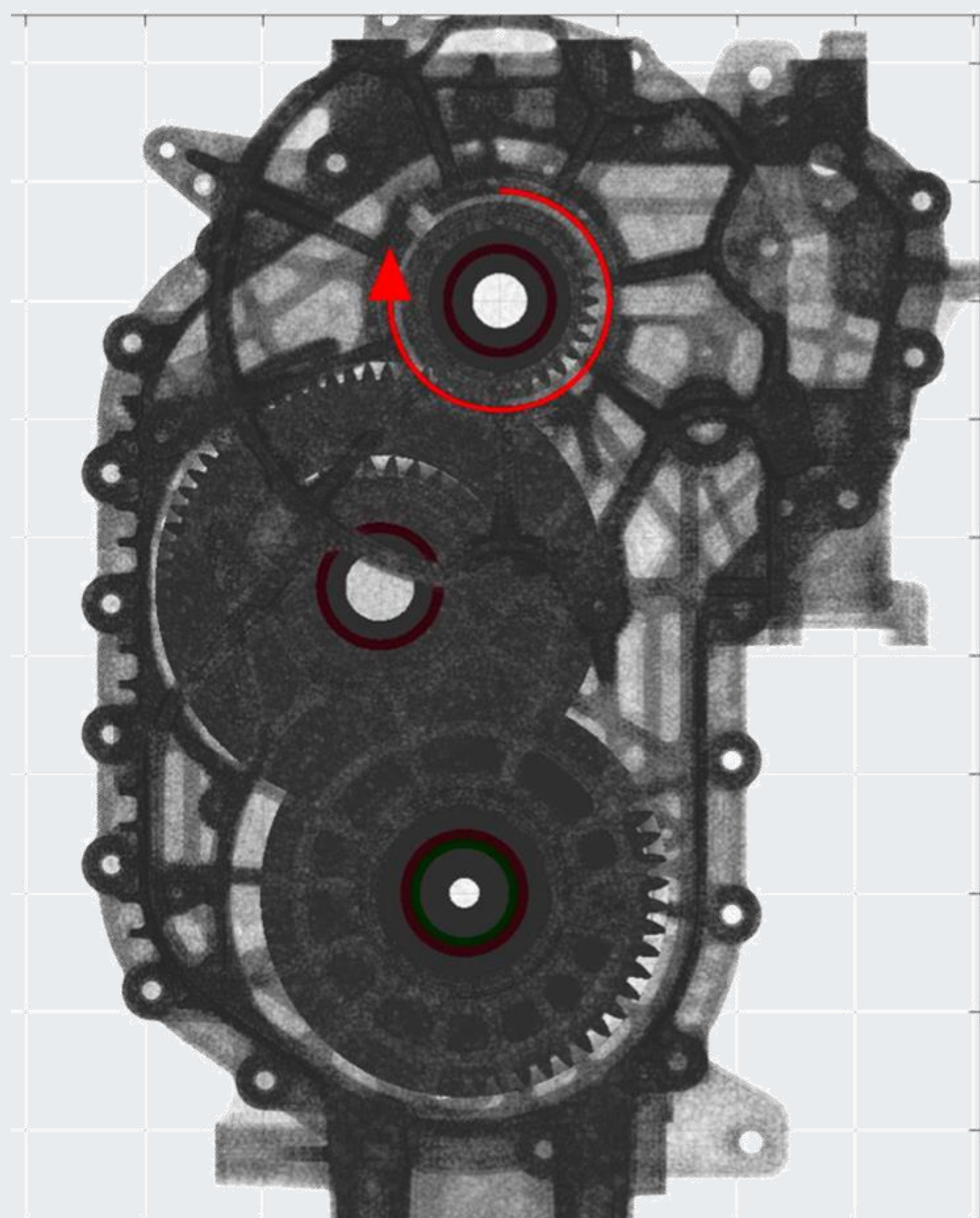


Software GeDy TrAss

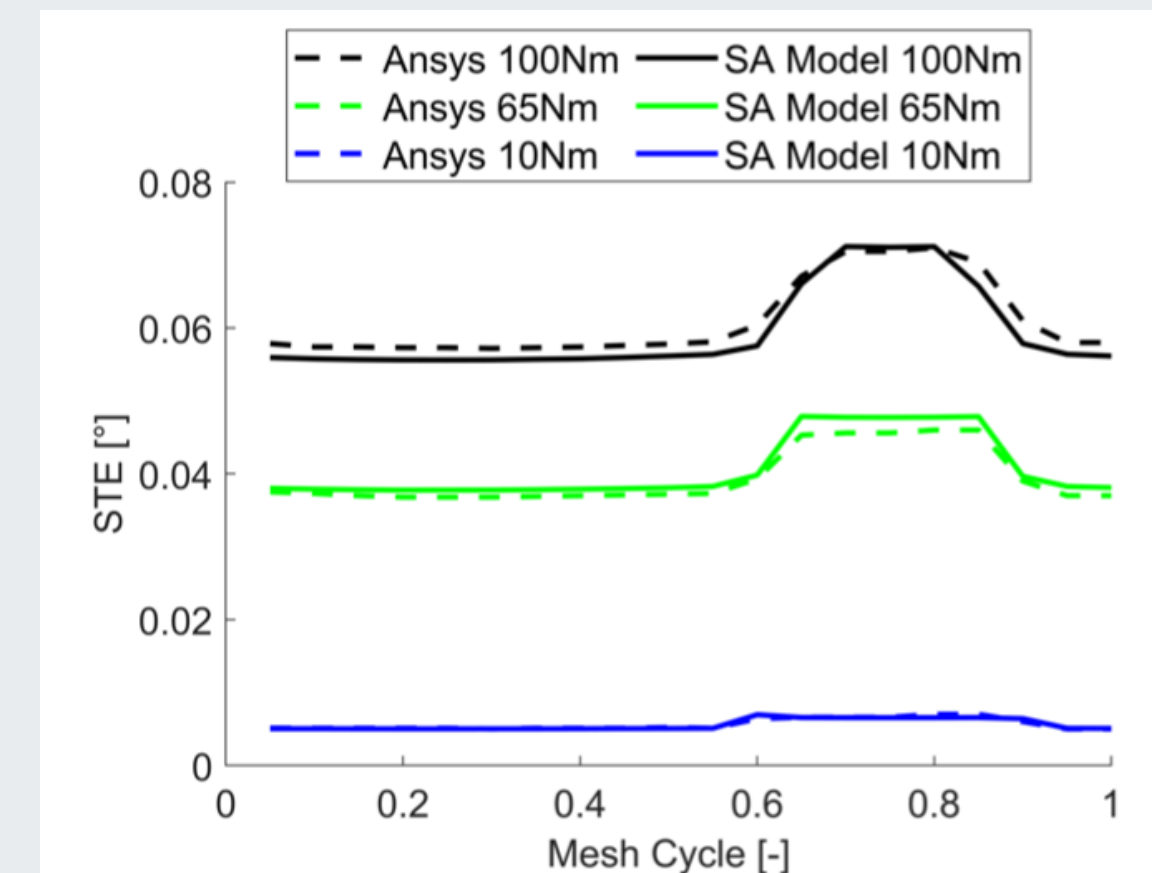
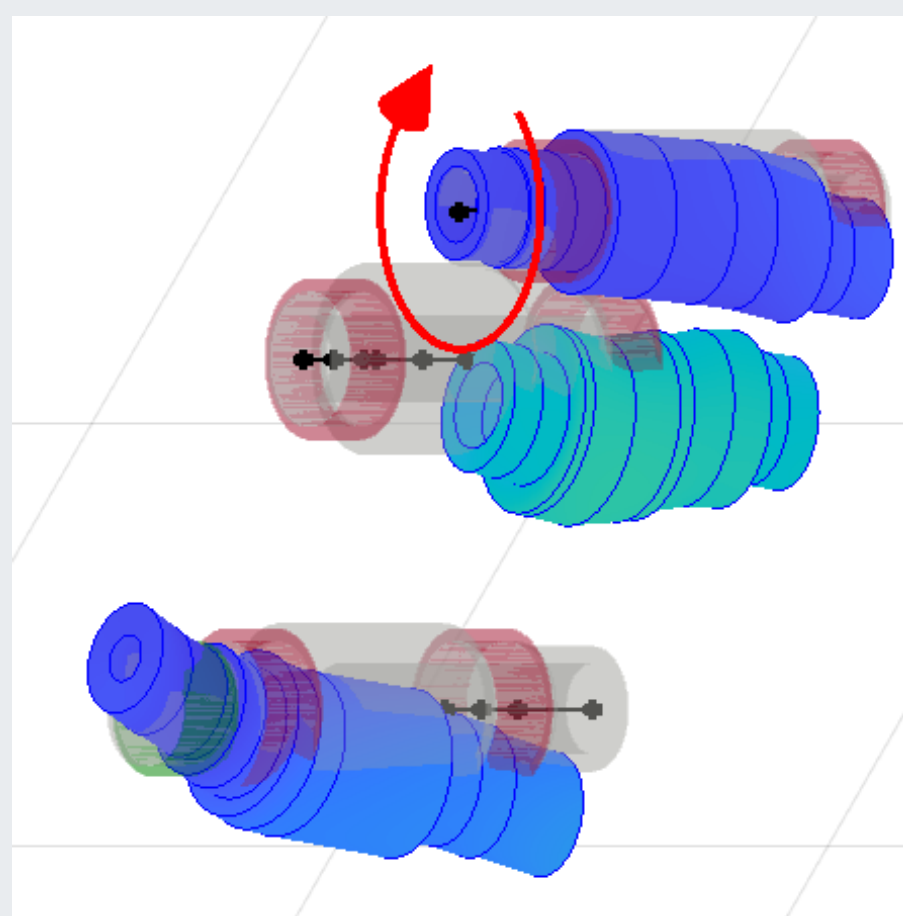
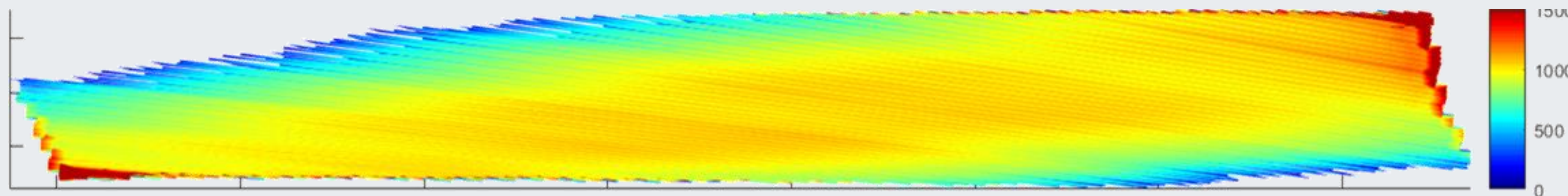


Software GeDy TrAss

STE calcolato in minuti
Solo ruote



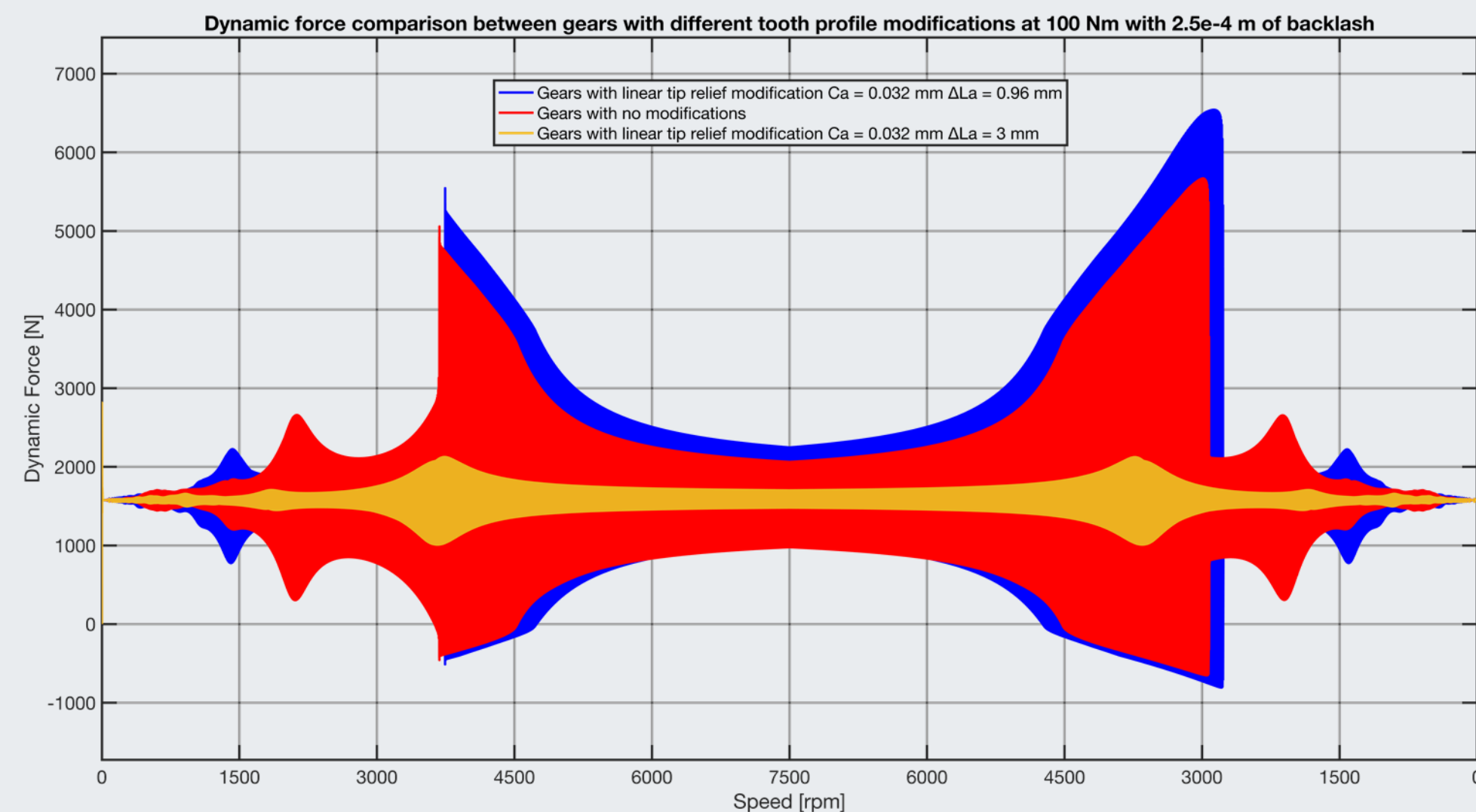
Considerando tutte le deformabilità



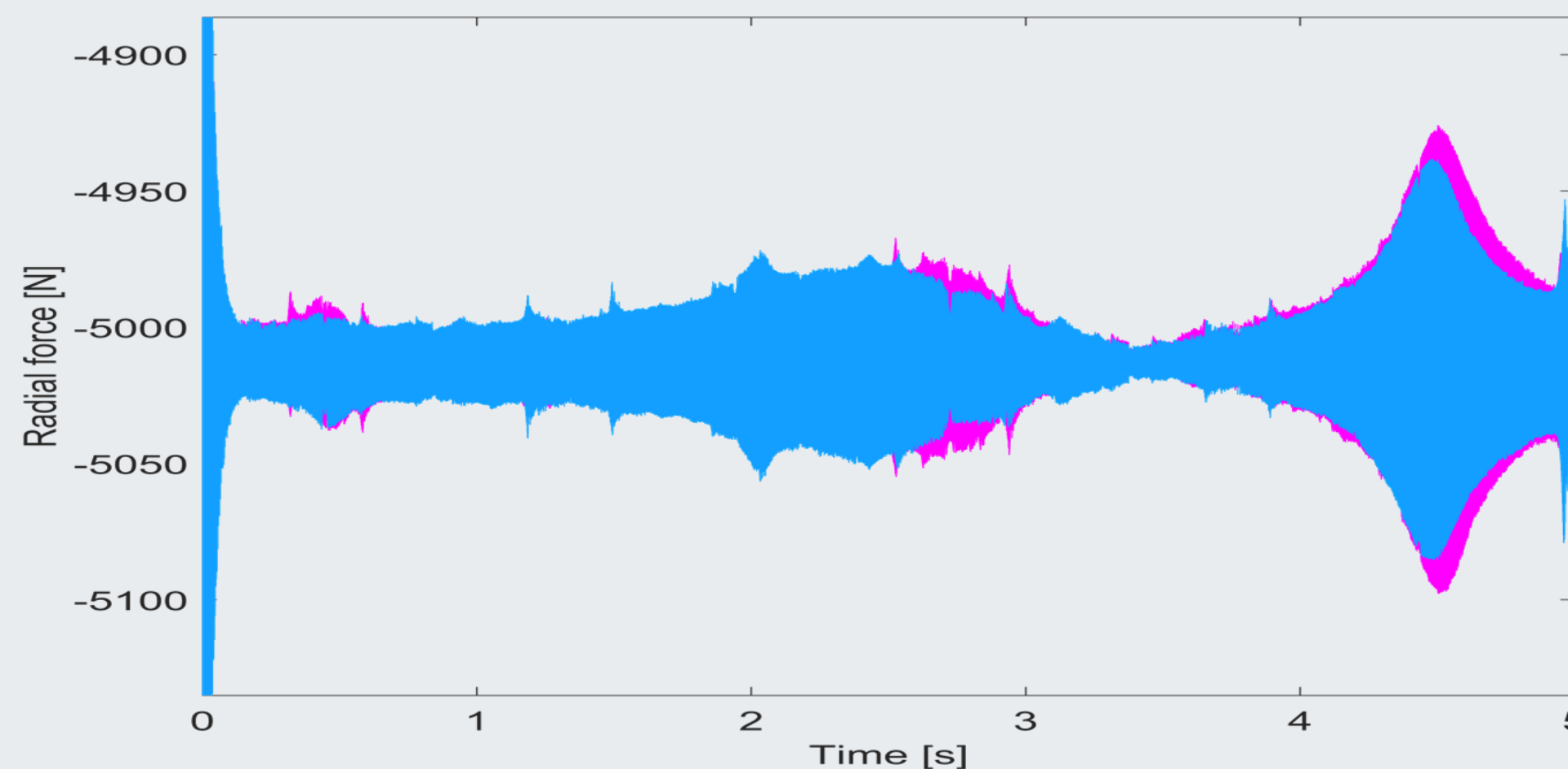
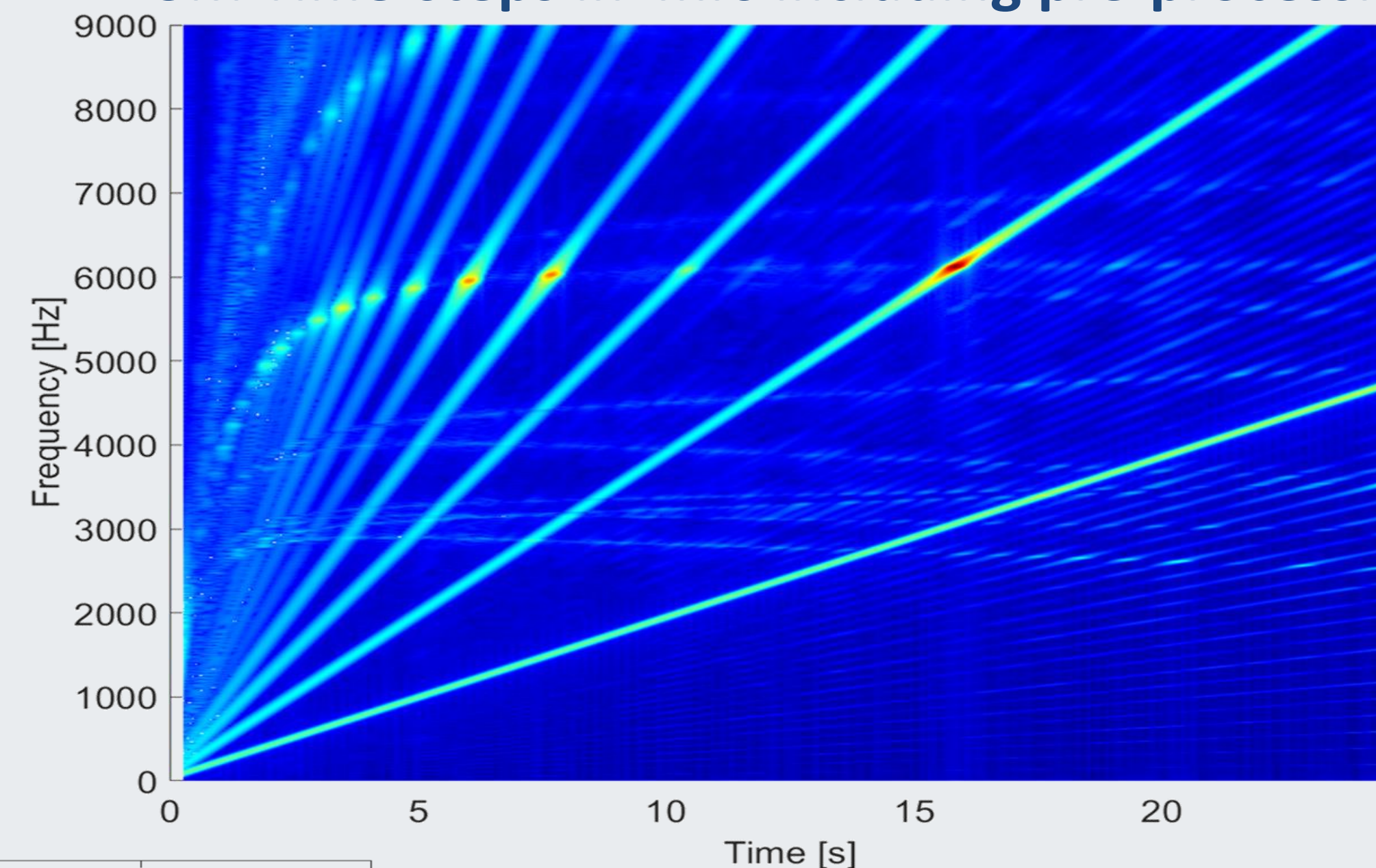
Software GeDy TrAss

Risposta dinamica calcolata in ore

Dynamic force with respect to torque and speed variations



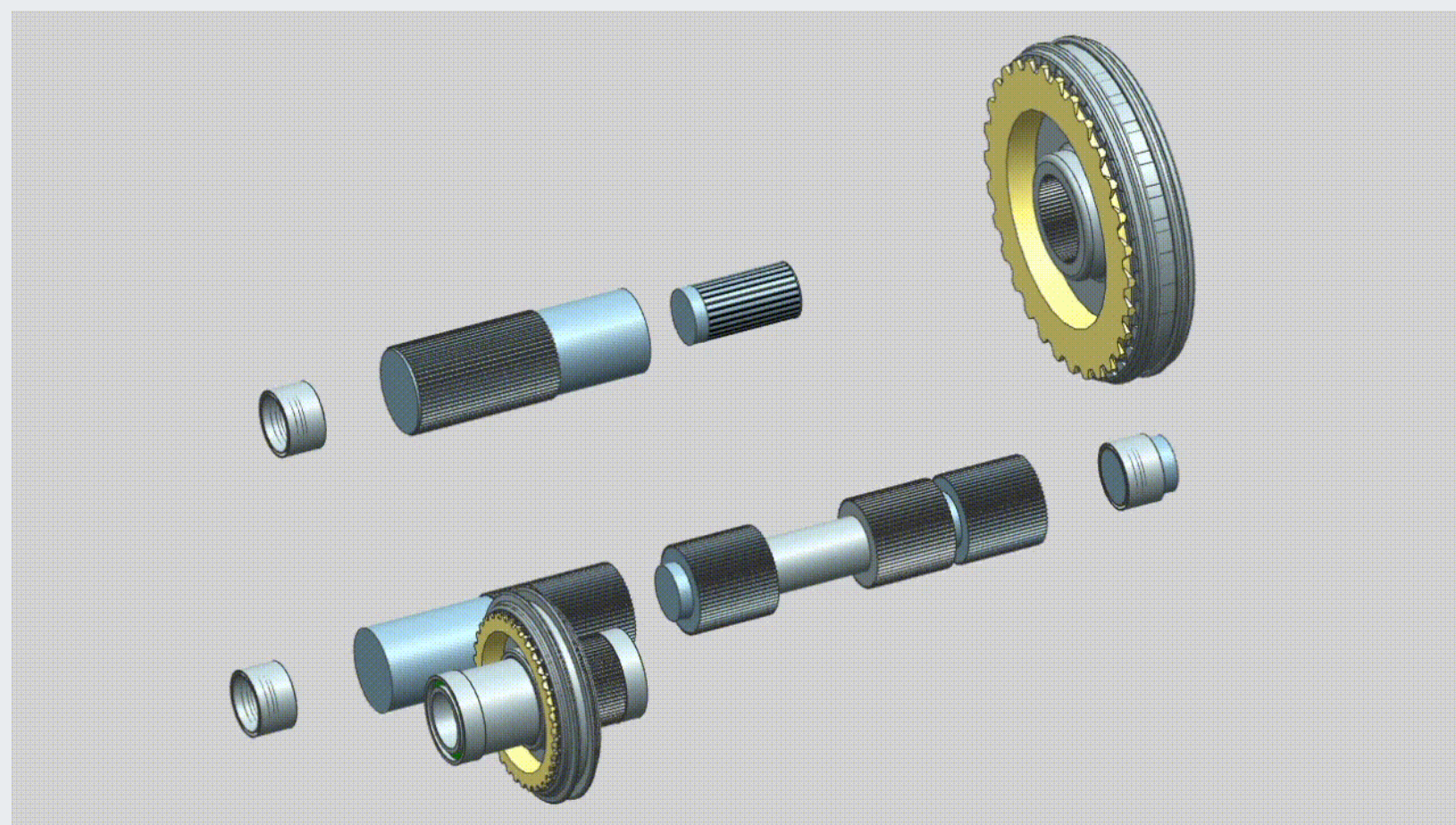
3M Time-steps in 4hrs including pre-processing



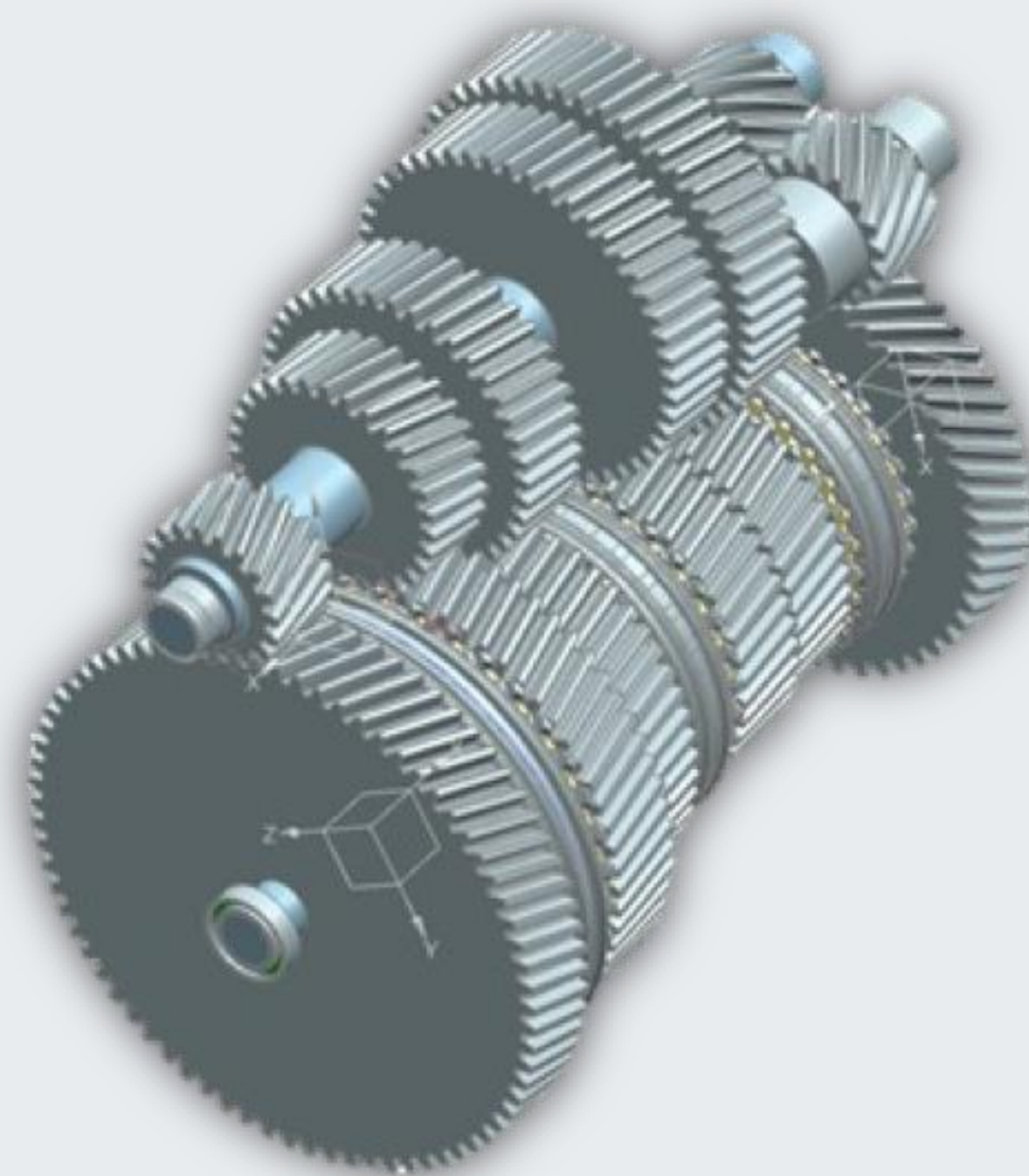
Bearing dynamic force

Software GeDy TrAss

Generazione automatica del layout

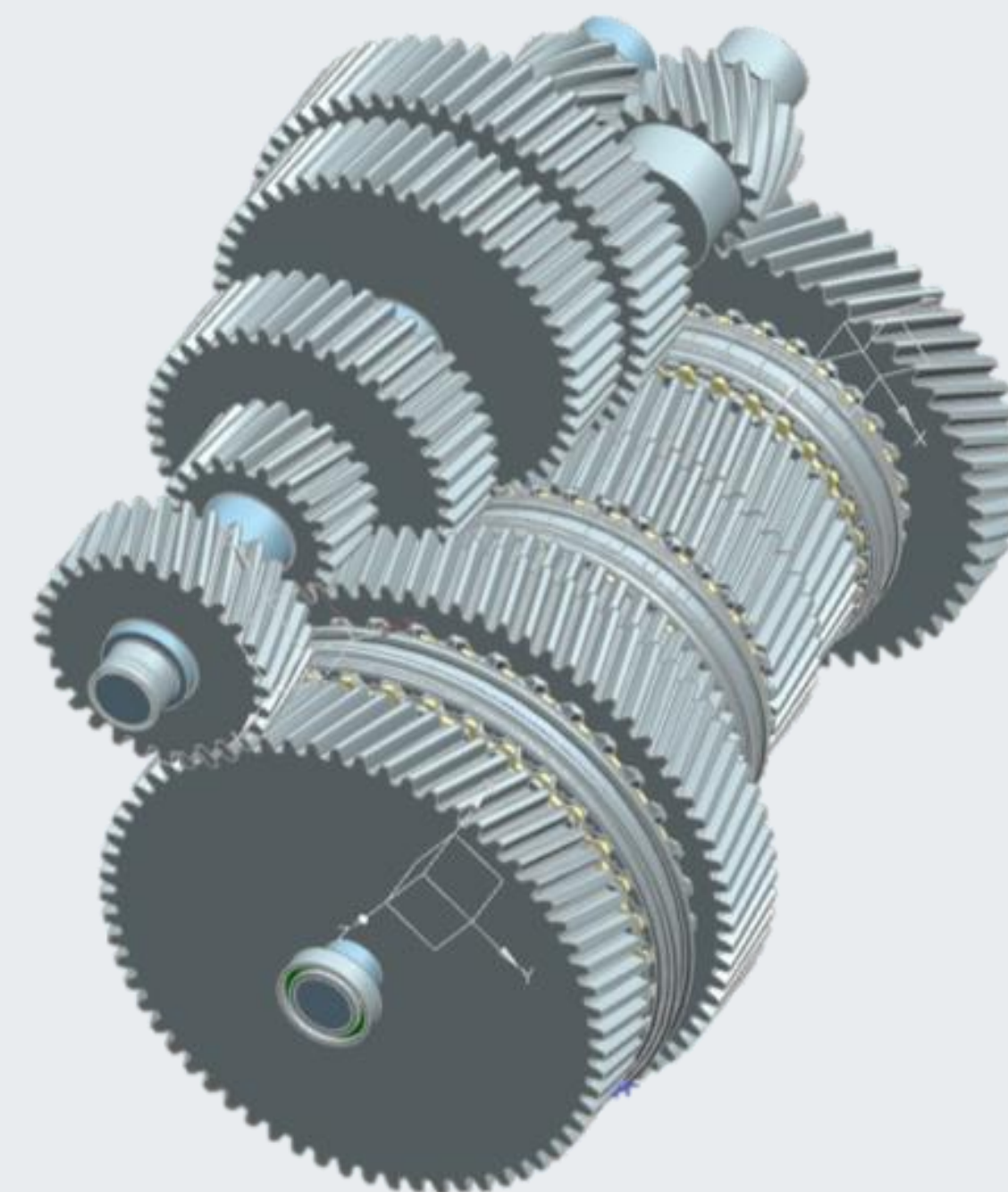
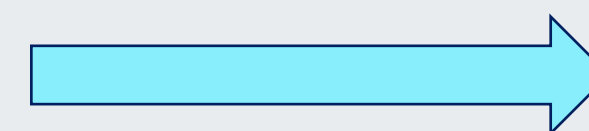


*Dimensionamento e
Verifica delle ruote
secondo ISO 6336-2019*



*Layout 1
computational time:
15 min*

*Eventuali
modifiche*



*Layout 2
computational time:
3 min*



Realizzabilità della teoria su impianti di ultima generazione e presentazione dei risultati

Ing. Francesco CILIBERTI

Ingegnere meccanico laureato presso il Politecnico di Torino, da oltre 20 anni responsabile UT presso LICAT.

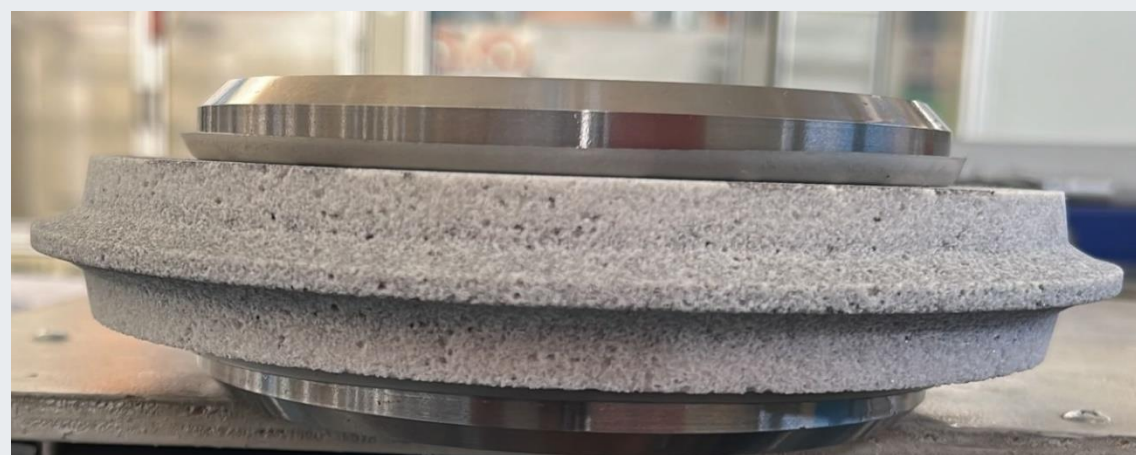
Segue tutto il processo produttivo dell'ingranaggio, analizzandone le criticità realizzative



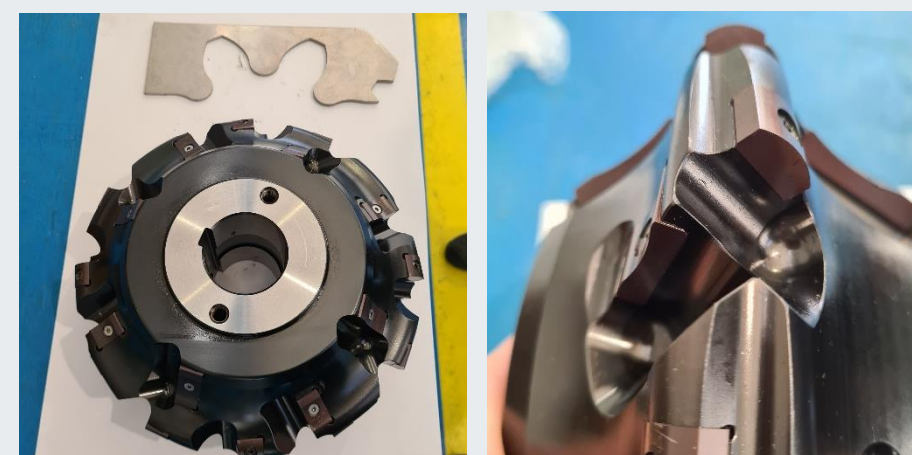
Principali settori di Applicazione delle Micromodifiche

- Militare
- Ferroviario
- Geotermico
- Energia

Mola di forma



Fresa profilata



Metodi di realizzazione micro e macro modifiche

Creatore



Fellow



Pettine MAAG



Monodente



Mosca



- Taglio con utensile di forma
- Taglio per Inviluppo

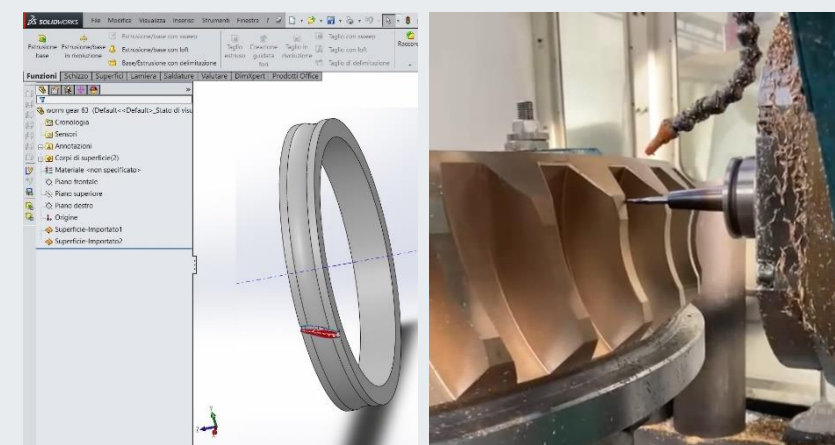
Elettroerosione filo



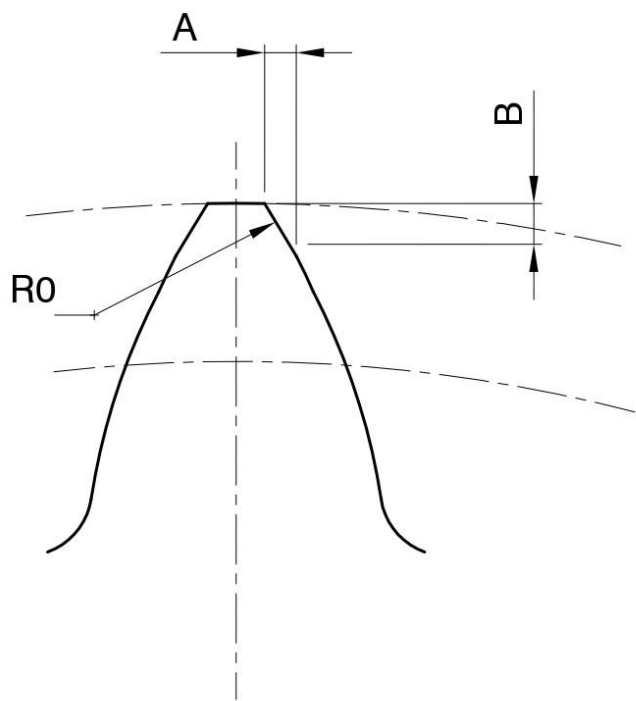
Coppia conica CNC



Worm Wheel CNC

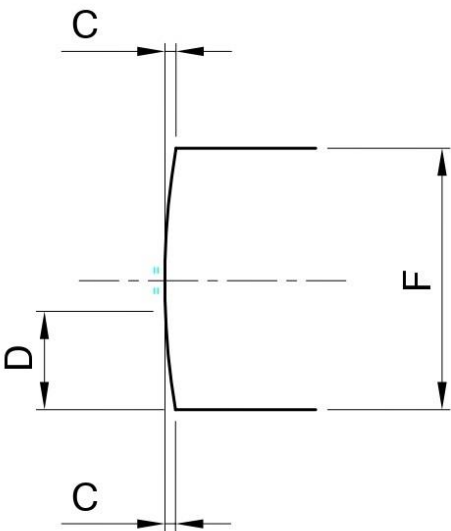


- Taglio con nuove tecnologie
CNC



TIP-RELIEF

- A = Entità di tip relief
- B = Altezza di tip relief
- R₀ = Raggio di tip relief



BOMBATURA *

- C = Entità di bombatura
- D = Lunghezza longitudinale di bombatura
- F = Larghezza di fascia dentata

Modulo [mm]	A [mm]	B [mm]	R ₀ [mm]	C [mm]	D [mm]
1	0,01	0,5	15	0.006	F / 2
2	0,02	1	31	0.012	
3	0,03	1,5	46	0.018	
4	0,04	2	61	0.024	
5	0,05	2,5	77	0.030	
6	0,06	3	92	0.036	
8	0,08	4	122	0.048	
10	0,10	5	153	0.060	
12	0,12	6	184	0.072	
16	0,01	8	245	0.096	

* BOMBATURA: considerato caso di bombatura centrata, per fasce L=10 Modulo.
Non adottare per fasce differenti e dove espressamente richiesto da progetto

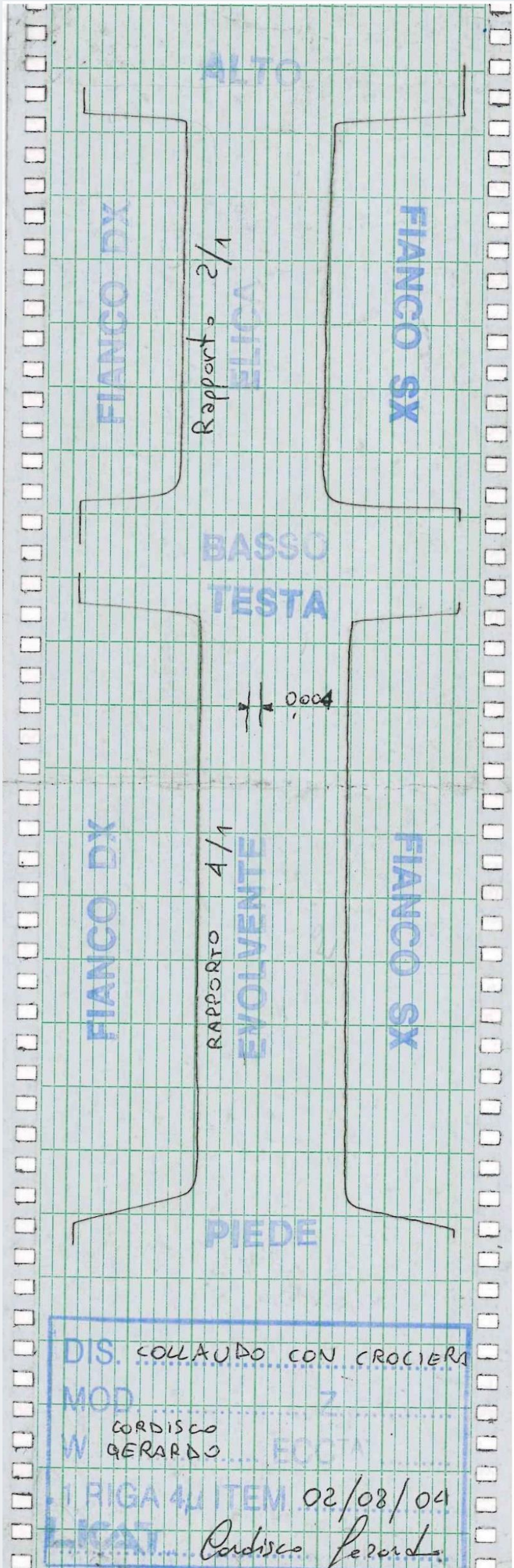
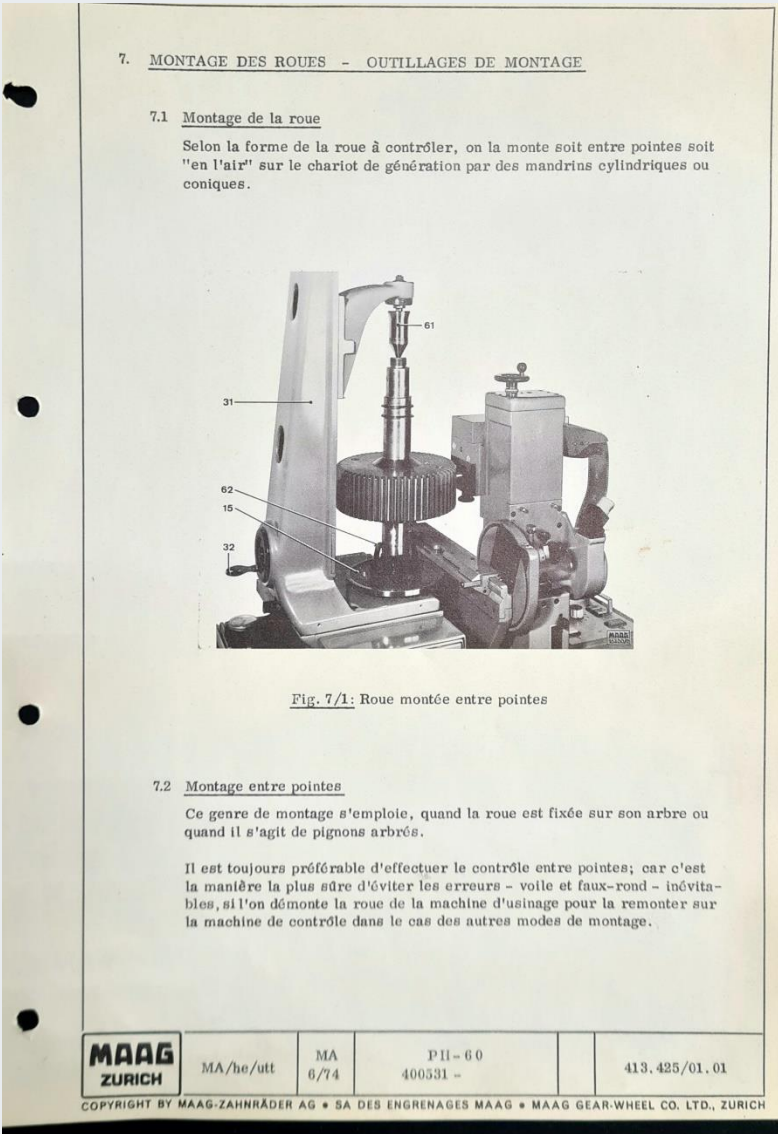
$$A = 1\% M$$

$$B = \frac{M}{2}$$

$$C = 6\% M$$

CROWNING E TIP RELIEF

- Standardizzazione LICAT
casi comuni in mancanza
di indicazioni a disegno



Evoluzione negli anni dei metodi di controllo

- MAAG P60

*Fase di misurazione con unità in sala metrologica indipendente
Dagli impianti di rettifica*



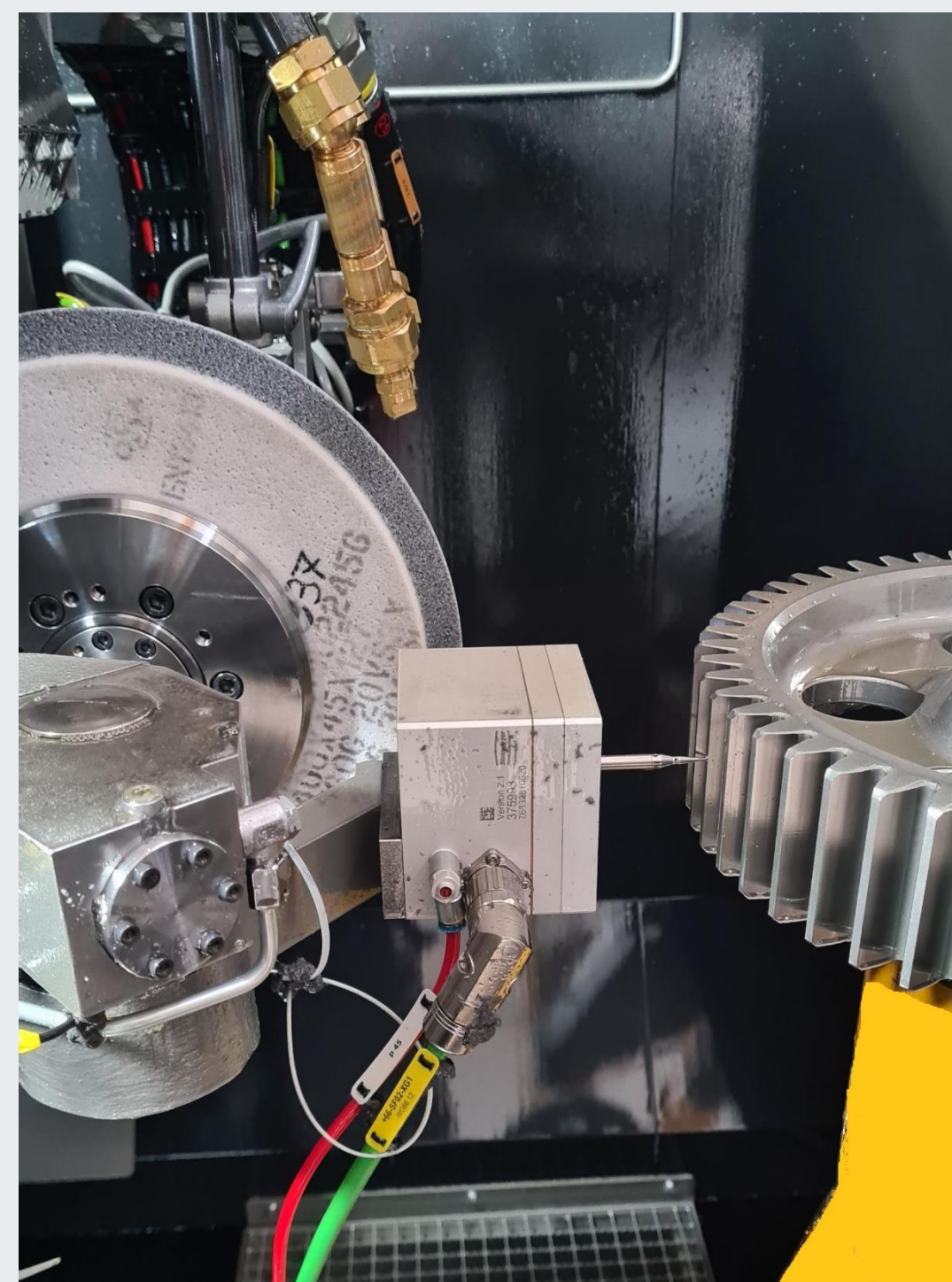
Evoluzione negli anni dei metodi di controllo

- UNITA' DI MISURA
INDIPENDENTE
DA IMPIANTI DI
RETTIFICA

Fase di rettifica



Fase di misurazione con unità a bordo macchina



Evoluzione negli anni dei metodi di controllo

- UNITA' DI MISURA
A BORDO MACCHINA

*Fase di misurazione con unità in sala metrologica
integralmente connessa agli impianti di rettifica*



—
**Evoluzione negli anni
dei metodi di controllo**

— KLINGELNBERG
P125

Controllo
parametri su
misuratore



Comunicazione
Nuovi parametri
a impianto di rettifica

Evoluzione negli anni dei metodi di controllo

- Comunicazione in
« CLOSED LOOP »



Grazie per l'attenzione



Address:

Via Don Ettore Gaia, 19
10043 Orbassano (TO) – Italy
P. IVA 00514850015



Web:

www.licat.it
info@licat.it