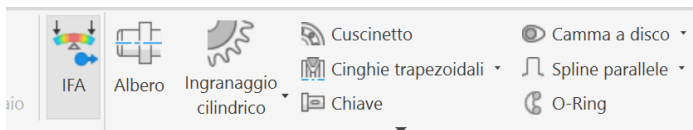
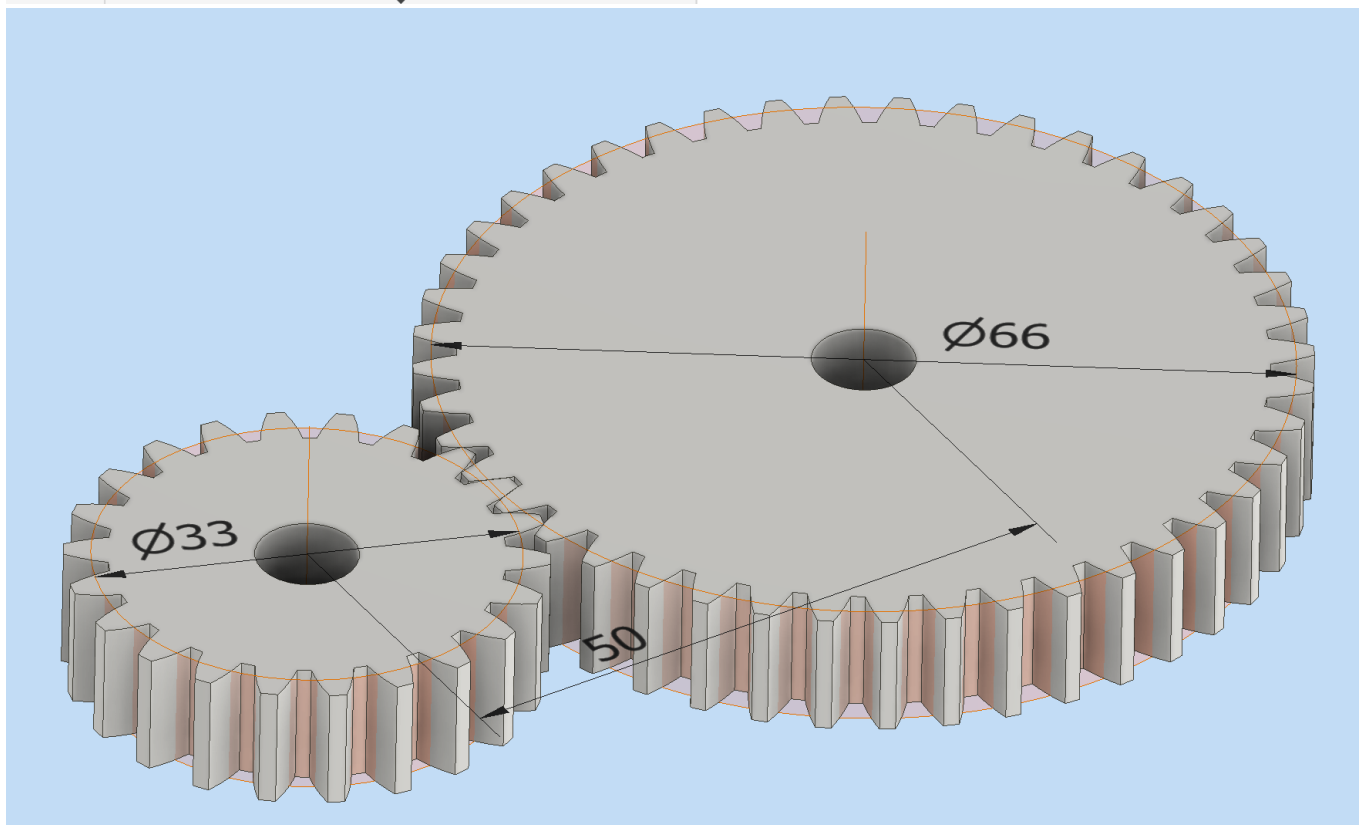


Generatore ingranaggi Inventor

Gli ingranaggi si creano in un file di tipo ASSIEME nella sezione "Progettazione":



Generatore componenti degli ingranaggi cilindrici

Progettazione **Calcolo**

Comuni

Output progettazione: Modulo

Rapporto di trasmissione desiderato: 2,0000 su ☐ Interno

Modulo: 1,500 mm Interasse: 50 mm

Angolo di pressione: 20,0000 gr Angolo d'elica: 0,0000 gr

Distribuzione correzione unità: Personalizzato

Correzione unità totale: 0,3456 su **Anteprima...**

Ingranaggio 1

Componente: ☐ Faccia cilindrica

Numero di denti: 22 su ☐ Piano iniziale

Larghezza faccia: 10 mm Correzione unità: 0,4000 su

Ingranaggio 2

Componente: ☐ Faccia cilindrica

Numero di denti: 44 su ☐ Piano iniziale

Larghezza faccia: 10 mm Correzione unità: -0,0544 su

Risultati

i	2,0000 su
ε	1,5337 su
Ingranaggio 1	
d _a	37,163 mm
d	33,000 mm
d _f	30,450 mm
x _z	0,3949 su
x _p	-0,2670 su
x _d	-0,4370 su
s _a	0,5640 su
b _r	0,3030 su
Ingranaggio 2	
d _a	68,800 mm
d	66,000 mm
d _f	62,087 mm
x _z	-0,2806 su
x _p	-1,5538 su

16:48:51 Progettazione: I numeri dei denti sono commensurabili. Vengono eseguite mesh degli stessi denti piuttosto regolarmente.

Calcola OK Annulla >>

Errore di progettazione “correzione unità $x < x_z$ ”

Generatore componenti degli ingranaggi cilindrici

Progettazione **Calcolo**

Comuni

Output progettazione: Modulo

Rapporto di trasmissione desiderato: 2,0000 su ☐ Interno

Modulo: 1,500 mm Interasse: 50 mm

Angolo di pressione: 20,0000 gr Angolo d'elica: 0,0000 gr

Distribuzione correzione unità: Personalizzato

Correzione unità totale: 0,3456 su **Anteprima...**

Ingranaggio 1

Componente: ☐ Faccia cilindrica ☒ Piano iniziale

Numero di denti: 22 su

Larghezza faccia: 10 mm Correzione unità: 0

Ingranaggio 2

Componente: ☐ Faccia cilindrica ☒ Piano iniziale

Numero di denti: 44 su

Larghezza faccia: 10 mm Correzione unità: 0,3456 su

Risultati

i	2,0000 su
ε	1,5798 su
Ingranaggio 1	
d_a	35,963 mm
d	33,000 mm
d_f	29,250 mm
x_z	0,3949 su
x_p	-0,2670 su
x_d	-0,4370 su
s_a	0,7197 su
b_r	0,3030 su
Ingranaggio 2	
d_a	70,000 mm
d	66,000 mm
d_f	63,287 mm
x_z	-0,2806 su
x_p	-1,5538 su

16:31:13 Progettazione: Ingranaggio 1: Correzione unità (x) è inferiore a Correzione unità senza rastremazione (x_z)

16:31:13 Progettazione: I numeri dei denti sono commensurabili. Vengono eseguite mesh degli stessi denti piuttosto regolarmente.

16:31:13 Calcolo: Il calcolo indica un errore di progettazione.

Correzione errore: fissiamo x appena superiore al valore x_z calcolato da Inventor.

Larghezza faccia: 5 mm Correzione unità: 0,4000 su

L'errore (in rosso) indica che il **coefficiente di spostamento del profilo (x)** impostato per l'Ingranaggio 1 è inferiore al valore minimo di sicurezza (x_z).

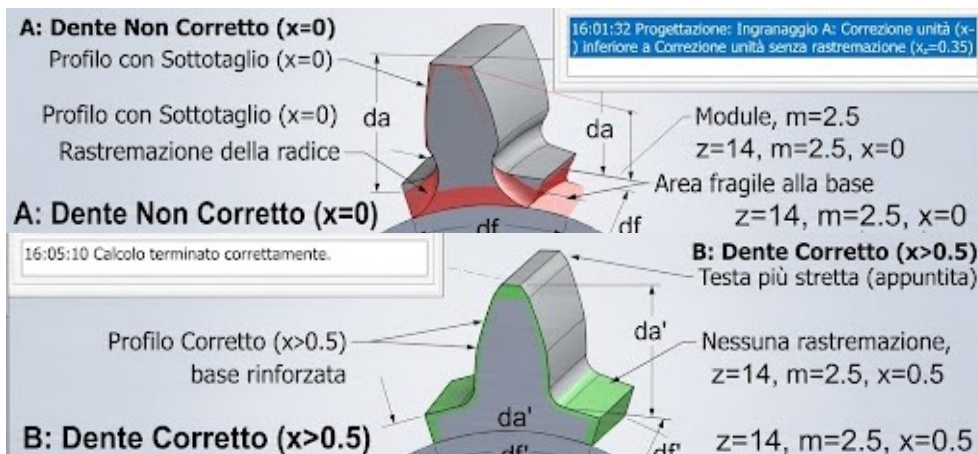
Quando $x < x_z$, i denti subiscono il **sottotaglio** (*undercut* o rastremazione della radice), indebolendo la base del dente e compromettendo l'ingranamento.

L'avviso intermedio sui "numeri di denti commensurabili" indica che i denti delle due ruote hanno un divisore comune (es. 20 e 40 denti), portando all'usura localizzata degli stessi denti ad ogni giro, ma non blocca il calcolo da solo.

Per eliminare l'errore di progettazione si possono applicare i seguenti passaggi:

- Aumentare la correzione del profilo (x)
Ingranaggio 1: nella schermata del generatore, individua il campo **Correzione unità (x)** per l'Ingranaggio 1 e imposta un valore pari o superiore a x_z (il software mostra spesso il valore minimo calcolato).
- Aumentare il numero di denti (z_1)
In alternativa se le dimensioni del sistema lo consentono, aumenta il numero di denti dell'Ingranaggio 1 (z_1) sopra la soglia critica (solitamente ≥ 17 per angolo di pressione di 20°), eliminando la necessità di correzione di profilo per sottotaglio.

Rieseguire il calcolo premendo il pulsante **Calcola** per aggiornare l'analisi geometrica e le verifiche di resistenza. La riga rossa "Errore di progettazione" deve scomparire e lasciare posto alla conferma che il calcolo è terminato correttamente.



A: Dente Non Corretto ($x = 0$)

- **Profilo:** Il dente mostra un evidente fenomeno di sottotaglio (**rastremazione della radice**). Il fianco si restringe notevolmente alla base, creando una zona debole (evidenziata in rosso).
- **Problema:** Questa conformazione indebolisce drasticamente il dente proprio dove si concentrano i massimi sforzi di flessione. Causa l'errore di "rastremazione della radice" visto nell'immagine originale.
- **Caratteristiche:** Testa più larga e tozza, base a imbuto molto stretta.
- **Simulazione CAD:** Sopra il dente A è visibile un pannello messaggi che simula l'errore di progettazione: "16:01:32 Progettazione: Ingranaggio A: Correzione unità ($x=0$) inferiore a Correzione unità senza rastremazione ($x_z=0.35$)".

B: Dente Corretto ($x > 0.5$)

- **Profilo:** Il dente ha subito una correzione di profilo positiva (x aumentato a 0,5, come suggerito). È robusto e solido.
- **Vantaggio:** Il sottotaglio è completamente eliminato. La base del dente è più larga e spessa, garantendo un'elevata resistenza strutturale (base rinforzata evidenziata in verde).
- **Caratteristiche:** Testa più stretta e appuntita (come spiegato in precedenza), base solida e ampia.
- **Simulazione CAD:** Sopra il dente B è visibile il pannello messaggi che conferma la riuscita del calcolo: "16:05:10 Calcolo terminato correttamente.".

Differenze chiave nel disegno:

- Il dente corretto (B) è molto più resistente di quello non corretto (A).
- L'aumento di x "allontana" il fianco dalla radice teorica, eliminando l'erosione del sottotaglio.
- Nota come i diametri di testa (d_a) e di radice (d_f) siano aumentati nell'ingranaggio corretto (B), portando l'intero dente verso l'esterno.

Nota Bene: Come discusso, un valore di x troppo elevato (come $x=0,5$ in questo esempio didattico per mostrare chiaramente la correzione) potrebbe causare il secondo errore visto sull'immagine originale, riducendo troppo il rapporto di contatto o rendendo la testa del dente appuntita.

Il valore ideale di x è spesso appena sopra il valore minimo x_z .

Errore di progettazione “rapporto di contatto al limite”

Generatore componenti degli ingranaggi cilindrici

Progettazione **Calcolo**

Comuni

Output progettazione: Modulo

Angolo di pressione: 20,0000 gr

Angolo d'elica: 0,0000 gr

Rapporto di trasmissione desiderato: 2,0000 su

Interno: ☐

Distribuzione correzione unità: Personalizzato

Modulo: 1,750 mm

Interasse: 50

Correzione unità totale: 1,8629 su

Anteprima...

Ingranaggio 1

Componente: Faccia cilindrica

Numero di denti: 18

Piano iniziale: ☐

Larghezza faccia: 10 mm

Correzione unità: 0,5213

Ingranaggio 2

Componente: Faccia cilindrica

Numero di denti: 36 su

Piano iniziale: ☐

Larghezza faccia: 10 mm

Correzione unità: 1,3416 su

Risultati

i	2,0000 su
ε	1,1461 su
Ingranaggio 1	
d _a	35,804 mm
d	31,500 mm
d _f	28,950 mm
x _z	0,5213 su
x _p	-0,0331 su
x _d	-0,2030 su
s _a	0,8238 su
b _r	0,3175 su
Ingranaggio 2	
d _a	70,175 mm
d	63,000 mm
d _f	63,321 mm
x _z	-0,0368 su
x _p	-1,0859 su

16:43:12 Progettazione: Il rapporto di contatto sta raggiungendo il valore limite.
16:43:12 Progettazione: I numeri dei denti sono commensurabili. Vengono eseguite mesh degli stessi denti piuttosto regolarmente.
16:43:12 Calcolo: Il calcolo indica un errore di progettazione.

L'errore è causato dalla riga relativa al **rapporto di contatto** (o **grado di ricoprimento**), ϵ_α che è sceso al di sotto del limite minimo di sicurezza accettato dal software (solitamente tra 1,0 e 1,2).

Il rapporto di contatto indica quante coppie di denti sono contemporaneamente in presa durante la trasmissione. Quando scende sotto il valore limite:

- Una coppia di denti si stacca prima che la coppia successiva sia completamente entrata in presa.
- La trasmissione perde continuità cinematica, generando urti, forti vibrazioni, rumore e un rapido danneggiamento delle ruote.

Questo problema è spesso una diretta conseguenza dell'aumento della correzione di profilo (x) effettuato in precedenza per risolvere il sottotaglio: un valore di x troppo elevato accorcia il tratto attivo dell'ingranamento, riducendo il rapporto di contatto.

Ecco le soluzioni principali per risolvere l'errore:

1. Ridurre leggermente la correzione del profilo (x)

Trova un punto di equilibrio: riduci il valore di x impostandolo esattamente al valore minimo di sicurezza (x_z) calcolato dal software, senza eccedere. Questo permette di recuperare lunghezza sulla linea d'ingranamento.

2. Aumentare il numero di denti (z1 e/o z2)

Aumentando il numero di denti della ruota (anche mantenendo lo stesso rapporto di trasmissione), il rapporto di contatto aumenta naturalmente, garantendo sempre più di una coppia di denti in presa.

3. Ridurre il modulo e aumentare il numero di denti (a pari interasse)

Riducendo leggermente il modulo (m) e aumentando proporzionalmente il numero di denti (z), si ottiene un grado di ricoprimento più elevato a parità di ingombro complessivo.

4. Aumentare il diametro di testa (da)

Se il generatore consente la modifica manuale dei diametri di testa, un leggero incremento dei diametri esterni delle ruote allunga il profilo d'ingranamento utile.

5. Aumentare l'interasse a parità di numero di denti

Aumentare leggermente l'interasse permette di recuperare lunghezza sulla linea d'ingranamento.

Per verificare la risoluzione del problema, riaggiorna il calcolo e controlla che il valore del rapporto di contatto risulti superiore a 1,2 e che la riga rossa di errore scompaia.

Generatore componenti degli ingranaggi cilindrici

Progettazione **Calcolo**

Comuni

Output progettazione
Modulo

Rapporto di trasmissione desiderato
2,0000 su ☐ Interno

Modulo
2,000 mm

Interasse
55

Angolo di pressione
20,0000 gr

Angolo d'elica
0,0000 gr

Distribuzione correzione unità
Personalizzato

Correzione unità totale
0,5329 su

Anteprima...

Ingranaggio 1

Componente
Faccia cilindrica

Numero di denti
18

Larghezza faccia
10 mm

Correzione unità
0,53

Ingranaggio 2

Componente
Faccia cilindrica

Numero di denti
36 su

Larghezza faccia
10 mm

Correzione unità
0,0029 su

Risultati

i	2,0000 su
ϵ	1,4223 su
Ingranaggio 1	
d_a	41,988 mm
d	36,000 mm
d_f	33,120 mm
x_z	0,5213 su
x_p	-0,0331 su
x_d	-0,2030 su
s_a	0,4693 su
b_r	0,2778 su
Ingranaggio 2	
d_a	75,880 mm
d	72,000 mm
d_f	67,012 mm
x_z	-0,0368 su
x_p	-1,0859 su

16:45:49 Progettazione: I numeri dei denti sono commensurabili. Vengono eseguite mesh degli stessi denti piuttosto regolarmente.

16:45:49 Calcolo: Il calcolo indica un errore di progettazione.

Denti commensurabili

16:45:49 Progettazione: I numeri dei denti sono commensurabili. Vengono eseguite mesh degli stessi denti piuttosto regolarmente.

16:45:49 Calcolo: Il calcolo indica un errore di progettazione.

Il problema dei denti commensurabili si presenta quando il numero di denti del pignone (z_1) e della corona (z_2) hanno un massimo comune divisore superiore a 1 ($MCD > 1$). Per risolverlo si applica il principio del dente di caccia ("hunting tooth"), facendo in modo che i numeri dei denti siano primi tra loro ($MCD = 1$).

Ecco le soluzioni principali per risolvere l'avviso:

1. Modifica del numero di denti (+1 o -1)

Varia il numero di denti di una delle due ruote di una singola unità.

Esempio: Se hai $z_1 = 20$ e $z_2 = 40$ ($MCD = 20$), passando a $z_1 = 19$ e $z_2 = 40$ oppure $z_1 = 20$ e $z_2 = 41$ ottieni $MCD = 1$.

Effetto: Ogni dente del pignone entra in contatto con tutti i denti della corona prima di ripetere il contatto iniziale, distribuendo e uniformando l'usura nel tempo.

2. Compensazione su un altro stadio di riduzione

Se il rapporto di trasmissione complessivo della macchina deve rimanere rigorosamente invariato, varia i denti del primo stadio e compensa la minima variazione sul secondo stadio della catena cinematica.

3. Gestione del rapporto vincolato (Cinematica esatta)

Se la trasmissione richiede un rapporto di fase esatto che vieta qualsiasi modifica a z_1 o z_2 , il messaggio del software può essere ignorato: si tratta di un avviso e non di un errore bloccante.

In questo caso, per contenere l'usura localizzata, si agisce sulla lavorazione:

- Aumento della classe di precisione (es. rettifica del profilo dei denti).
- Trattamenti termici di indurimento superficiale (cementazione o nitrurazione).
- Riduzione della rugosità superficiale e lubrificazione dedicata ad alta pressione.

Cerchi Primitivi

1. Cerchi Primitivi Teorici (Nominali)

- Sono i cerchi definiti dalla formula geometrica pura: $d = m * z$ (dove m è il modulo e z il numero di denti).
- **Non sono tangenti** quando la somma delle correzioni di profilo è maggiore di zero ($x_1 + x_2 > 0$). L'aumento di x sposta la posizione degli assi aumentandone l'interasse reale. Tra i due cerchi primitivi teorici si crea quindi uno spazio vuoto.
- I moduli di progettazione CAD (come il Design Accelerator di Inventor) rappresentano visivamente negli schizzi i cerchi primitivi teorici, motivo per cui nel modello 3D appaiono staccati.

2. Cerchi Primitivi di Funzionamento (Operativi)

- Sono i cerchi virtuali sui quali avviene il reale rotolamento cinematico delle due ruote alla distanza d'asse effettiva (interasse di funzionamento).
- **Sono SEMPRE tangenti** nel punto di contatto tra le due ruote. All'aumentare dell'interasse, l'angolo di pressione di funzionamento aumenta e i diametri operativi si ricalcolano automaticamente per rimanere tangenti.

Comportamento nel modello CAD

- **Senza correzione ($x_1 + x_2 = 0$):** I cerchi teorici e di funzionamento coincidono e il disegno li mostra perfettamente tangenti.
- **Con correzione positiva ($x_1 + x_2 > 0$):** I cerchi teorici mostrati nello schizzo si separano. Il modello 3D resta comunque valido e cinematicamente corretto perché i denti ingranano sui cerchi operativi effettivi.