

Verifica strutturale, calcolo della potenza e analisi del ciclo di vita di un ingranaggio per pompa oleodinamica: definizione di una relazione tra le caratteristiche meccaniche del materiale e il danno ambientale

Anna Marchesi



INDICE

- ▶ Obiettivo dello studio e campo di applicazione
- ▶ Verifica strutturale e calcolo della potenza
- ▶ Inventario
- ▶ Analisi
- ▶ Correlazione tra caratteristiche meccaniche e danno ambientale
- ▶ Foglio di calcolo
- ▶ Indicatori che valorizzano la funzione dell'ingranaggio
- ▶ Costi esterni
- ▶ Conclusioni



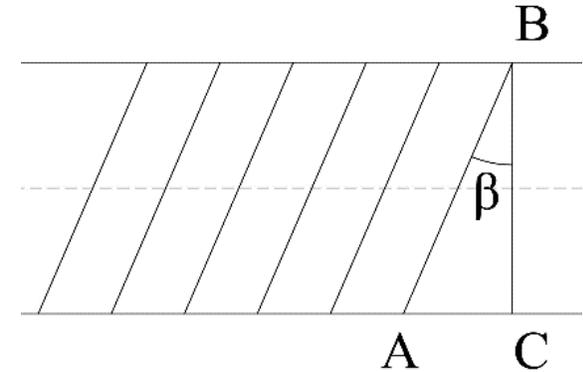
OBIETTIVO DELLO STUDIO E CAMPO DI APPLICAZIONE

MOTIVAZIONE	Il territorio reggiano storicamente è ricco di numerose aziende meccaniche specializzate in vari ambiti, dimostrandosi essere un territorio all'avanguardia e di innovazione
SISTEMA STUDIATO	Ingranaggio della Ditta 'L.M.I.' di Reggio Emilia
OBIETTIVO DELLO STUDIO	Valutazione ambientale dovuto a: <ul style="list-style-type: none">• la lavorazione;• i trattamenti termici;• l'uso;• il fine vita di un ingranaggio.
UNITÀ FUNZIONALE	Peso dell'ingranaggio
CONFINI DEL SISTEMA	I confini del sistema vanno dalla produzione dei materiali componenti fino al fine vita dell'ingranaggio
QUALITÀ DEI DATI	Utilizzati i dati primari, altrimenti sono stati stimati o assunti da letteratura. Il Metodo per il calcolo del danno è IMPACT 2002+ modificato dal gruppo di studio, EPS 2015 e IMPACT modificato allo scopo per il calcolo dei costi esterni. Il codice usato è SimaPro 8.3.0

VERIFICA STRUTTURALE E CALCOLO DELLA POTENZA

FORZA TRASVERSALE F_t NUMERO DI GIRI n DIAMETRO PRIMITIVO d
 FETTORE CORRETTIVO $19,5 * 10^4$

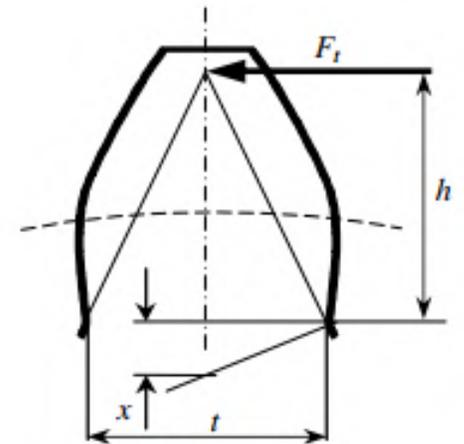
La potenza si calcola come: $P = \frac{F_t \cdot n \cdot d}{19,5 * 10^4} = 4,53 \text{ kW}$



La forza trasversale si calcola come: $F_t = F_n \cdot \cos \beta = 11451,78 \text{ N}$

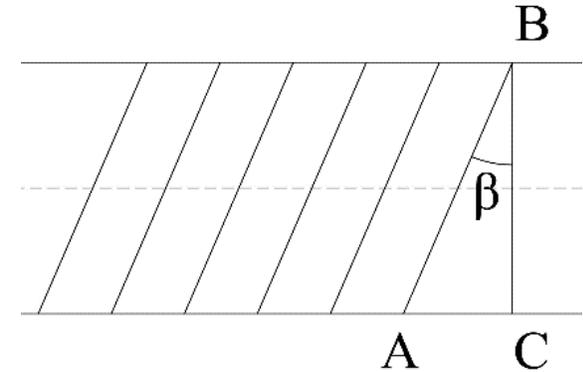
La forza normale si ricava da: $F_n = \frac{\sigma_{amm} \cdot t^2 \cdot b}{6 \cdot h}$

$$F_n = \frac{812 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 5,157^2 \text{mm}^2 * 15,209 \text{mm}}{6 * 4,4 \text{mm}} = 12440,76 \text{ N}$$



VERIFICA STRUTTURALE E CALCOLO DELLA POTENZA

La potenza si calcola come:
$$P = \frac{F_t \cdot n \cdot d}{19,5 \cdot 10^4} = 4,53 \text{ kW}$$

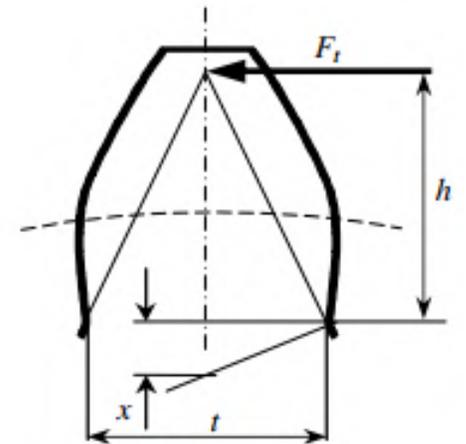


FORZA NORMALE
INCLINAZIONE DEI DENTI

La forza trasversale si calcola come:
$$F_t = F_n \cdot \cos \beta = 11451,78 \text{ N}$$

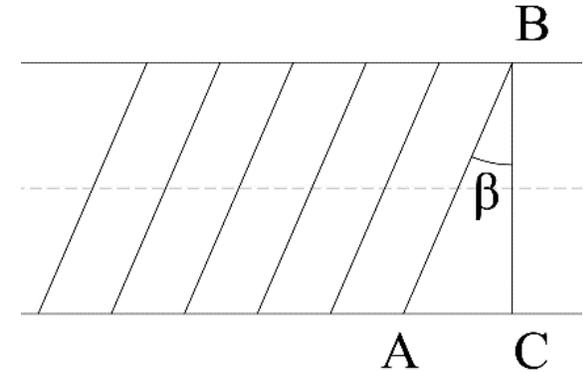
La forza normale si ricava da:
$$F_n = \frac{\sigma_{amm} \cdot t^2 \cdot b}{6 \cdot h}$$

$$F_n = \frac{812 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 5,157^2 \text{mm}^2 * 15,209 \text{mm}}{6 * 4,4 \text{mm}} = 12440,76 \text{ N}$$



VERIFICA STRUTTURALE E CALCOLO DELLA POTENZA

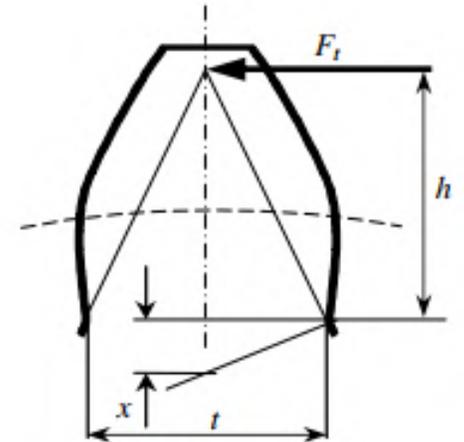
La potenza si calcola come:
$$P = \frac{F_t \cdot n \cdot d}{19,5 \cdot 10^4} = 4,53 \text{ kW}$$



La forza trasversale si calcola come:
$$F_t = F_n \cdot \cos \beta = 11451,78 \text{ N}$$

La forza normale si ricava da:
$$F_n = \frac{\sigma_{amm} \cdot t^2 \cdot b}{6 \cdot h}$$

Labels in the diagram:
 - σ_{amm} : TENSIONE AMMISSIBILE
 - t : LARGHEZZA DEL DENTE
 - b : LUNGHEZZA DEL DENTE
 - h : ALTEZZA DEL DENTE



$$F_n = \frac{812 \frac{N}{mm^2} * 5,157^2 mm^2 * 15,209 mm}{6 * 4,4 mm} = 12440,76 \text{ N}$$

VERIFICA STRUTTURALE E CALCOLO DELLA POTENZA

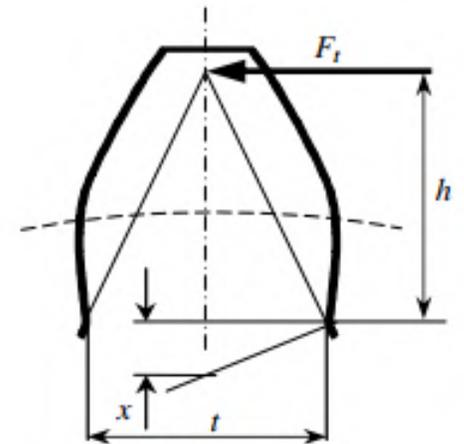
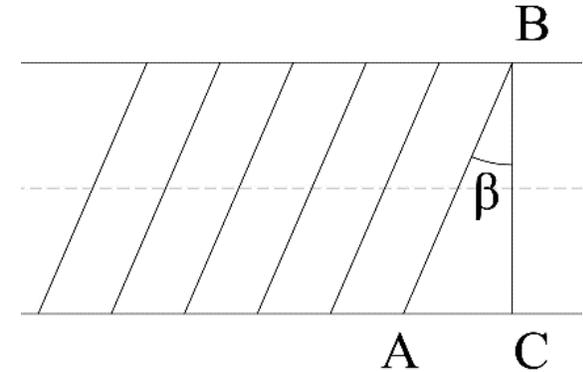
NUMERO DI GIRI

La potenza si calcola come:
$$P = \frac{F_t \cdot n \cdot d}{19,5 * 10^4} = 4,53 \text{ kW}$$

La forza trasversale si calcola come:
$$F_t = F_n \cdot \cos \beta = 11451,78 \text{ N}$$

La forza normale si ricava da:
$$F_n = \frac{\sigma_{amm} \cdot t^2 \cdot b}{6 \cdot h}$$

$$F_n = \frac{812 \frac{N}{mm^2} * 5,157^2 mm^2 * 15,209 mm}{6 * 4,4 mm} = 12440,76 \text{ N}$$

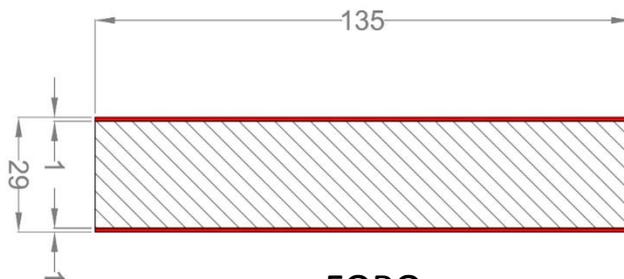


INVENTARIO – LAVORAZIONE MECCANICA

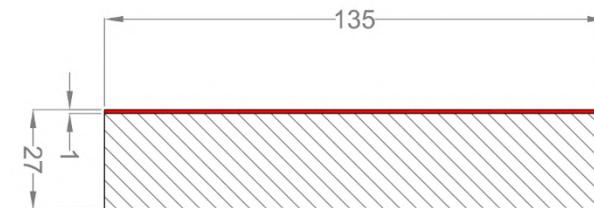
BILLETТА INIZIALE



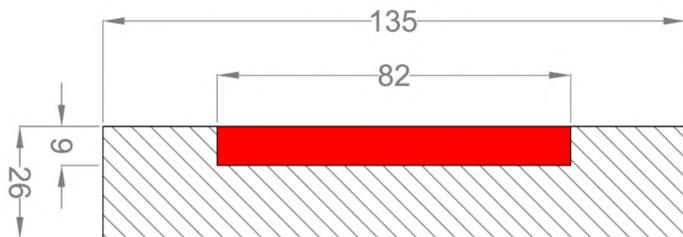
TAGLIO CON FRESA



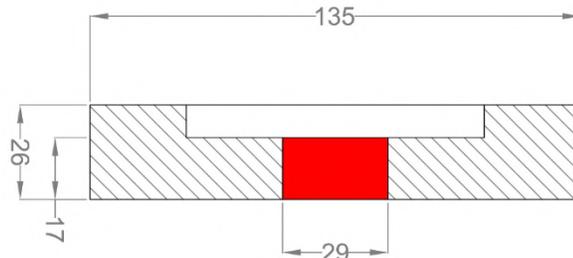
SPIANATURA
SUPERFICIE SINISTRA



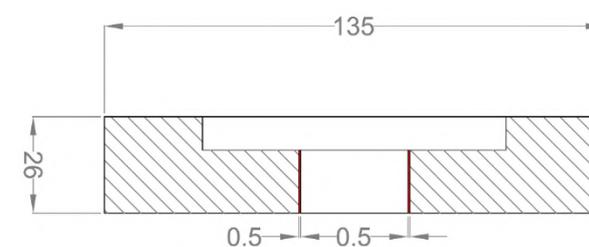
INCAVO



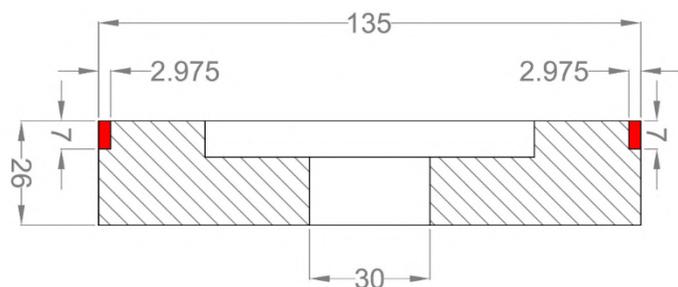
FORO



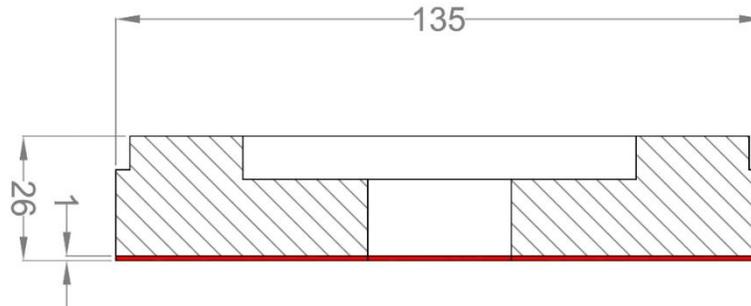
FINITURA FORO



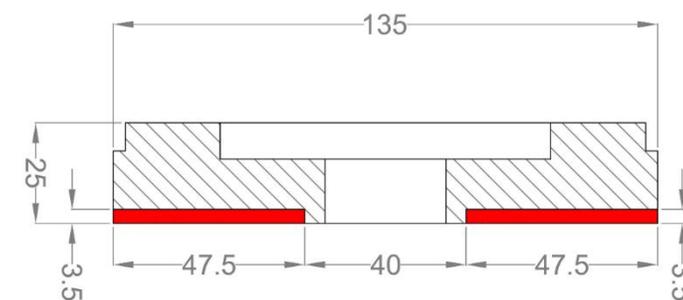
RIDUZIONE DIAMETRO
SUPERFICIE SINISTRA



SPIANATURA
SUPERFICIE DESTRA



SECONDO INCAVO

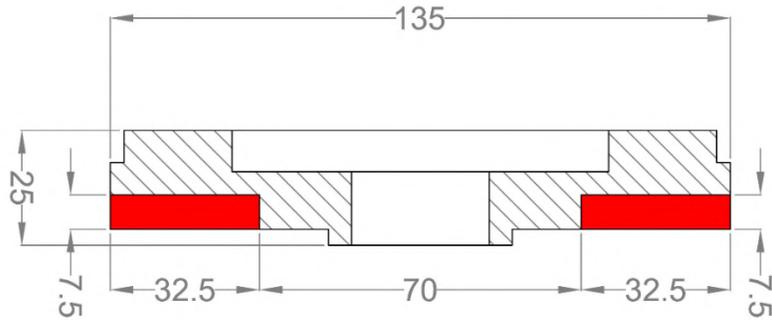


INVENTARIO – LAVORAZIONE MECCANICA

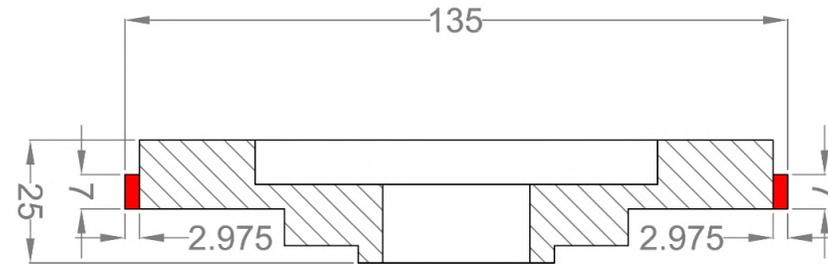


UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

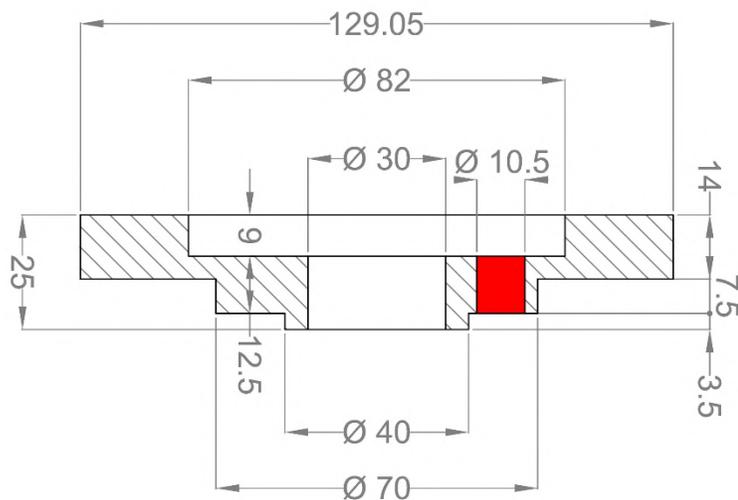
TERZO INCAVO



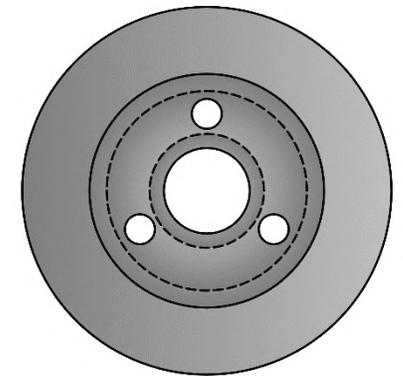
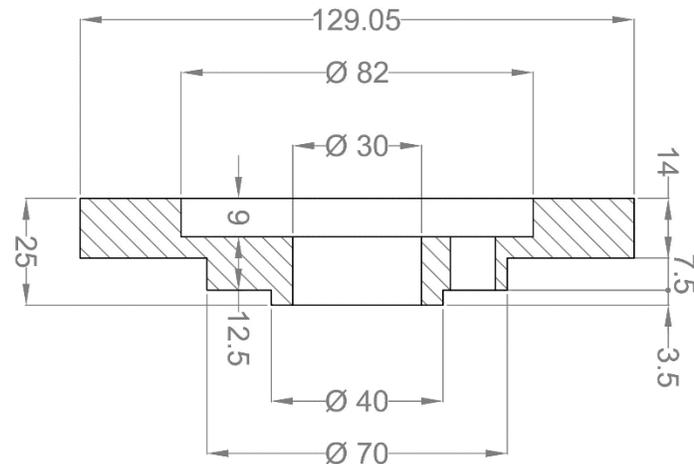
RIDUZIONE DIAMETRO SUPERFICIE DESTRA



TRE FORI



INGRANAGGIO FINITO



INVENTARIO – LAVORAZIONE MECCANICA



Durante le lavorazioni effettuate sul tornio viene utilizzata un'emulsione di olio refrigerante e acqua allo scopo di abbassare le temperature. La quantità di olio refrigerante presente nell'emulsione è il 3-5%, mentre la quantità di acqua è del 96%.

Durante le lavorazioni effettuate nella dentatrice, invece, viene utilizzato solo olio refrigerante.

$$\text{consumo}_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{Ingrtornan} = \frac{133,32 \text{ kg}}{14938} = 8,92 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\text{consumo}_{olioemuls} = \frac{m_{olioemuls}}{Ingrtornan} = \frac{5,56 \text{ kg}}{14938} = 3,72 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

$$\text{consumo}_{oliodent} = \frac{m_{oliodent}}{Ingrdentan} = \frac{36 \text{ kg}}{22481} = 1,60 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

INVENTARIO – LAVORAZIONE MECCANICA



Durante le lavorazioni effettuate sul tornio viene utilizzata un'emulsione di olio refrigerante e acqua allo scopo di abbassare le temperature. La quantità di olio refrigerante presente nell'emulsione è il 3-5%, mentre la quantità di acqua è del 96%.

Durante le lavorazioni effettuate nella dentatrice, invece, viene utilizzato solo olio refrigerante.

$$Ingrtornan = \frac{Ingrtottorn}{round(n_{ingrconttorn})} = \frac{59752}{4} = 14938$$

$$Ingrdentan = \frac{Ingrtotdent}{int(n_{ingrcontdent})} = \frac{67443}{3} = 22481$$

INVENTARIO – TRATTAMENTI TERMICI



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

- ▶ RICOTTURA ISOTERMICA
- ▶ CEMENTAZIONE
- ▶ TEMPRA DIRETTA
- ▶ RINVENIMENTO

INVENTARIO – TRATTAMENTI TERMICI



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

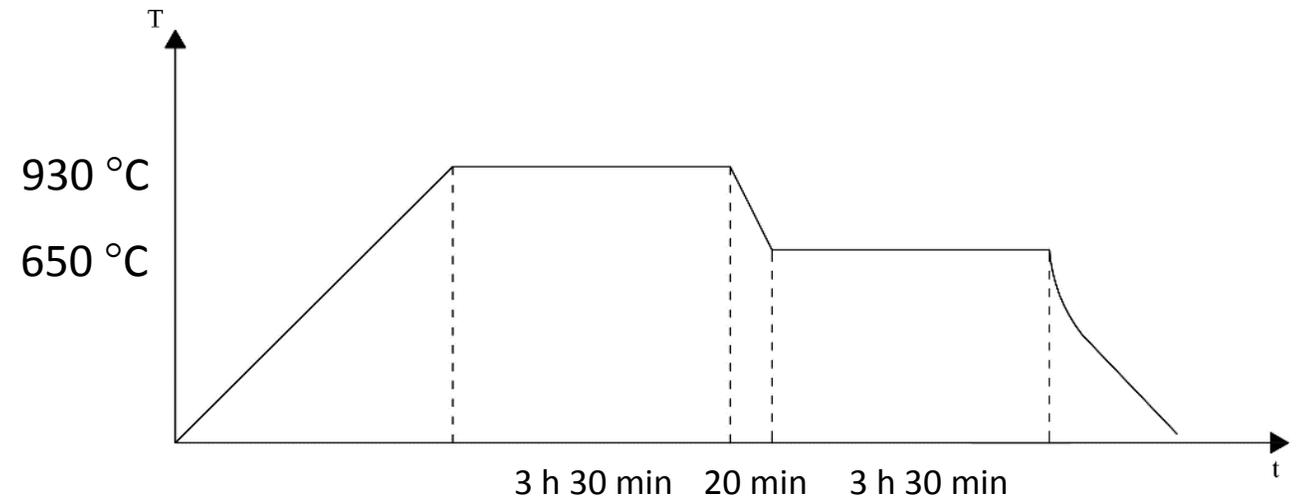
▶ RICOTTURA ISOTERMICA

▶ CEMENTAZIONE

▶ TEMPRA DIRETTA

▶ RINVENIMENTO

Scopo → addolcire l'acciaio al fine di facilitare le lavorazioni meccaniche



Riscaldamento alla temperatura austenitica di 930 °C per 3,5 ore, abbattimento a 650 °C in 20 minuti, temperatura a cui corrisponde la struttura perlitica e viene mantenuto in isoterma per 3,5 ore

INVENTARIO – TRATTAMENTI TERMICI



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

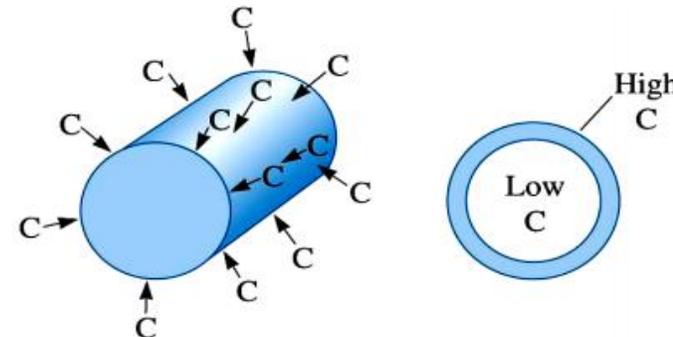
▶ RICOTTURA ISOTERMICA

▶ CEMENTAZIONE

▶ TEMPRA DIRETTA

▶ RINVENIMENTO

Scopo → l'acciaio disponga di uno strato superficiale durissimo, resistente all'usura e alla fatica, con un cuore tenace e resistente agli urti



Il forno si trova alla temperatura austenitica di 905°C per 2,5 ore e si ottiene una penetrazione di carbonio pari a 3-4 decimi di millimetro

INVENTARIO – TRATTAMENTI TERMICI



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

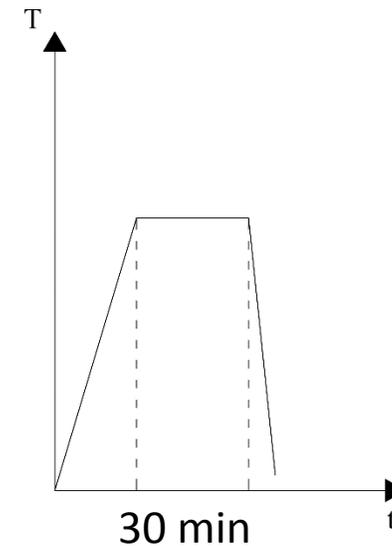
Scopo → elevato aumento della durezza

▶ RICOTTURA ISOTERMICA

▶ CEMENTAZIONE

▶ TEMPRA DIRETTA

▶ RINVENIMENTO



Riscaldamento alla temperatura austenitica di 825°C per 30 minuti, immersione nell'olio per 45 minuti in modo da ottenere la struttura martensitica

INVENTARIO – TRATTAMENTI TERMICI



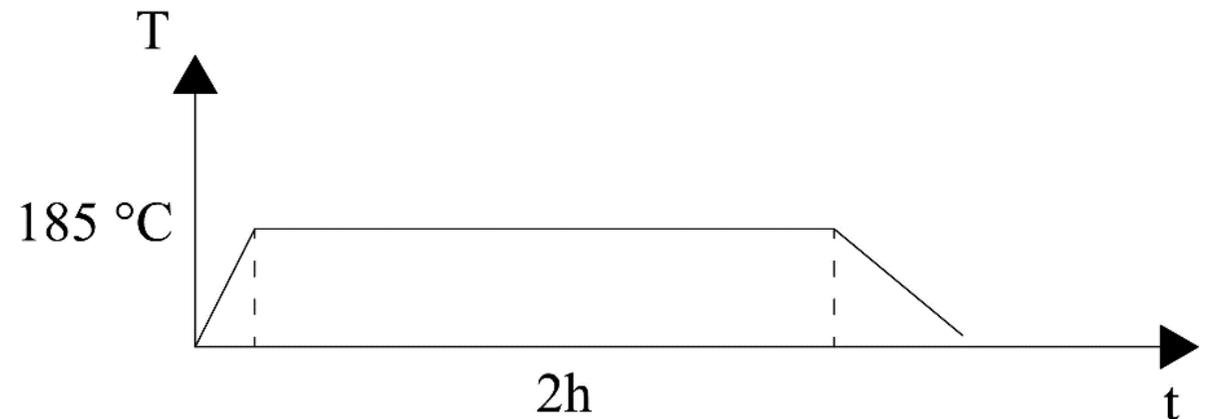
UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

▶ RICOTTURA ISOTERMICA

Scopo → rimuovere o diminuire le tensioni causate dalla tempra

▶ CEMENTAZIONE

▶ TEMPRA DIRETTA



▶ RINVENIMENTO

Riscaldamento a 180-190 °C, inferiore ad A_{C1} per 2 ore, segue un raffreddamento fino a temperatura ambiente

INVENTARIO – USO E FINE VITA



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

L'**uso** comprende l'energia elettrica che l'ingranaggio consuma durante il suo ciclo di vita.

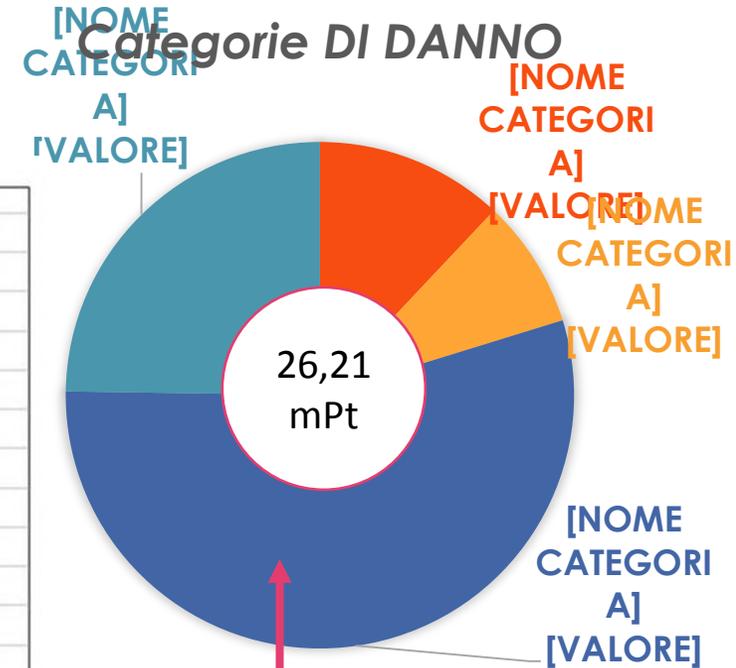
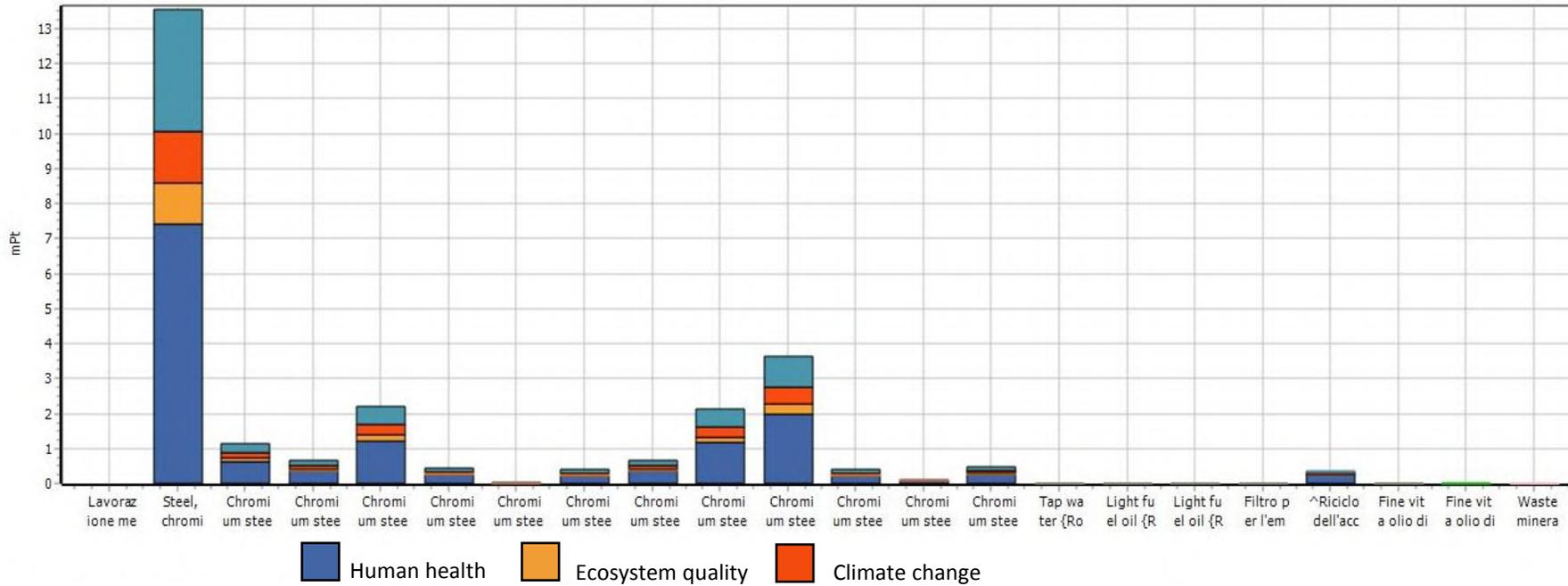


Il **fine vita** comprende il riciclo dell'acciaio che avrà un peso inferiore rispetto al peso dell'ingranaggio dopo il termine delle lavorazioni, in quanto si suppone che venga persa una piccola frazione dovuta all'usura.

ANALISI – LAVORAZIONI MECCANICHE



Diagramma della valutazione per single score e per damage category



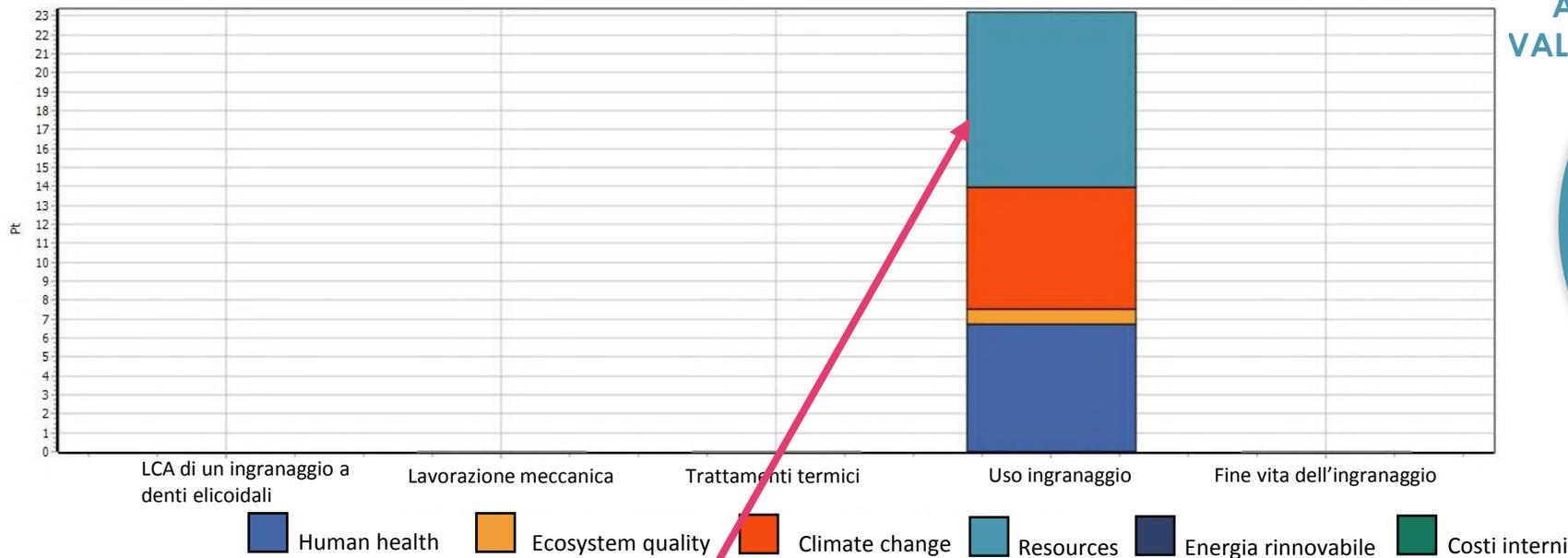
Il processo che produce il danno massimo è la produzione dell'acciaio

Dovuto soprattutto a *Particulates*, < 2,5m in aria

ANALISI – LCA DELL'INGRANAGGIO



Diagramma della valutazione per single score e per damage category



[NOME CATEGORIA]
[VALORE]

[NOME CATEGORIA]
[VALORE]

[NOME CATEGORIA]
[VALORE]

[NOME CATEGORIA]
[VALORE]

23,21
Pt

Il processo che produce il danno massimo è quello dell'uso a causa dell'energia che l'ingranaggio è in grado di trasmettere durante la sua vita

Dovuto soprattutto a Gas, natural/m³ in risorse

CORRELAZIONE TRA CARATTERISTICHE MECCANICHE E DANNO AMBIENTALE



Materiale	Tensione di rottura σ_R [N/mm ²]	Tensione di snervamento σ_y [N/mm ²]
Acciaio da bonifica (C40)	700-850	520-610

$$\sigma_{amm} = \frac{2}{3} \sigma_{sn} = 406,67 \frac{N}{mm^2}$$

Si mantenga invariata la forza trasversale all'asse ($F_t = 11451,78$ N), l'altezza ($h = 4,4$ mm) e la larghezza del dente ($t = 5,157$ mm) e si calcoli la lunghezza del dente ($b =$ incognita):

$$b = 6 \cdot \frac{h}{t^2} \cdot \frac{F_t}{\sigma} = 6 \cdot \frac{4,4 \text{ mm}}{5,157^2 \text{ mm}^2} \cdot \frac{11451,78 \text{ N}}{406,67 \frac{N}{mm^2}} = 27,95 \text{ mm}$$

$$b = 15,21 \text{ mm} \rightarrow 27,95 \text{ mm}$$
$$\sigma_{amm} = 812 \frac{N}{mm^2} \rightarrow 406,67 \frac{N}{mm^2}$$

FOGLIO DI CALCOLO



E' stato definito per le quattro categorie di danno, per le energie rinnovabili e per la valutazione. Sono stati riportati:

- ▶ i dati di input relativi alle **altezze dell'ingranaggio**
- ▶ i dati di input relativi ai **danni ambientali dei singoli sottoprocessi**
- ▶ i dati di input relativi al **danno ambientale totale dei singoli processi**
- ▶ **la variabile primaria** (lunghezza del dente)
- ▶ **le variabili secondarie**

i dati di input, le variabili e i valori di input del danno ambientale vengono uniti in una formula in modo da ottenere il **valore totale del danno totale variato**, che è la seguente:

$$Danno_{variato} = \frac{Danno_{input}}{Valore_{input}} \cdot Valore_{variato}$$

Nonostante lo spessore vari da **15,209 mm** a **27,95 mm** (1,8377 volte), il suo danno aumenta da **23,2335 mPt** a **23,2545 mPt**, questo è dovuto al fatto che il processo dell'uso dell'ingranaggio ha un peso del **99,80%** rispetto agli altri processi.

FOGLIO DI CALCOLO



Lavorazioni meccaniche

Danni in Resources [MJ Primary]			Prima	986,1709824	Dopo	1736,08719					
	Ing iniziale	Incavo sx	Foro1	Finitura foro1	Rid diametro	Incavo2	Incavo3	Rid diametro	3 fori	Dentatura	Riciclo
	530,89916	79,519286	16,885866	1,1078351	14,451184	76,459589	131,31996	14,451184	4,6575992	16,605371	8,9510932
	Costanti										
		Taglio con fresa	Spianatura sx	Spianatura dx	Acqua raff	Olio emuls	Olio lubrific	Filtro	ne vita emu	Fine vita olic	Olio perso
		42,837444	23,94803	23,94803	5,95478E-05	0,021168	0,091150578	0,006760901	0,00547903	0,00467188	6,0949E-05
Danni in Energia rinnovabile [MJ]			Prima	78,81045565	Dopo	138,625966					
	Ing iniziale	Incavo sx	Foro1	Finitura foro1	Rid diametro	Incavo2	Incavo3	Rid diametro	3 fori	Dentatura	Riciclo
	41,393546	6,5368076	1,364729	0,091774611	1,1879459	6,285288	10,795033	1,1879459	0,37325356	1,3650288	0,83104301
	Costanti										
		Taglio con fresa	Spianatura sx	Spianatura dx	Acqua raff	Olio emuls	Olio lubrific	Filtro	ne vita emu	Fine vita olic	Olio perso
		3,4588266	1,9686251	1,9686251	5,34584E-06	5,1617E-05	0,000222265	0,000534797	0,00062984	0,00053706	2,5481E-06
Danni Totali in Pt (Weighting) per damage category			Prima	26,20590986	Dopo	46,085625					
	Ing iniziale	Incavo sx	Foro1	Finitura foro1	Rid diametro	Incavo2	Incavo3	Rid diametro	3 fori	Dentatura	Riciclo
	13,548538	2,2005221	0,45215126	0,028748753	0,39990487	2,1158517	3,6339923	0,39990487	0,12319311	0,45951728	0,37162137

FOGLIO DI CALCOLO



Trattamenti termici

Danni in Ecosystem quality [PDF*m2*yr]		Prima		0,027417542	Dopo		5,04E-02									
	Tratt termici	Ric iso	Ric iso risc	Ric iso mant	Ric iso 1 grad	Ric iso 2 grad	Ric iso mant	CH4	Cem	Cem risc	Cem mant	Tempra	Tempra risc	Tempra 1 grad	Tempra 2 grad	
		1,0446E-07	0,00379107	2,0773E-05	0,006665373	0,001622792	0,000219196	0,004603158	5,76295E-06	0,00128208	7,0251E-06	0,00462946	0,00116553	6,38646E-06	0,000147304	0,00014029
	Tempra man	Tempra olio	Raff olio	Mant olio	Rinv	Rinv risc	Rinv mant									
		0,00086802	0,00126258	3,3418E-05	3,94556E-05	0,000233106	1,27729E-06	0,000673376								
Danni in Climate change [kg CO2 eq]		Prima		0,786218461	Dopo		1,44476042									
	Tratt termici	Ric iso	Ric iso risc	Ric iso mant	Ric iso 1 grad	Ric iso 2 grad	Ric iso mant	CH4	Cem	Cem risc	Cem mant	Tempra	Tempra risc	Tempra 1 grad	Tempra 2 grad	
		4,3197E-08	0,10885574	0,00059647	0,19138793	0,046596475	0,006293936	0,13217398	3,50573E-05	0,03681341	0,00020172	0,13292926	0,03346674	0,000183379	0,004229652	0,00402824
	Tempra man	Tempra olio	Raff olio	Mant olio	Rinv	Rinv risc	Rinv mant									
		0,02492424	0,03625344	5,0657E-05	0,00113292	0,006693347	3,66759E-05	0,019335165								
Danni in Resources [MJ Primary]		Prima		14,51335743	Dopo		26,66984484									
	Tratt termici	Ric iso	Ric iso risc	Ric iso mant	Ric iso 1 grad	Ric iso 2 grad	Ric iso mant	CH4	Cem	Cem risc	Cem mant	Tempra	Tempra risc	Tempra 1 grad	Tempra 2 grad	
		0	2,0075138	0,01100008	3,5295693	0,85933053	0,11607255	2,4375479	0,011866795	0,67891158	0,00372006	2,4514767	0,61719235	0,003381876	0,078003092	0,074288659
	Tempra man	Tempra olio	Raff olio	Mant olio	Rinv	Rinv risc	Rinv mant									
		0,45965189	0,66858456	0,00365916	0,020893268	0,12343847	0,000676375	0,35657843								

INDICATORI CHE VALORIZZANO LA FUNZIONE DELL'INGRANAGGIO



E' stata creata la categoria di impatto **Utilità della funzione** a cui fanno riferimento le seguenti sostanze:

- ▶ *Funzione bellica: 0,2*
- ▶ *Funzione sportiva: 0,4*
- ▶ *Funzione civile: 0,7*
- ▶ *Funzione industriale: 0,6*
- ▶ *Religiosa: 0,7*
- ▶ *Funzione culturale: 0,6*
- ▶ *Alimentare: 1*
- ▶ *Alloggio: 0,9*

E' stata creata la categoria di impatto **Utilità funz prod. industriali** a cui fanno riferimento le seguenti sostanze:

- ▶ *Filtri di depurazione: 1*
- ▶ *Impianti di aspirazione: 1*
- ▶ *Impianti di raffrescamento: 0,5*
- ▶ *Impianti di riscaldamento: 0,6*
- ▶ *Lavorazioni meccaniche: 0,9*
- ▶ *Macchine agricole: 0,8*
- ▶ *Produzione di componenti elettronici: 0,6*
- ▶ *Trasmissione del moto: 0,8*
- ▶ *Trattamenti termici: 0,6*

Dall'analisi dei risultati si ottiene che con l'introduzione degli indicatori funzionali il danno si riduce dello **0,47%**.

COSTI ESTERNI



Metodo	Human health [ELU] [€]	Ecosystem services [ELU]	Abiotic resource [ELU]	Biodiversity [ELU]	Climate change [€]	Access to water	Building technology	Totale [€]
			Resources [€]	Ecosystem quality [€]				
EPS 2015	13,202562	0,068014923	96,050268	0,0003172697	/	0,0031519459	0,00051145962	109,32482
IMPACT 2002+	2,9491058	/	8,6467138	0,13656043	0,25117829	/	/	11,98355832

I costi esterni con i metodi EPS 2015 e IMPACT 2002+ modificato

CONCLUSIONI



L'uso è il processo che produce il danno massimo a causa del consumo di energia

Cambiando la lunghezza del dente la variazione del danno dell'intero LCA è irrisoria. Analizzando il processo della lavorazione meccanica, dei trattamenti termici e del fine vita la variazione risulta essere apprezzabile

Prendendo in considerazione anche l'aspetto positivo e l'utilità dell'ingranaggio è possibile ridurre il danno

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



4° Seminario Tecnico LCA – Reggio Emilia, 11 Aprile 2018