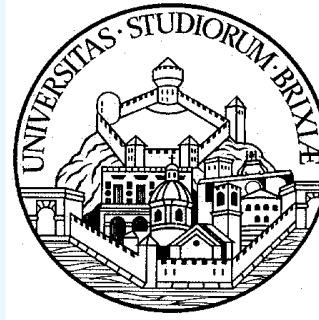


Università degli studi di Brescia



Pompa olio innovativa per impiego automobilistico

Coordinatore: Ch. mo prof. Giovanni Legnani

Tutor: Ch. mo prof. Rodolfo Faglia

Dottorando: Massimo Antonini



SIL Industrie Saleri Italo s.p.a



Indice

Indice

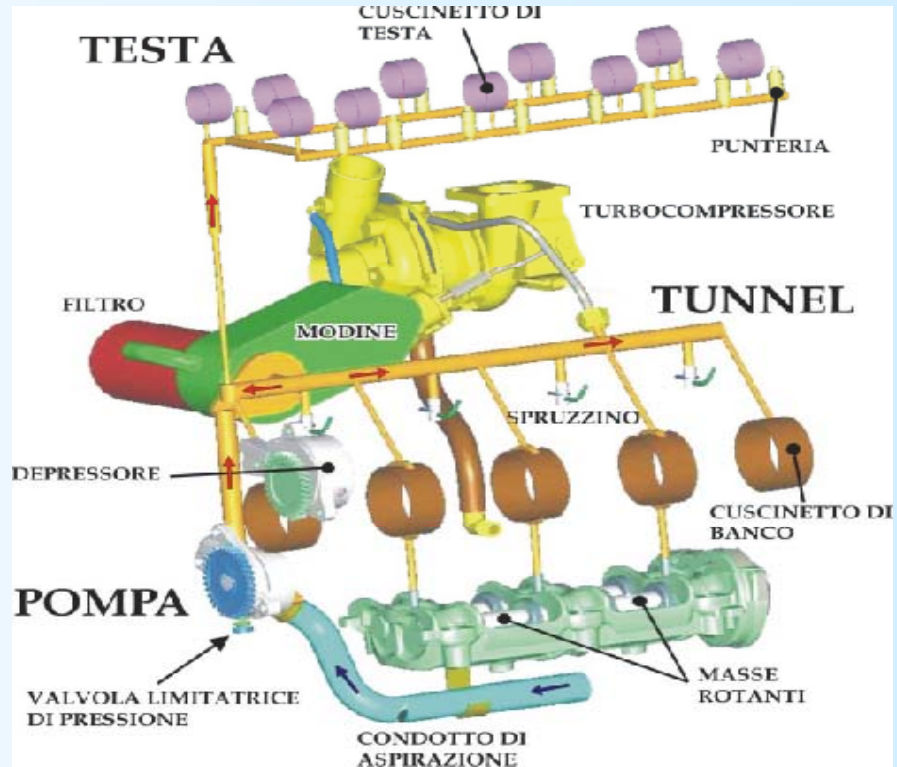
- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Circuito di lubrificazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni





Analisi sistema pistone-canna

Indice

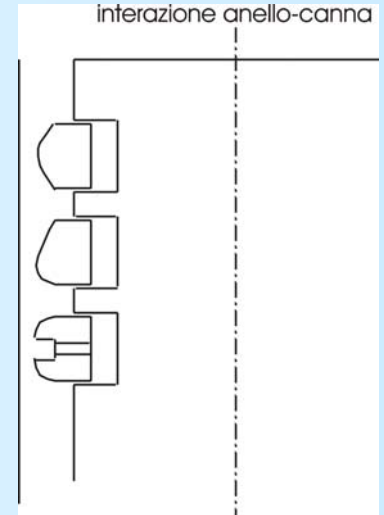
- Circuito di lubrificazione
- **Analisi sistema pistone-canna**
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial p}{\partial h} h^3 \right) = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} + 12\mu \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$h = h_{\min} + \delta_0 \left(\frac{x}{a} \right)^2$$

$$p = 6\mu U I_1(x) + 12\mu \frac{\partial h_{\min}}{\partial t} I_2(x) + C_1 I_3(x) + C_2$$

$$I_1(x) = \int_{x_0}^x \frac{dx'}{h(x')^2} \quad I_2(x) = \int_{x_0}^x \frac{x' dx'}{h(x')^3} \quad I_3(x) = \int_{x_0}^x \frac{dx'}{h(x')^3}$$

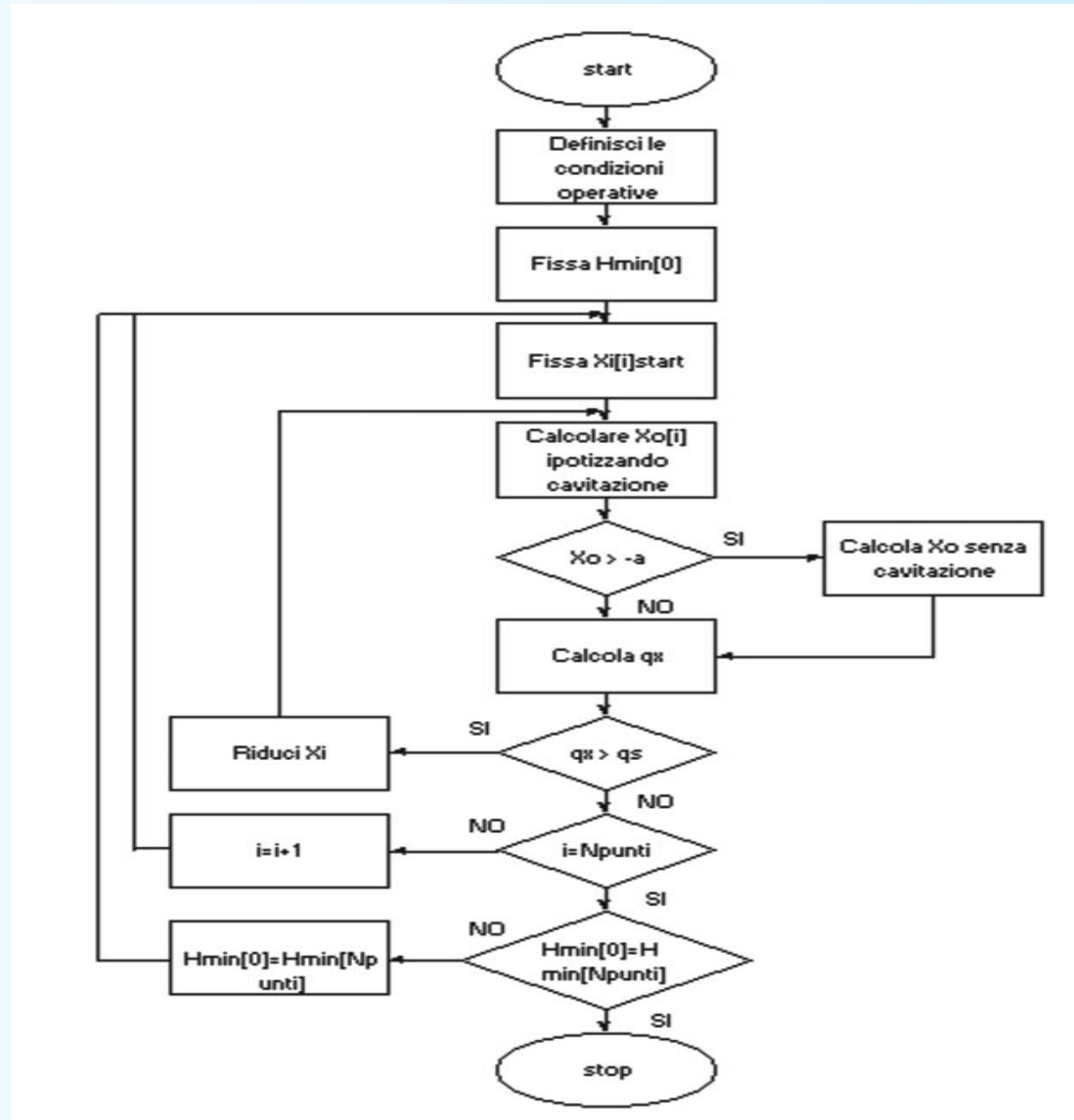




Analisi sistema pistone-canna

Indice

- Circuito di lubrificazione
- **Analisi sistema pistone-canna**
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

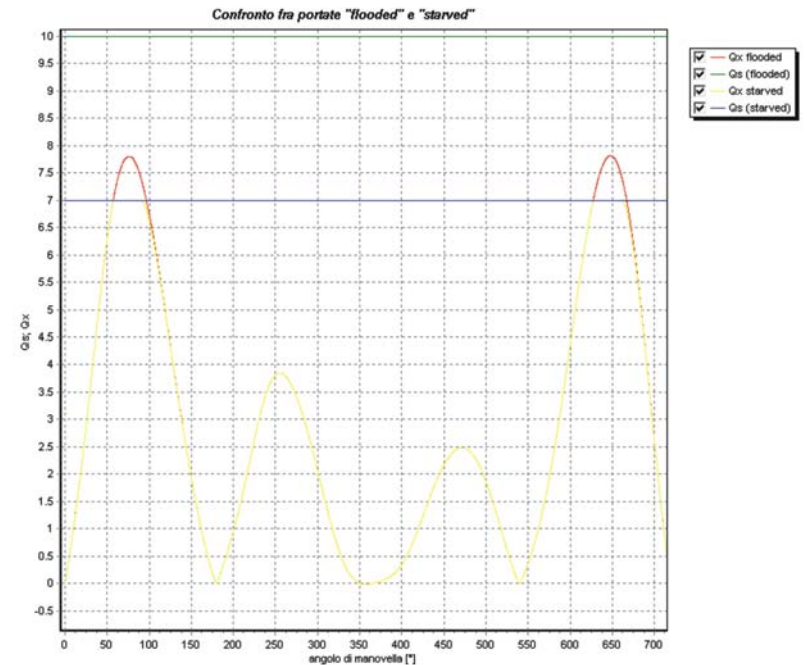
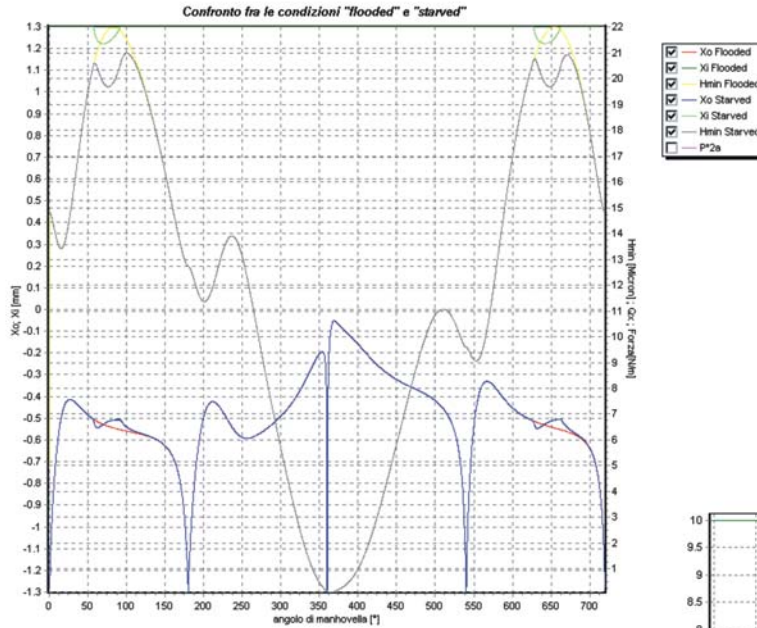




Analisi sistema pistone-canna

Indice

- Circuito di lubrificazione
- **Analisi sistema pistone-canna**
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

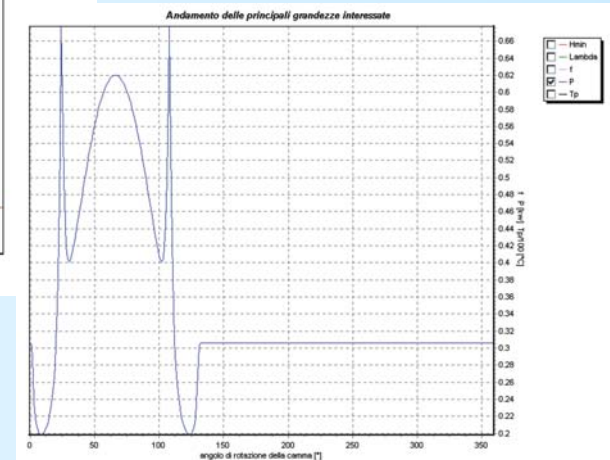
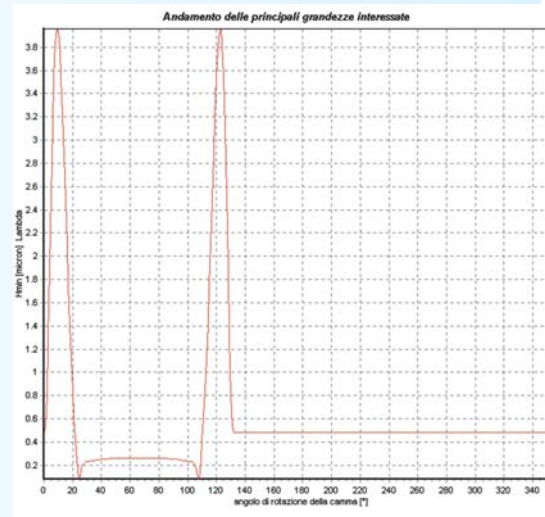
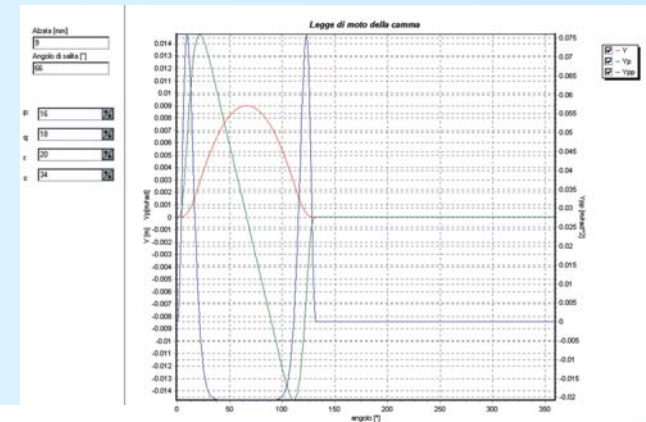
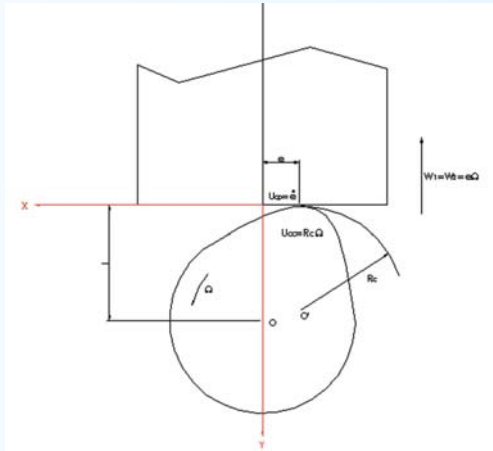




Analisi del sistema di distribuzione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- **Analisi del sistema di distribuzione**
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

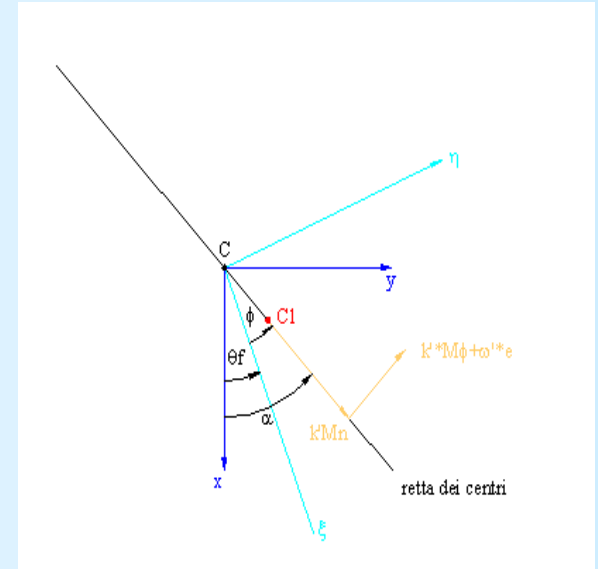
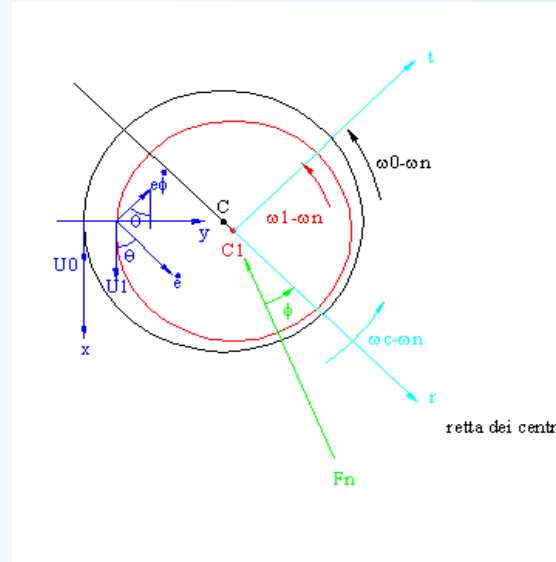




Analisi del cuscinetto

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- **Analisi del cuscinetto**
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Nel referenziale del carico:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left[(1 + n \cos \theta)^3 \frac{\partial p}{\partial \theta} \right] + R^2 \frac{\partial}{\partial z} \left[(1 + n \cos \theta)^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right] = 12 \mu \left(\frac{R}{g} \right)^2 \left(\dot{n} \cos \theta + n(\dot{\varphi} - \dot{\omega}) \sin \theta \right)$$

Con: $n = \frac{e}{g}$

Risolvendo l'equazione precedente si ottiene la distribuzione della pressione



Analisi del cuscinetto

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- **Analisi del cuscinetto**
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

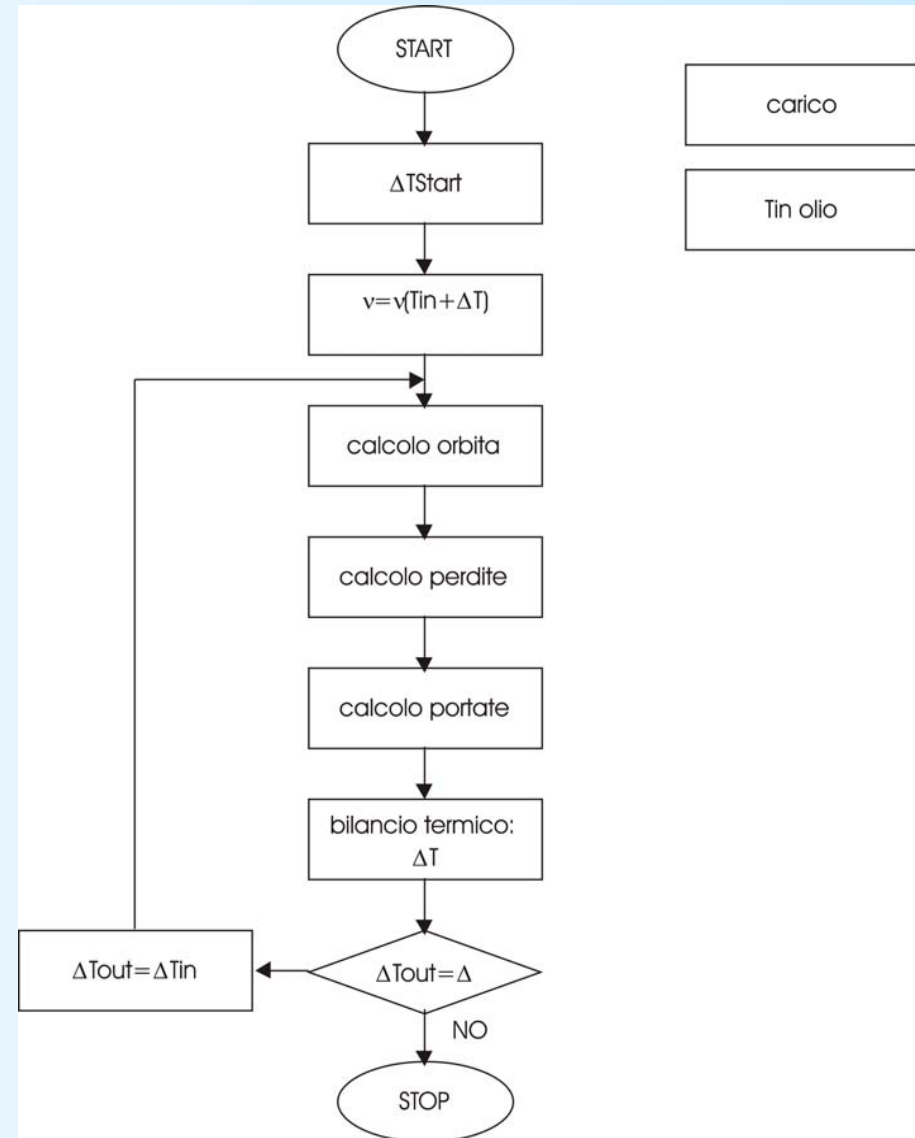
→ *Ocvirk*

→ *Sommerfeld*

Le equazioni del moto si ottengono dall'equilibrio del perno:

$$F_r = - \int_{\Omega} p \cos \theta dA$$

$$F_t = - \int_{\Omega} p \sin \theta dA$$

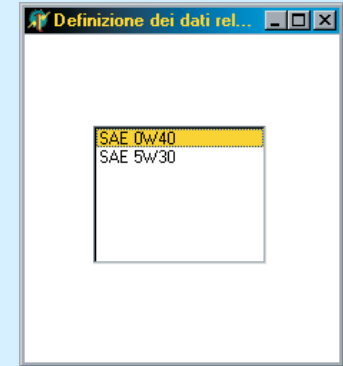
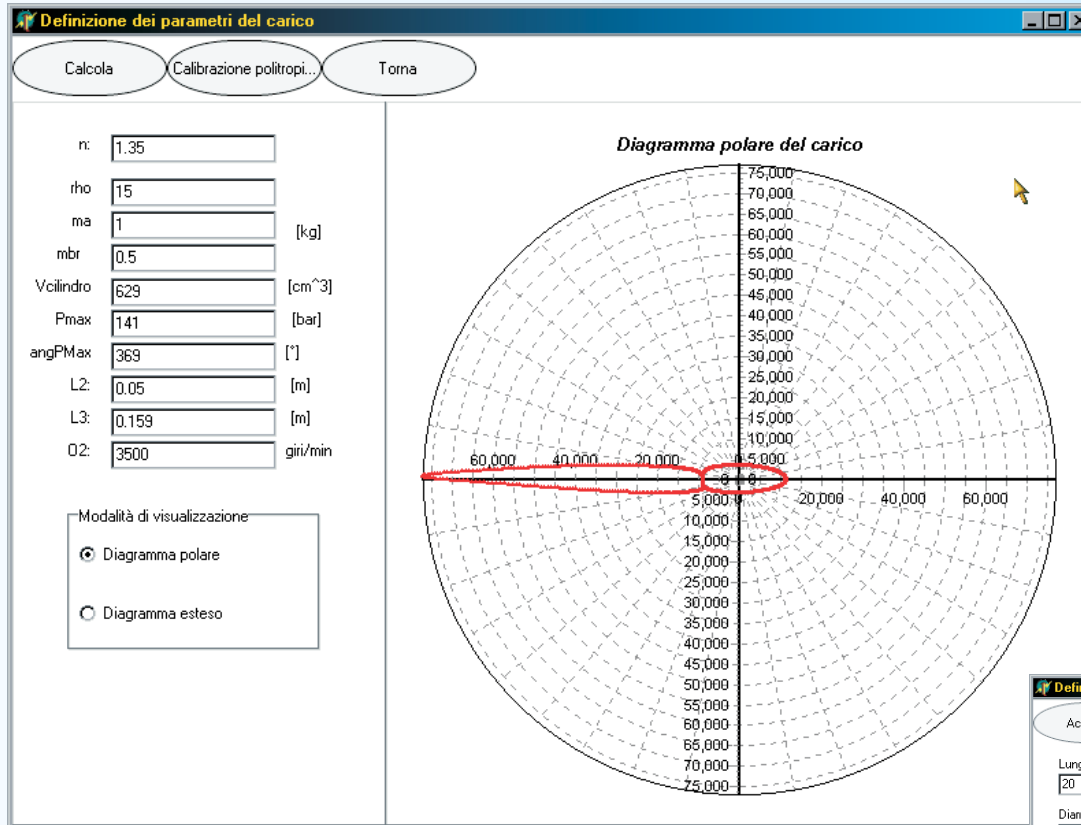




Analisi del cuscinetto

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- **Analisi del cuscinetto**
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Definizione dei parametri geometrici del cuscinetto

Acquisisci Torna

Lunghezza L [mm]: 20
Diámetro D [mm]: 53.9475
Gioco relativo (2G/D) GR: 0.00144585
Rugosità perno Ra [micron]: 0
Rugosità cuscinetto Rb [micron]: 0
cuscinetto Mobile Diámetro foro di adduzione dh [mm]: 6
Tipo scanalatura: foro Posizione angolare [°]: 20
Metodologia di valutazione della funzione mobilità: Ocivirk: su pi



Analisi del cuscinetto

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- **Analisi del cuscinetto**
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

Diag. dell'orbita ottenibile con il metodo di Capone

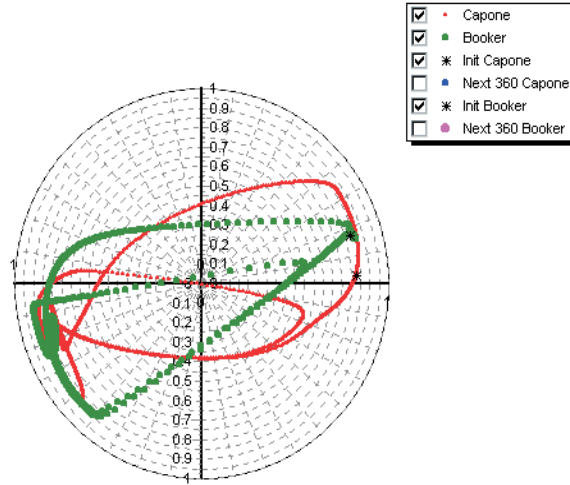


Diagramma polare del carico

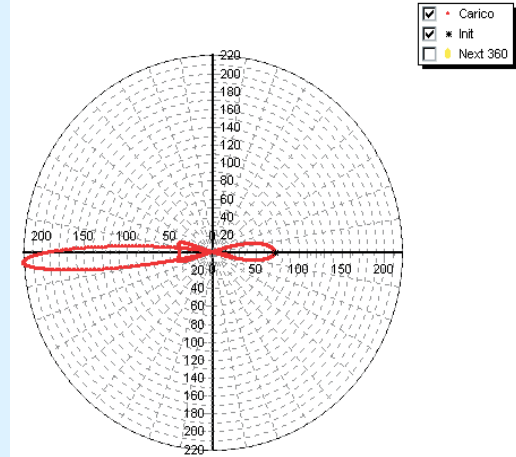


Diagramma esteso della traiettoria (modulo e fase)

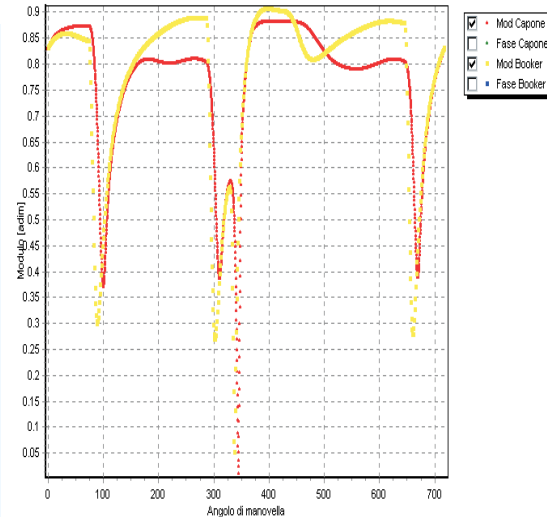
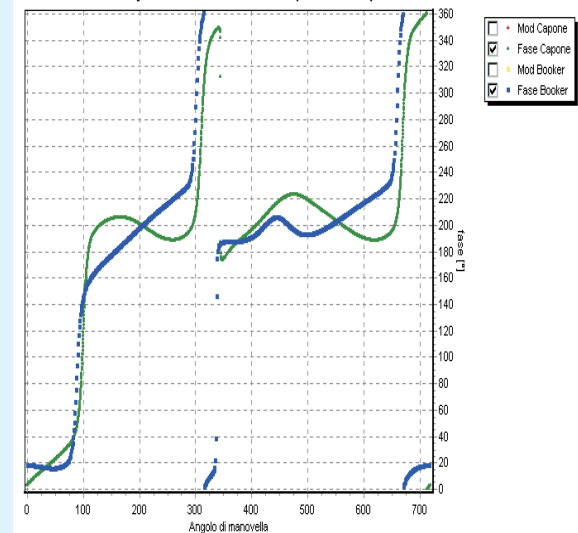


Diagramma esteso della traiettoria (modulo e fase)





Definizione delle esigenze di lubrificazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- **Definizione delle esigenze di lubrificazione**
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



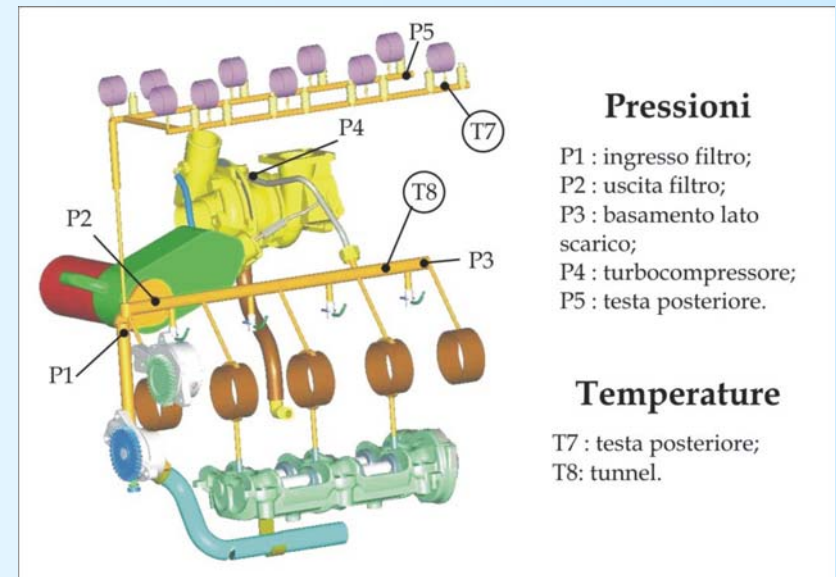
Grandezze misurate

- **pressioni olio**
- **temperature acqua e olio**
- **coppia erogata dal motore che trascina la pompa**
- **portata di olio**
- **coppia frenante, RPM motore, apertura acceleratore**

Prove sperimentali

Variabili controllate:

- **numero di giri motore (grado di apertura acceleratore)**
- **velocità della pompa**
- **coppia (attraverso il freno)**
- **set point T acqua del circuito di raffreddamento**

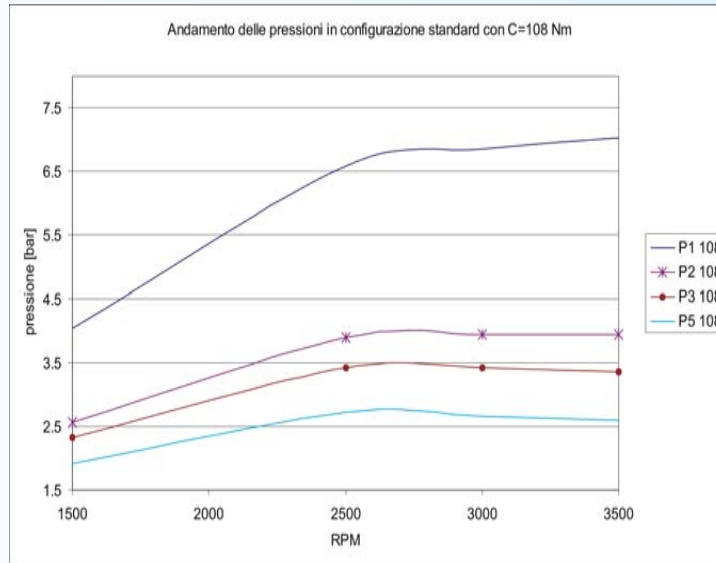




Definizione delle esigenze di lubrificazione

Indice

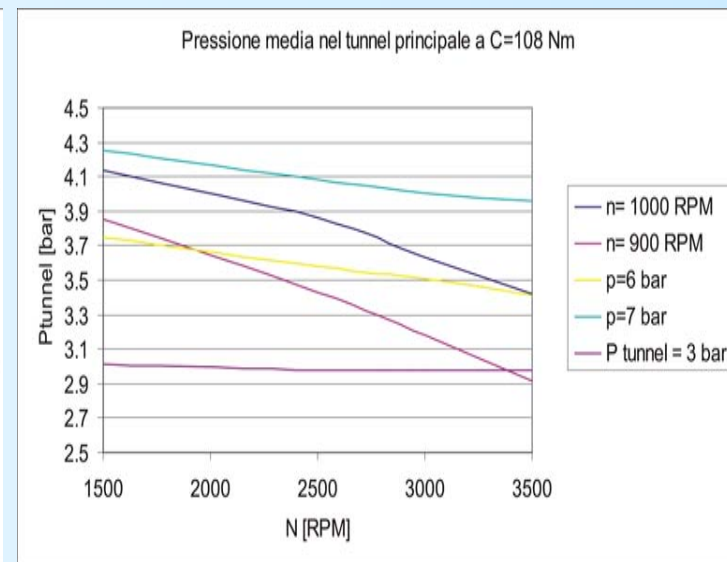
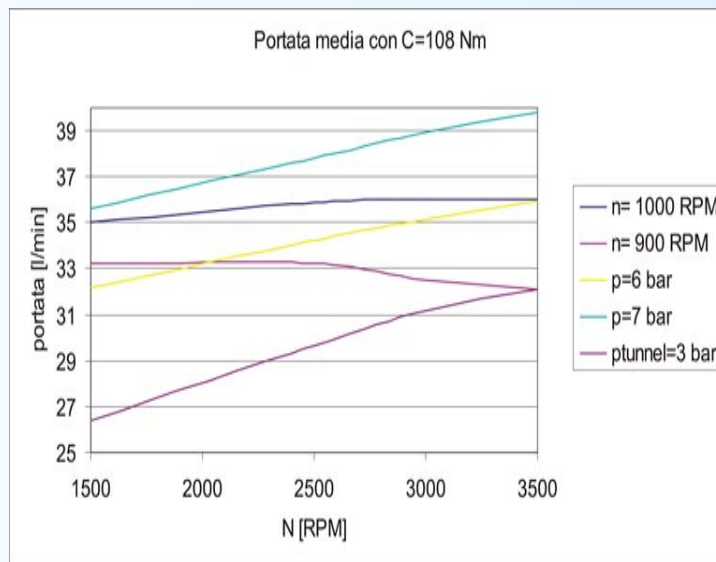
- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- **Definizione delle esigenze di lubrificazione**
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



← **Configurazione standard di partenza**

Definizione delle conf. alternative:

- **configurazione a RPM costante**
- **configurazione a pressione costante**

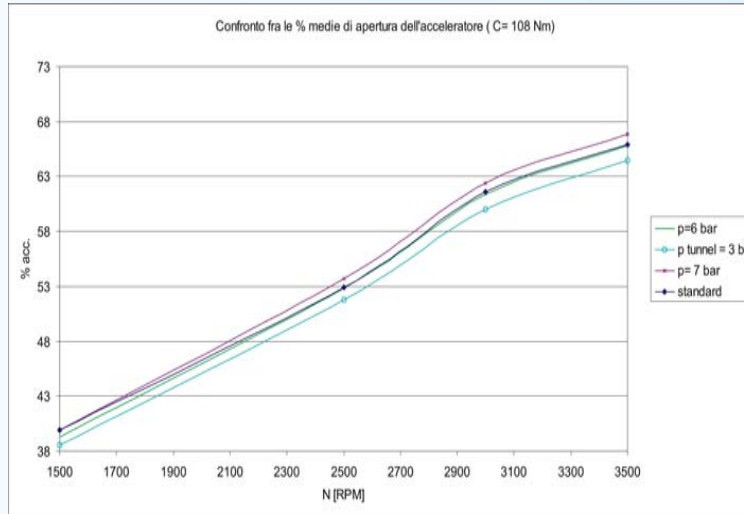




Definizione delle esigenze di lubrificazione

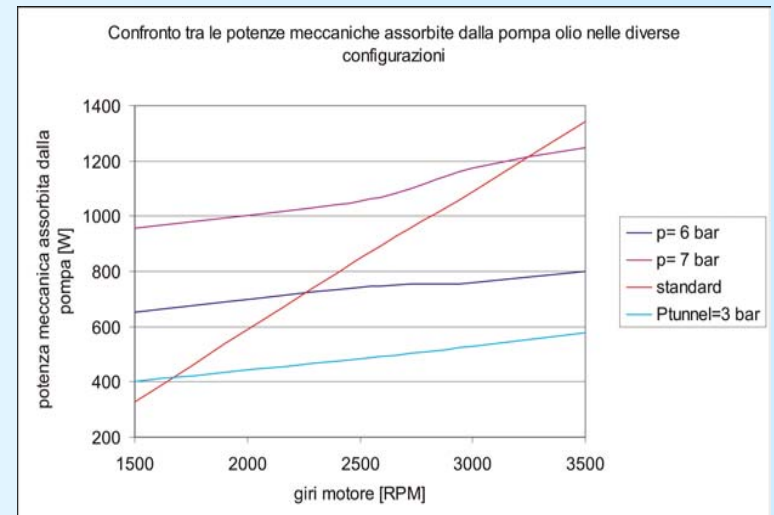
Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- **Definizione delle esigenze di lubrificazione**
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Grado di apertura dell'acceleratore

Potenze meccanica richiesta dalla P.O.





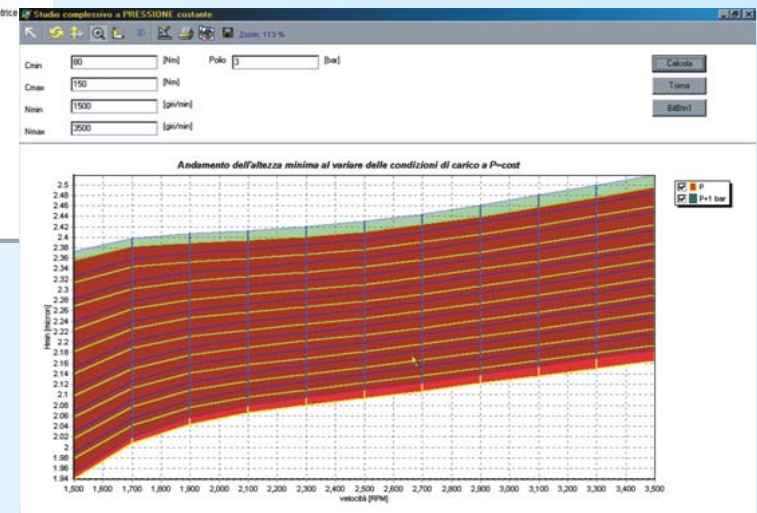
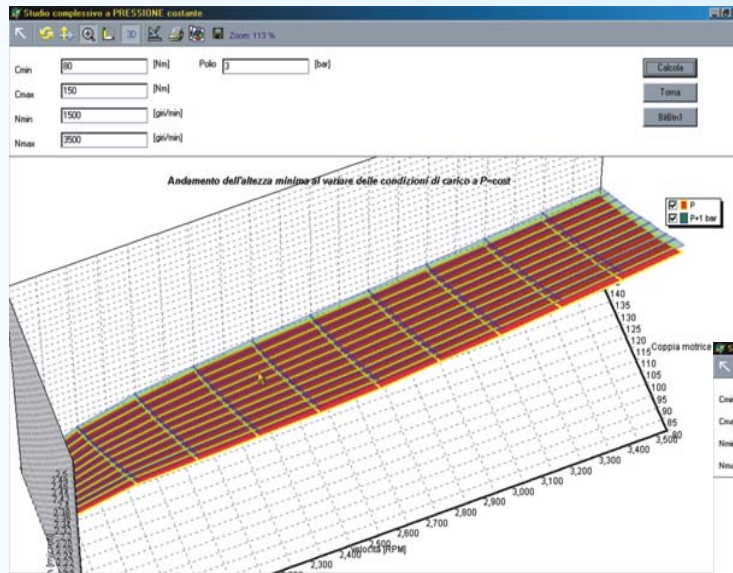
Definizione delle esigenze di lubrificazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- **Definizione delle esigenze di lubrificazione**
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

Integrazione dei risultati sperimentali con i modelli teorici
Cambiamento delle condizioni di funzionamento del cuscinetto al variare di

- *condizioni di carico*
- *pressione di alimentazione (feed pressure)*





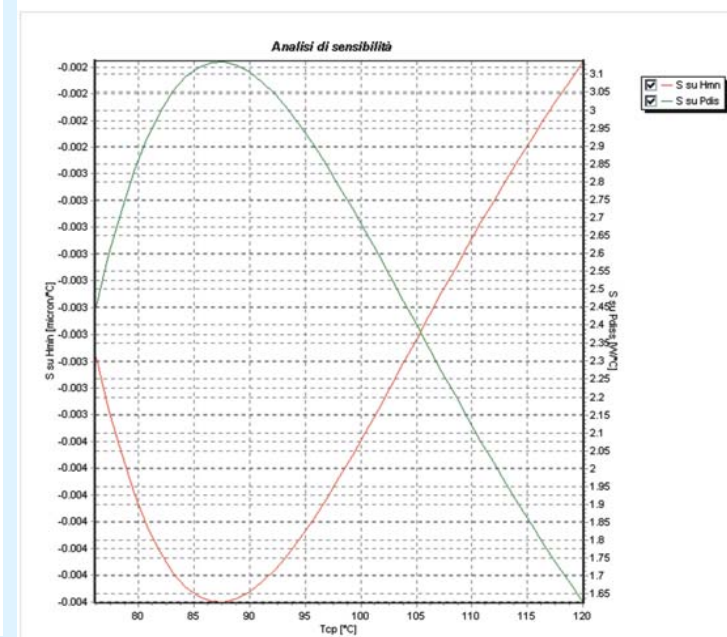
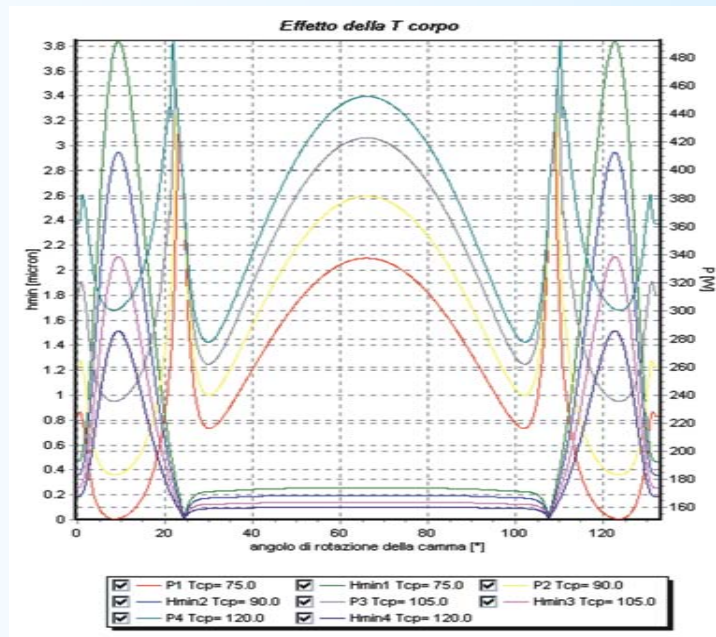
Definizione delle esigenze di lubrificazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

Sistema di distribuzione: Non agisce la pressione dell'olio; la temperatura del corpo altera lo spessore della pellicola di lubrificante.

Le temperatura dei corpi però **NON** vengono sensibilmente modificate dalla quantità di olio.





Definizione delle esigenze di lubrificazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- **Definizione delle esigenze di lubrificazione**
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

Con la configurazione a pressione costante si ha:

- *riduzione della potenza assorbita*
- *i cuscinetti funzionano sostanzialmente nelle stesse condizioni*
- *il sistema di distribuzione non risente della portata di olio*
- *il sistema canna-pistone rimane non del tutto definito. Da evidenze macroscopiche non si manifestano alterazioni di funzionamento*

POMPA INNOVATIVA: PRESSIONE COSTANTE



Pompe di lubrificazione di motori a CI

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- **Pompe di lubrificazione di motori a CI**
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

La pompa dell'olio deve essere una macchina
☞ volumetrica

☞ rotativa

perché deve

☞ vincere elevati Δp e erogare portate contenute

☞ lubrificare, quella dell'acqua (dinamica) raffreddare!

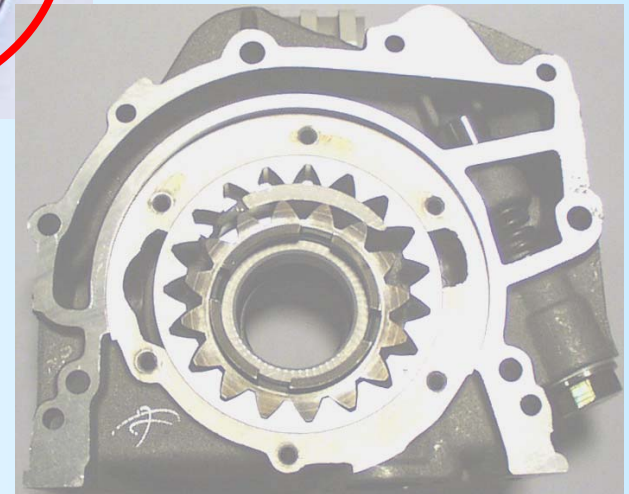
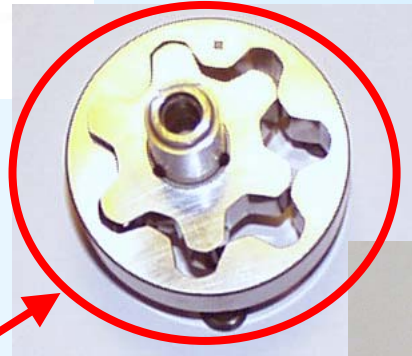
☞ ingombrare poco



Pompe di lubrificazione di motori a CI

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- **Pompe di lubrificazione di motori a CI**
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

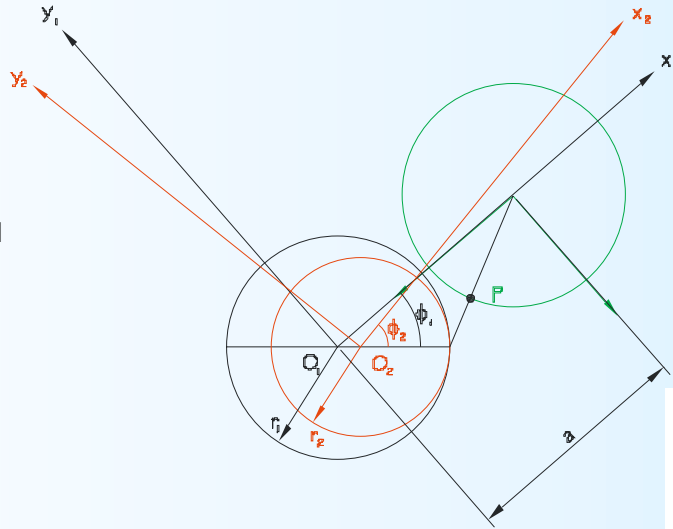




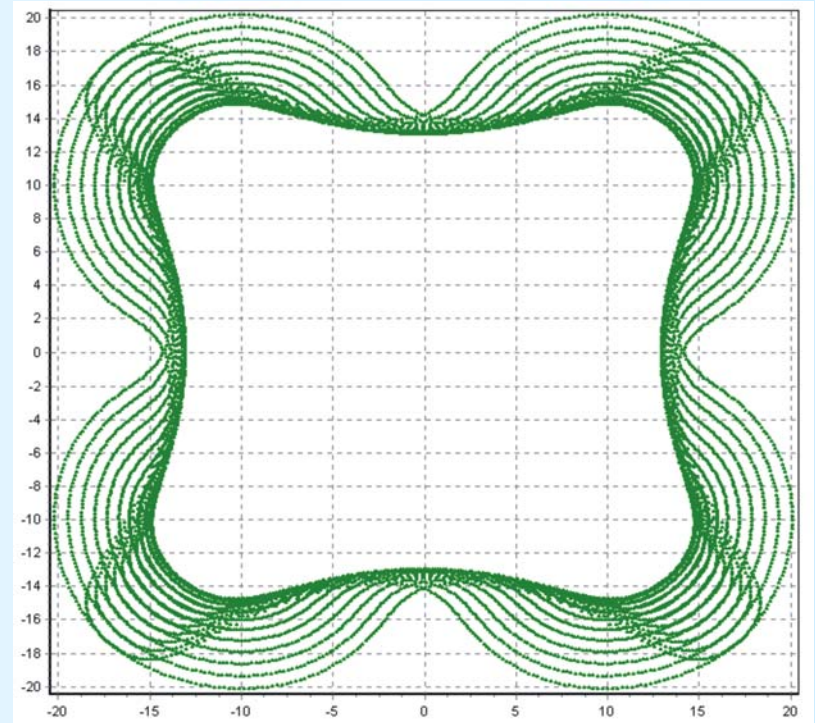
Studio dei rotori

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- **Studio dei rotori**
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Profilo interno: INVILUPPO della famiglia di CIRCONFERENZE viste in S2

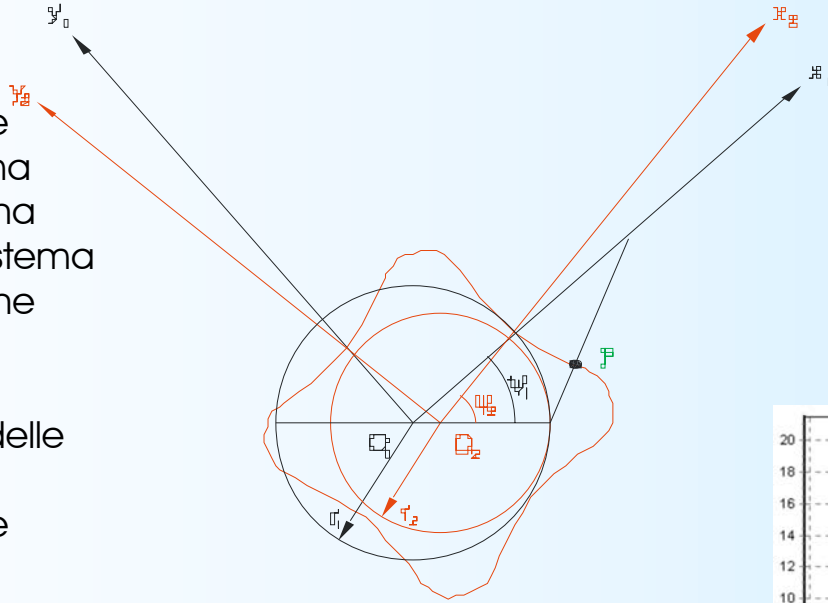




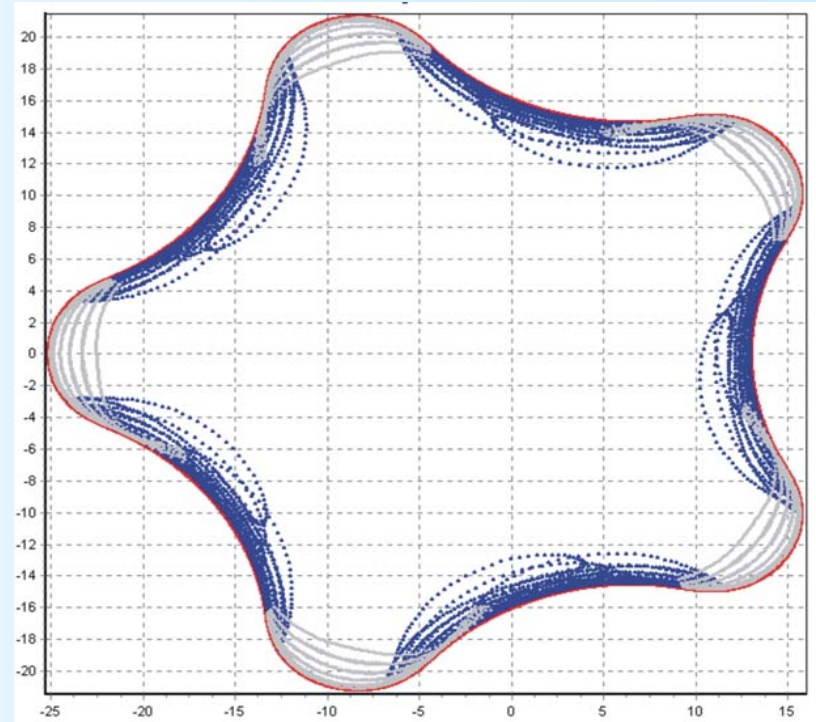
Studio dei rotori

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- **Studio dei rotori**
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



**Profilo esterno: INVILUPPO
della famiglia di
PROFILI INTERNI
visti in S1**

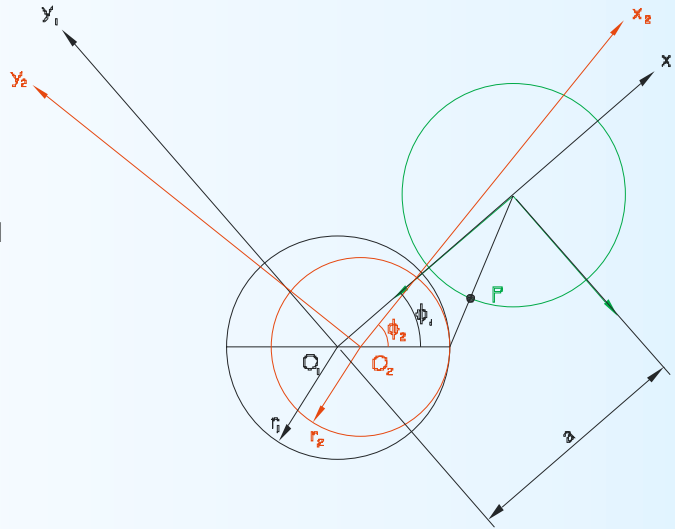




Studio dei rotori

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- **Studio dei rotori**
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



$$\vec{r}_1 = \begin{bmatrix} a - \rho \cos(\vartheta) \\ -\rho \sin(\vartheta) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r}_2 = M_{21}(\Phi) \vec{r}_1$$

$\Phi =$ *parametro generalizzato del moto*

*E' necessario individuare la curva involuppo:
bisogna individuare il legame tra Φ e θ*

Diversi approcci

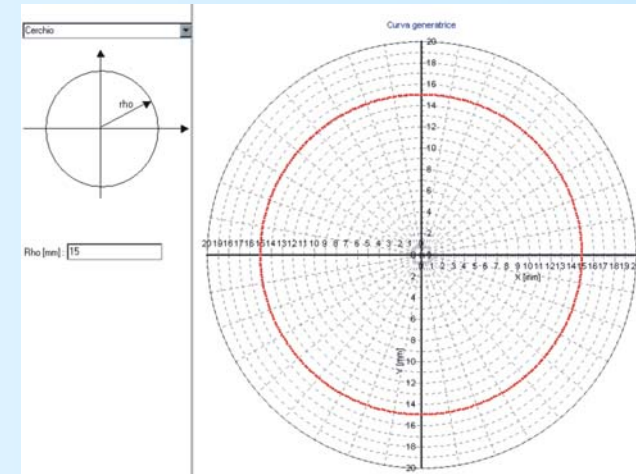
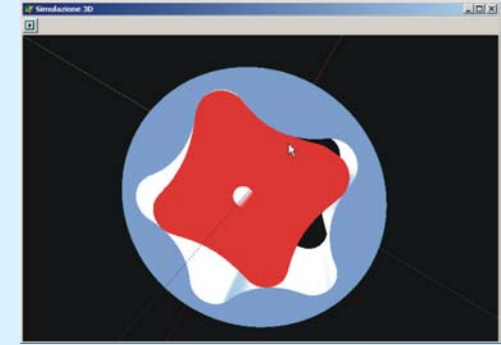
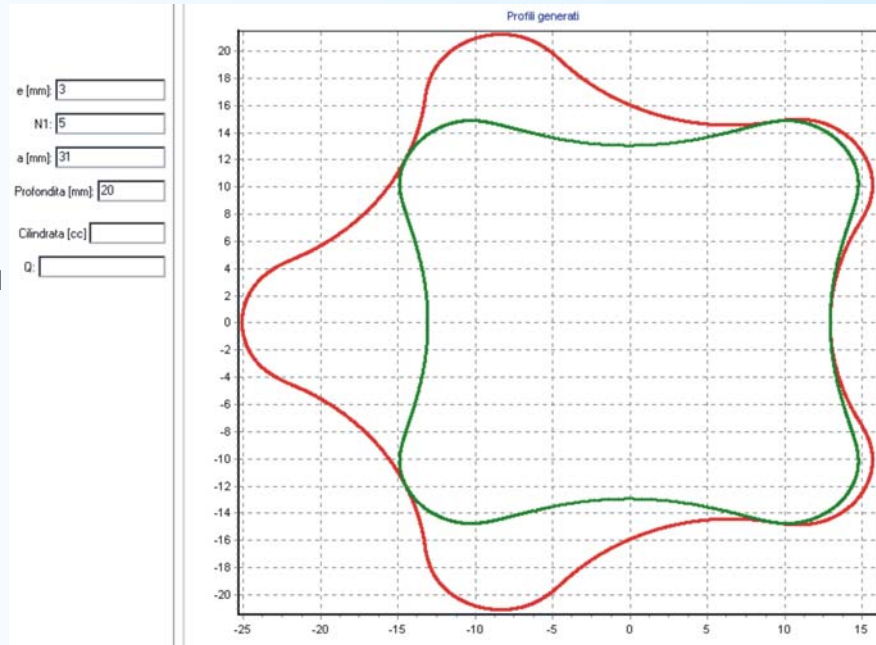
Teoria degli ingranaggi: $\vec{n} \cdot \vec{v}^{(12)} = 0$



Studio dei rotori

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni





Studio dei rotori

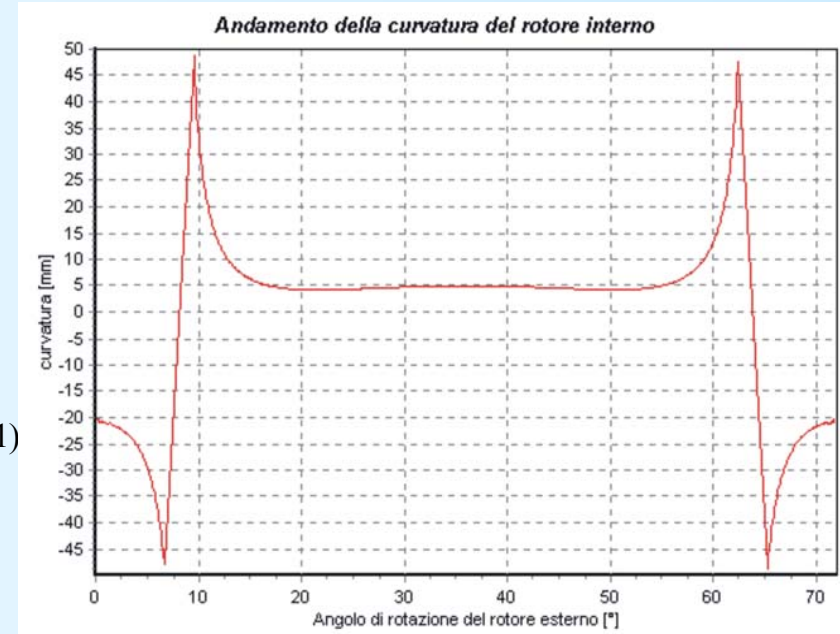
Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- **Studio dei rotori**
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

$$k_2 \vec{v}_r^{(2)} = - \frac{d \vec{n}_r^{(2)}}{dt}$$

$$\frac{d \vec{n}_r^{(2)}}{dt} = \frac{d \vec{n}_r^{(1)}}{dt} + \overset{\rightarrow}{\omega}_1^{(12)} \times \vec{n}^{(1)}$$

$$\vec{v}_r^{(2)} = \begin{bmatrix} Df_x(\mathcal{G}) \\ Df_y(\mathcal{G}) \end{bmatrix} \frac{d\mathcal{G}}{dt} + \omega_1(\tau - 1) \begin{bmatrix} f_y(\mathcal{G}) + R_1 \sin(\varphi_1) \\ -f_x(\mathcal{G}) + R_1 \cos(\varphi_1) \end{bmatrix}$$

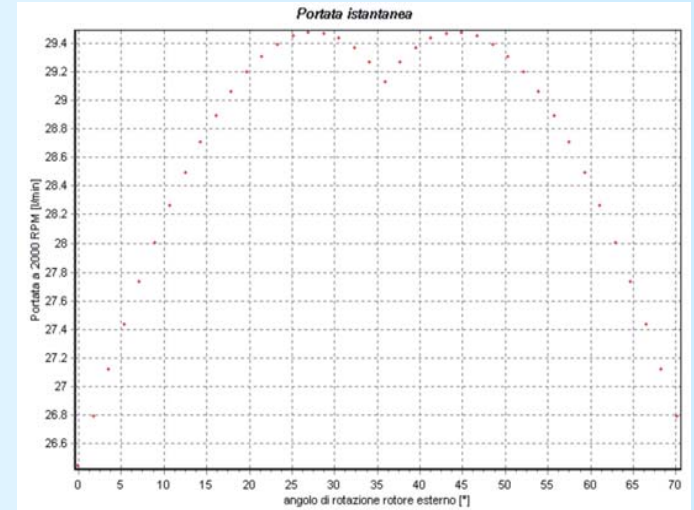
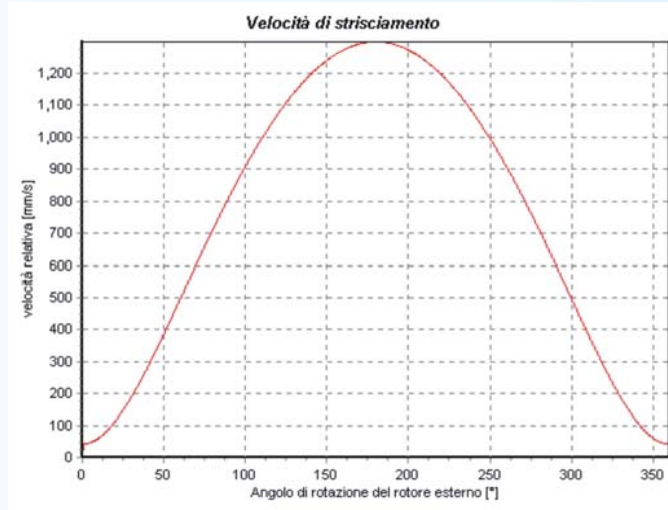




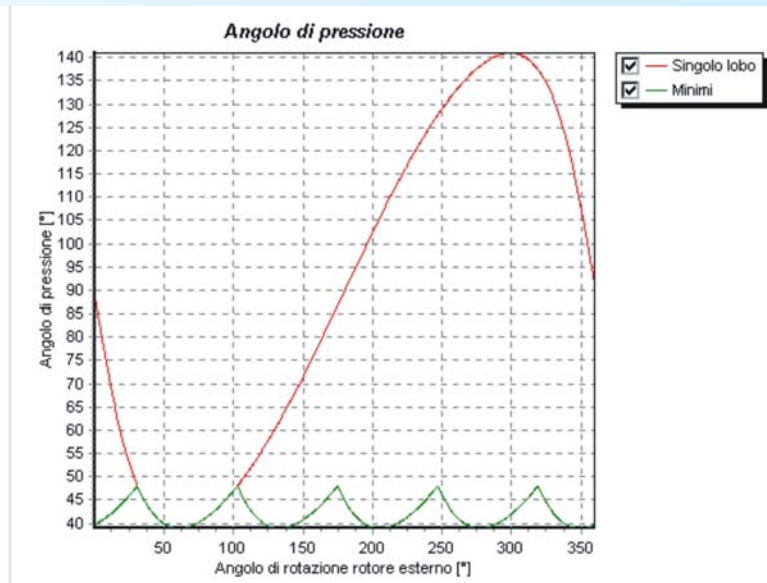
Studio dei rotori

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Portata media a 2000 RPM [l/min]	28,627
Irregolarità % su Q	0,106
Minima curvatura [mm]	4,167
Massimo Angolo di pressione [°]	48,042
Massima velocità di strisciamento	1298,525
Cilindrata [cc]	14,314

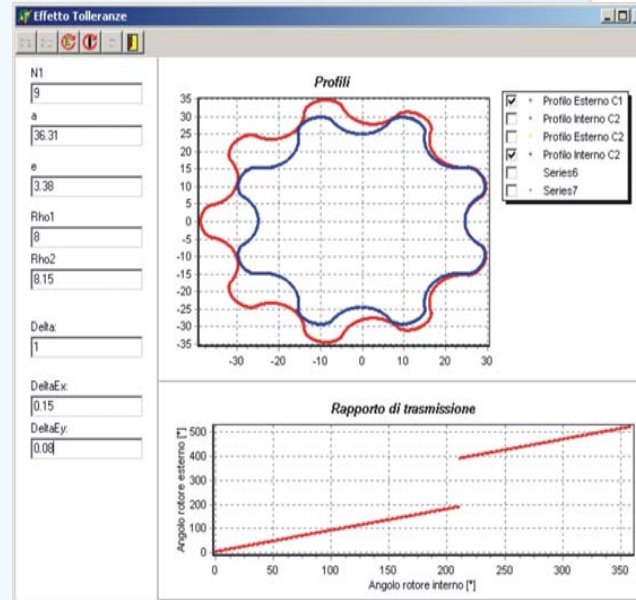
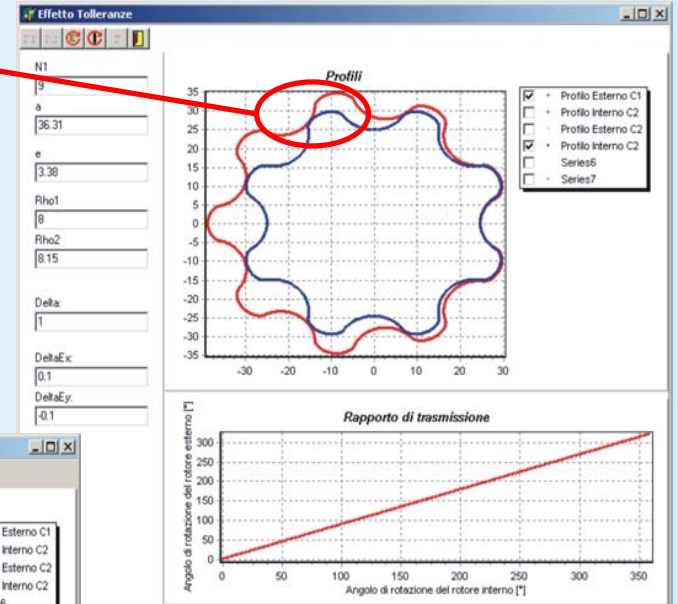
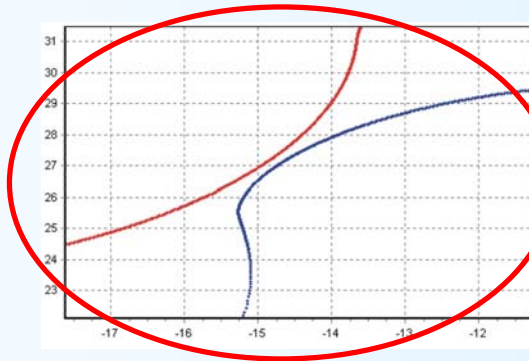




Studio dei rotori

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

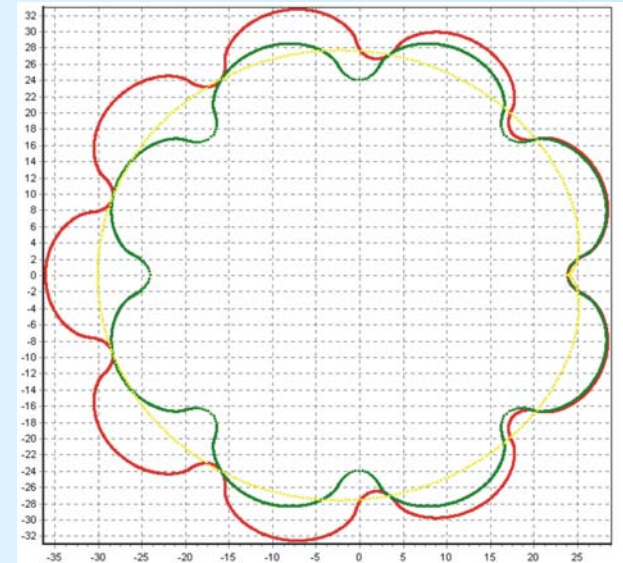
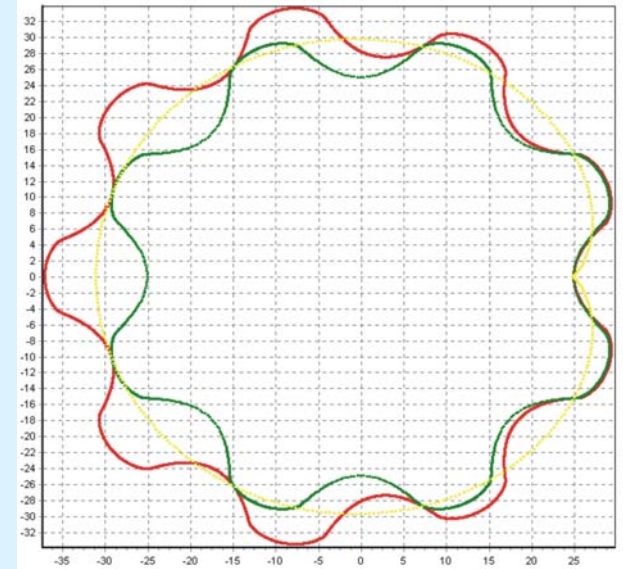
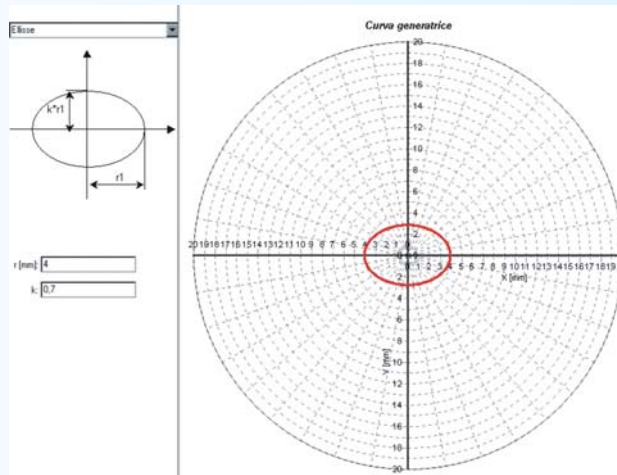
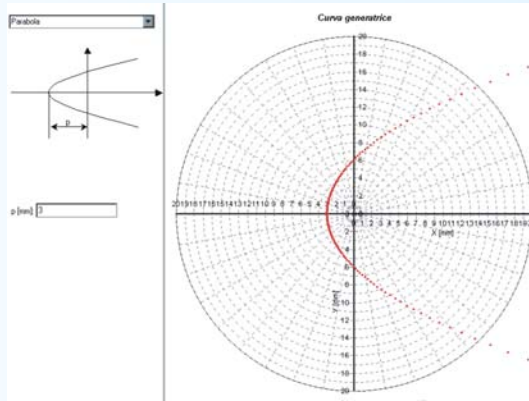




Ottimizzazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- **Ottimizzazione**
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

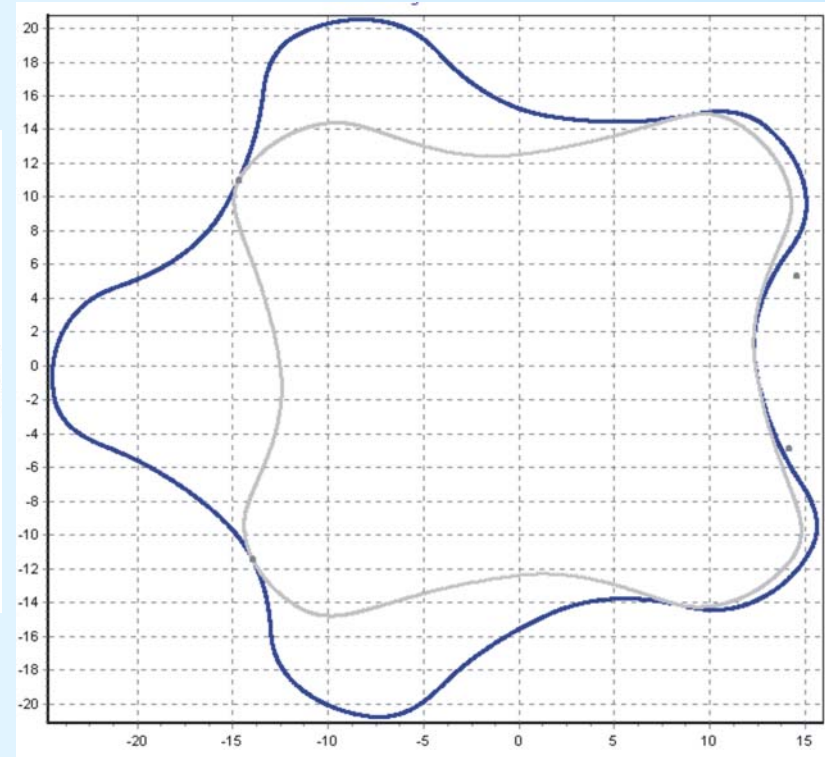
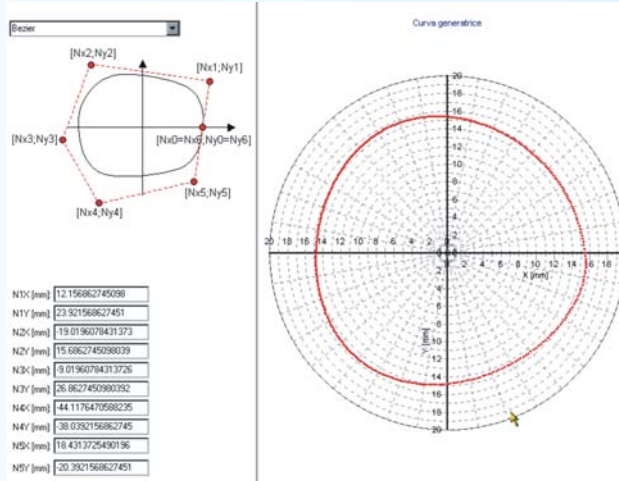




Ottimizzazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- **Ottimizzazione**
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

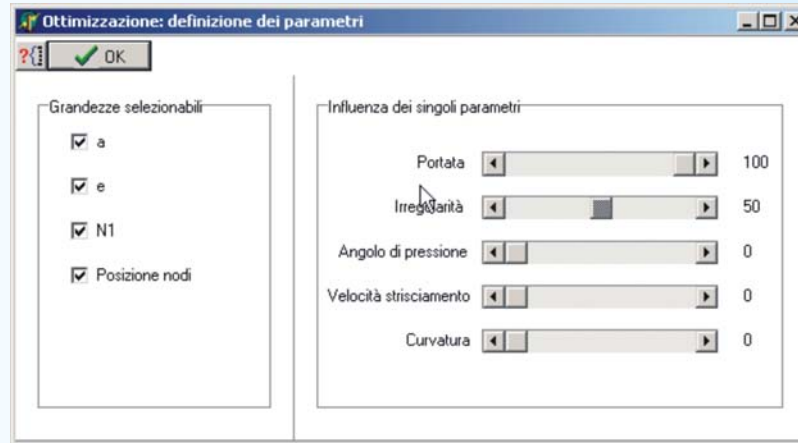




Ottimizzazione

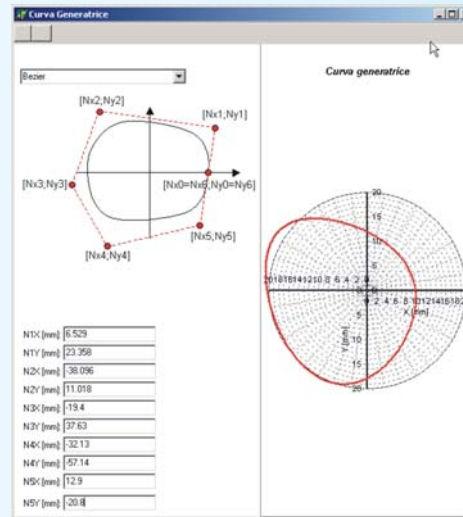
Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- **Ottimizzazione**
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Definizione dei limiti di escursione dei par...

	MIN	MAX
a	20	40
e	1	5
N1	4	11
N1x	0	20
N1y	0	40
N2x	-40	0
N2y	0	30
N3x	-20	0
N3y	10	50
N4x	-70	-30
N4y	-60	-20
N5x	0	40
N5y	-40	0

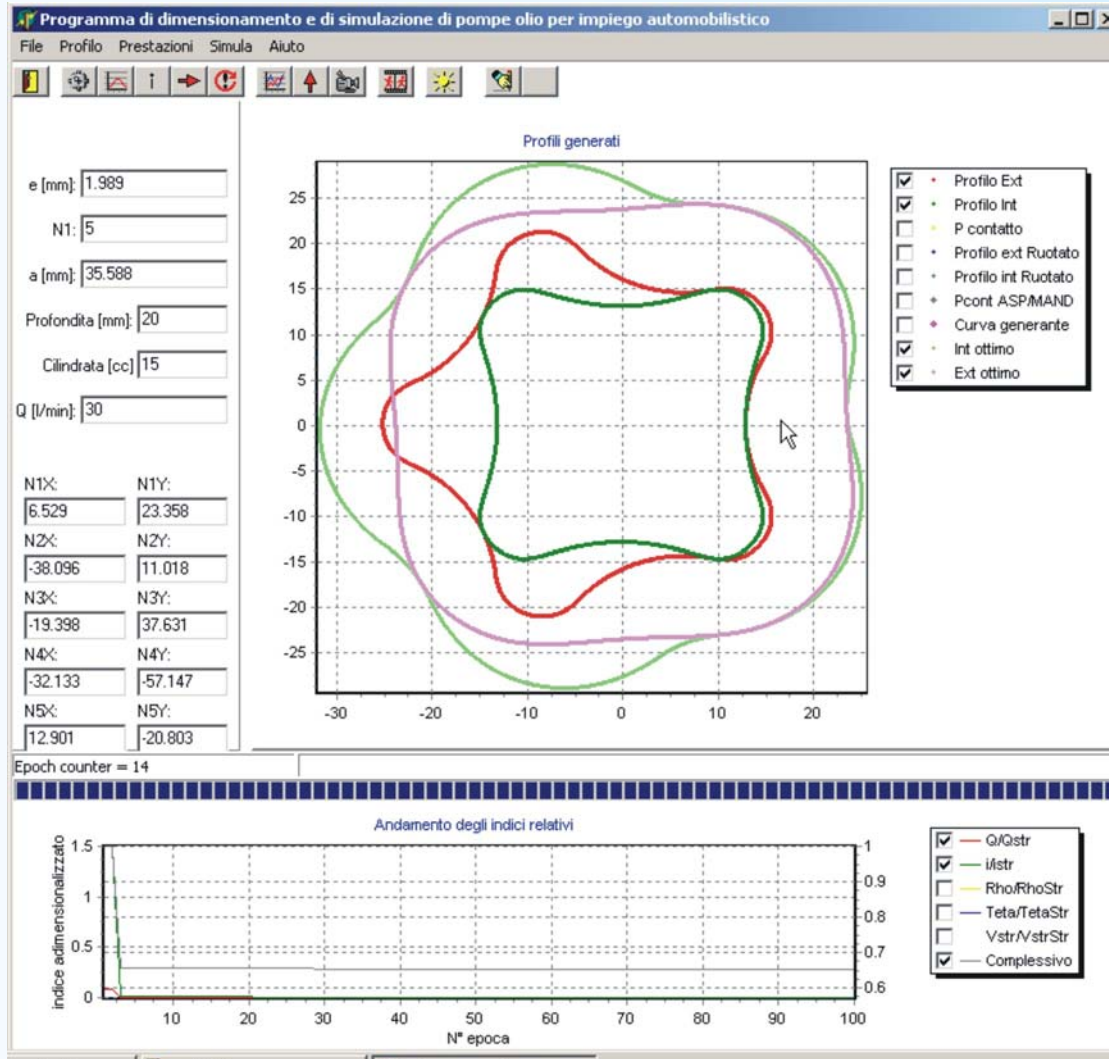




Ottimizzazione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- **Ottimizzazione**
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



Iniziale
 $i=0.1$
 $Q=26.98 \text{ l/min}$

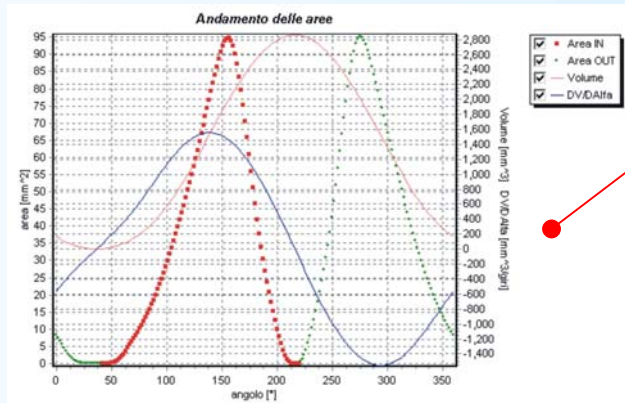
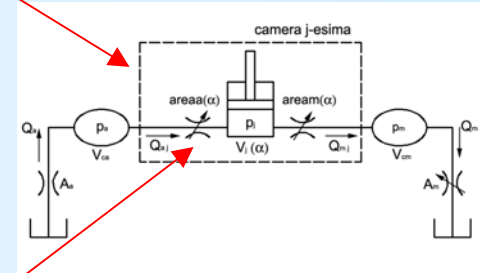
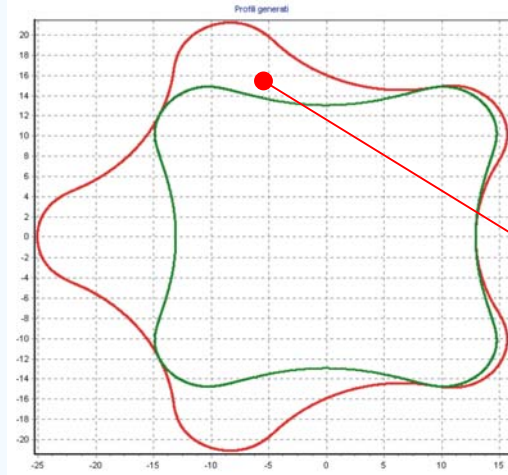
Finale
 $i=0.057$
 $Q=29.27 \text{ l/min}$



Modellazione pompa

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni



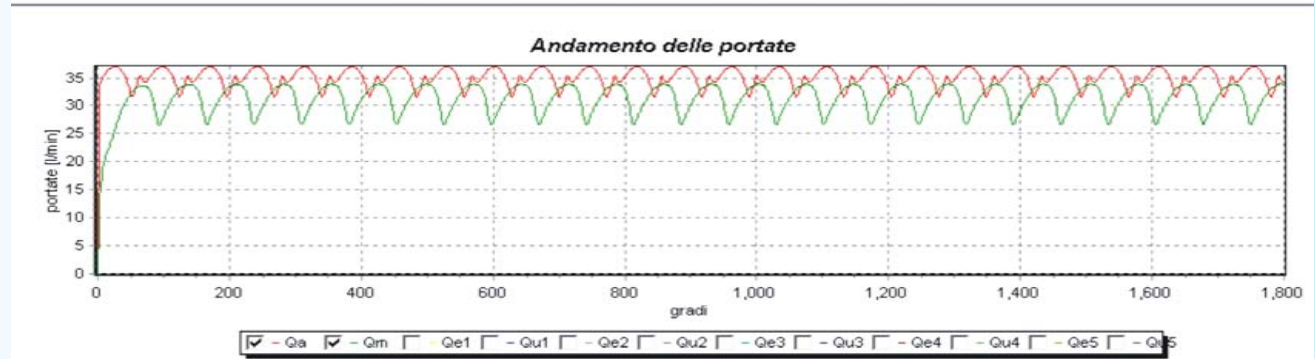
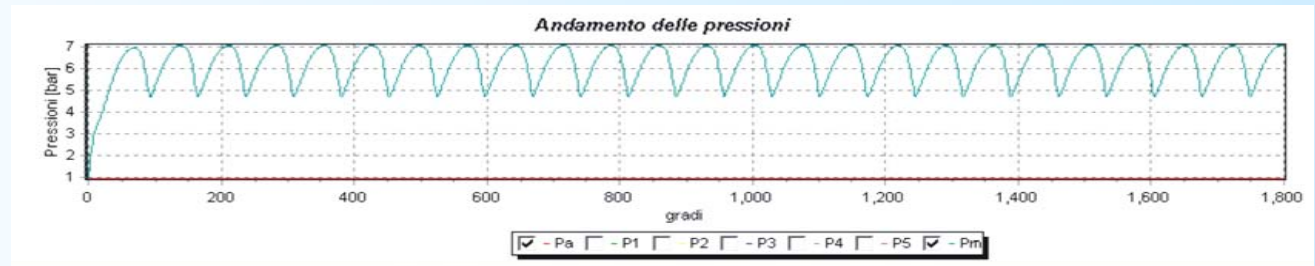


Modellazione pompa

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_j}{d\alpha} = \frac{\beta}{V_j \omega_1} \left(Q_{e,j} - Q_{u,j} - \omega_1 \frac{dV_j}{d\alpha} \right) \quad j = 1, 2, \dots, N \\ \frac{dp_m}{d\alpha} = \frac{\beta}{V_{cm} \omega_1} \left(\sum_{j=1}^N Q_{u,j} - Q_m \right) \\ \frac{dp_a}{d\alpha} = \frac{\beta}{V_{ca} \omega_1} \left(- \sum_{j=1}^N Q_{e,j} + Q_a \right) \end{array} \right.$$

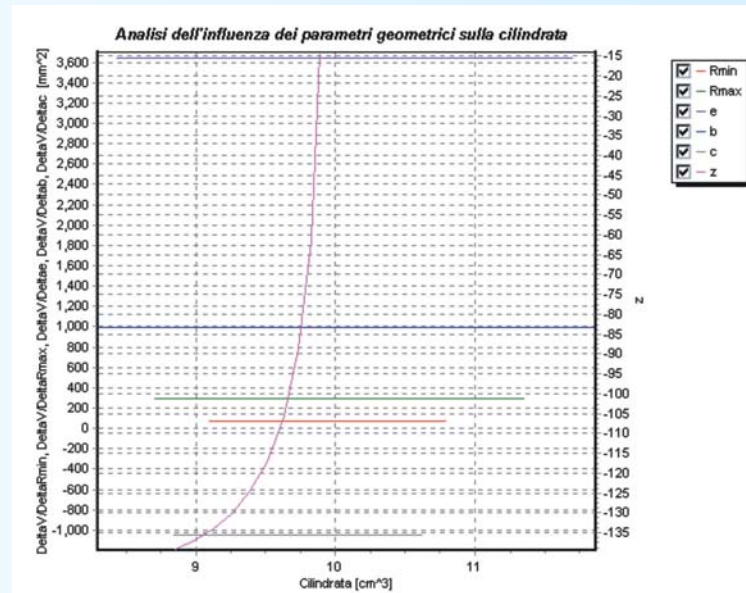
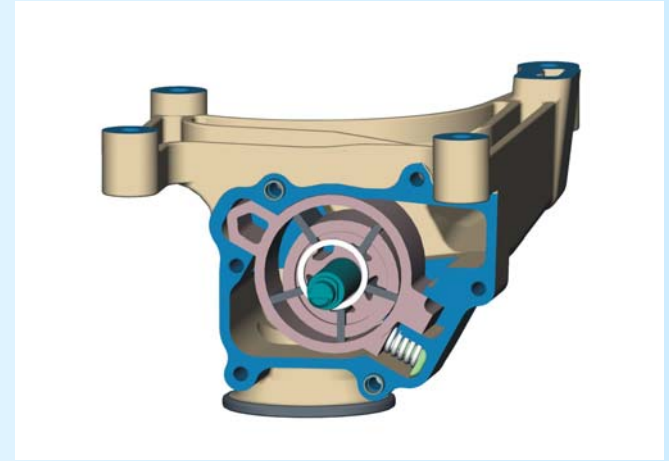
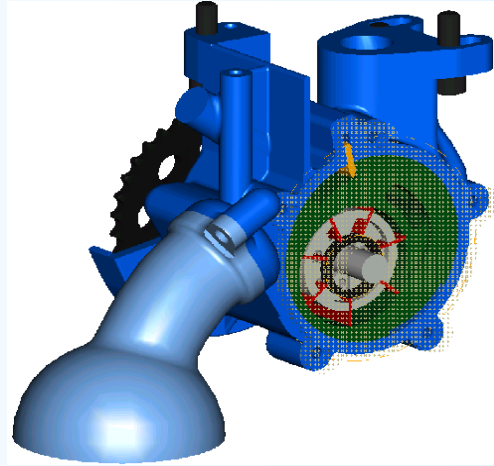




Pompe di nuova concezione

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- **Pompe di nuova concezione**
- Conclusioni





Pompe di nuova concezione

Indice

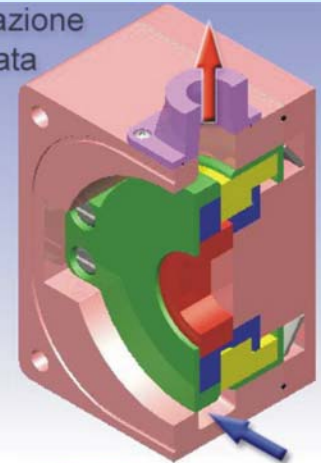
- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- **Pompe di nuova concezione**
- Conclusioni



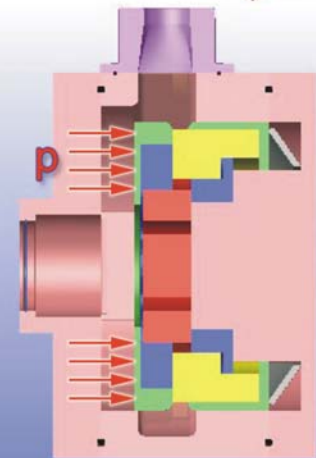
Configurazione a riposo: cilindrata massima



Massima traslazione assiale: cilindrata minima



1. Involucro
2. Cassa
3. Ruota esterna
4. Pignone
5. Negativo pignone
6. Negativo ruota esterna
7. Molla a tazza





Conclusioni

Indice

- Circuito di lubrificazione
- Analisi sistema pistone-canna
- Analisi del sistema di distribuzione
- Analisi del cuscinetto
- Definizione delle esigenze di lubrificazione
- Pompe di lubrificazione di motori a CI
- Studio dei rotori
- Ottimizzazione
- Modellizzazione pompa
- Pompe di nuova concezione
- Conclusioni

∞ Sviluppo di modelli matematici per i principali accoppiamenti del motore a C.I.

∞ Analisi teorico- sperimentali e definizione delle specifiche di progetto della P.O.

∞ Generazione automatica di profili di P.O. a partire da curve generatrici complesse

∞ Ottimizzazione dei rotori

∞ Analisi di un modello in grado di predire pressioni e portate erogate dalla pompa

∞ Progetto di una P.O. innovativa