



Progetti multipli per la pompa

MARCO GUIDETTI, ANTONIO LETTINI



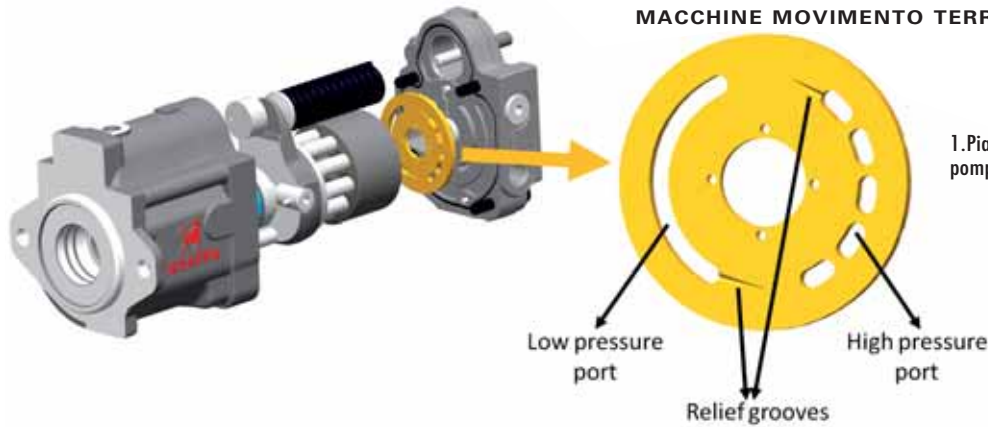
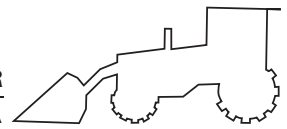
Nella progettazione di pompe oleoidrauliche, e dei loro componenti interni, è fondamentale considerare alcuni aspetti: l'efficienza, il rumore, le vibrazioni meccaniche, la regolazione. Grazie a specifici software è possibile affrontare questi vincoli ottimizzando i risultati. L'esperienza della R&D Casappa

I sistemi idraulici sono ampiamente utilizzati nelle macchine mobili, ad esempio nel settore agricolo, in quello delle costruzioni o della movimentazione dei materiali. All'interno del circuito idraulico, un ruolo principale è svolto dalla pompa idraulica, che trasforma in potenza idraulica la potenza meccanica del motore a combustione, alimentando i cilindri e i motori idraulici e consentendo così tutti i movimenti della macchina. La pompa è caratterizzata da una propria efficienza,

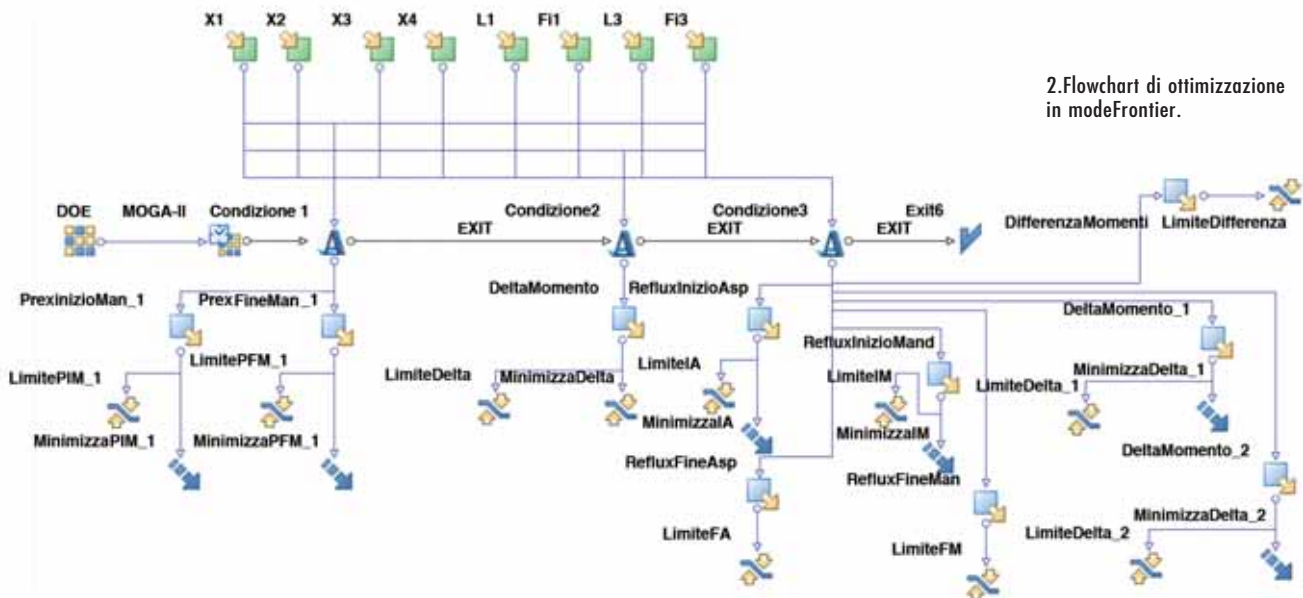


e influenza quindi il consumo di carburante di tutta la macchina. Inoltre, è una delle principali fonti di rumore, a causa delle pulsazioni di pressione immerse nel circuito idraulico (fluid-borne noise) e delle vibrazioni meccaniche

indotte dalle forze fluide (structure-borne noise). Il trasferimento delle vibrazioni alla massa d'aria genera infine il rumore percepito (air-borne noise). Se la pompa è a cilindrata variabile, essa è anche in grado di regolare la portata fornita al circuito idraulico: la regolazione della pompa è fondamentale per l'interazione con il motore termico, per il comfort



1. Piatto distributore di una pompa a pistoni assiali.



2. Flowchart di ottimizzazione in modeFrontier.

dell'operatore e per la produttività della macchina. Tutti questi aspetti devono essere presi in considerazione durante la progettazione delle pompe idrauliche e dei loro componenti interni.

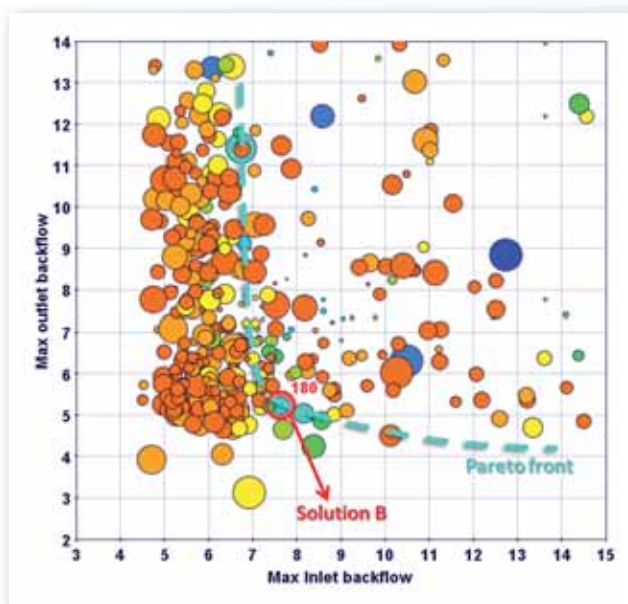
La pompa Casappa SVP (figura in apertura) è una pompa a pistoni assiali a cilindrata variabile, particolarmente adatta per i miniescavatori, grazie alla funzione di regolazione della coppia. Se durante le operazioni aumenta il carico della macchina, e di conseguenza aumenta il livello di pressione nel circuito idraulico, la pompa riduce la portata al fine di limitare la coppia assorbita (e la potenza) a un valore prefissato. Questo porta a una riduzione della velocità dei cilindri, ma consente di non superare la coppia massima (e la potenza) del motore termico. La regolazione del-

la coppia, in definitiva, permette di utilizzare una cilindrata più grande, e quindi di avere una macchina più veloce, a parità di motore termico, o di utilizzare un motore più piccolo, con i vantaggi di risparmio energetico e riduzione delle emissioni, a parità di cilindrata della pompa.

Equilibrio tra vincoli e obiettivi

La progettazione di pompe idrauliche è sempre un equilibrio tra un insieme di vincoli diversi e di obiettivi contrastanti. In particolare, la parte più importante nella progettazione di una pompa a pistoni assiali è il piatto distributore (figura 1), che ha una grande influenza sia dal punto di vista idraulico che meccanico. Esso, infatti, regolando il flusso di olio tra i pistoni e le bocche di aspirazione e di mandata, regola i transitori e i picchi di pressione

all'interno dei cilindri, che influenzano direttamente il rumore della pompa. Inoltre, poiché il flusso pulsante verso la linea di mandata interagisce con gli altri componenti del circuito oleoidraulico, si generano pulsazioni di pressione che incrementano ulteriormente il rumore nel sistema. Le sorgenti di rumore devono essere pertanto ridotte. Questi obiettivi però vanno combinati con l'efficienza della pompa, che dipende, tra l'altro, anche dal piatto distributore: l'aumento del flusso di bypass tra la bassa e l'alta pressione può aiutare a limitare il rumore, ma porta rapidamente ad una riduzione del rendimento volumetrico della pompa. Un altro vincolo è la velocità massima, che deve essere raggiunta senza l'insorgenza della cavitazione. Se la pompa è del tipo a piatto oscillante,



3. Confronto tra le soluzioni e valutazione del fronte di Pareto.

Variabile	STD Piatto distributore standard	A Piatto distributore intermedio	B Piatto distributore finale
Massima pressione nel cilindro	=	< (best)	<
Minima pressione nel cilindro	= (best)	<	<
Massimo riflusso in aspirazione	=	<	< (best)
Massimo riflusso in mandata	=	< (best)	=
Ampiezza pulsazione di	=	<	< (best)
Variazione di coppia	=	>	< (best)
Rendimento volumetrico	= (best)	<	<

come la SVP, è presente inoltre un effetto sul sistema di regolazione. Le principali forze che agiscono sui componenti interni della pompa (ed in particolare sul piatto oscillante) sono generate dalla pressione nei pistoni, e quindi influenzate dalla geometria del piatto distributore. Questo effetto va dunque considerato durante la progettazione, per ottenere una regolazione ottimale in tutto il range di condizioni di lavoro della pompa.

Tutti questi fenomeni sono stati analizzati e inseriti in un modello di simulazione sviluppato da Casappa negli ultimi dieci anni (all'interno dell'ambiente di simulazione LMS Imagine.Lab AMESim), e validato con una lunga serie di campagne sperimentali.

La progettazione

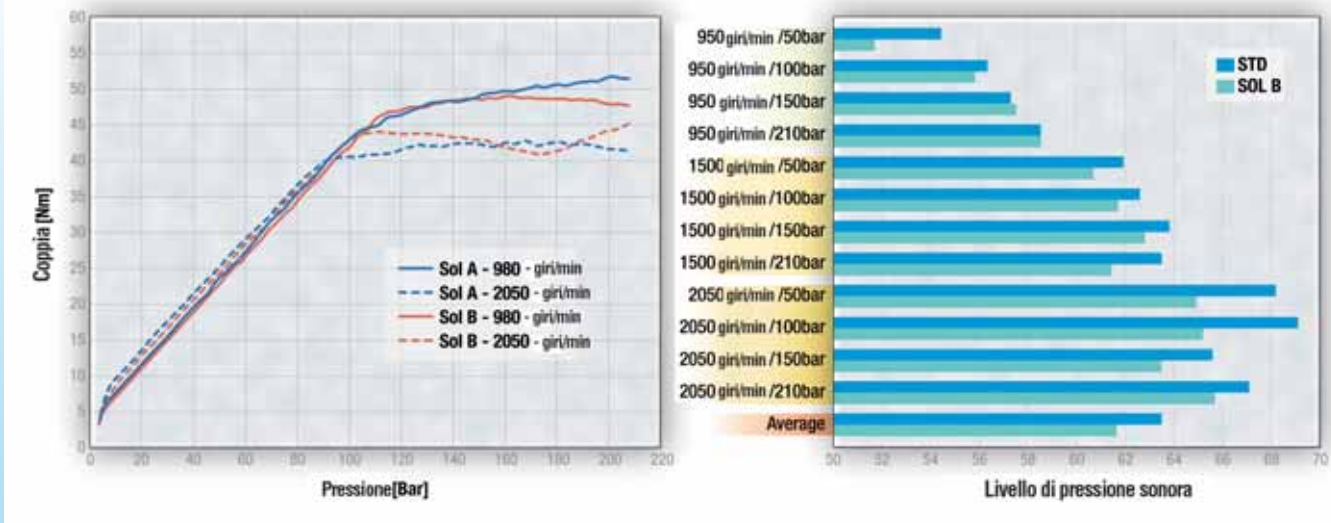
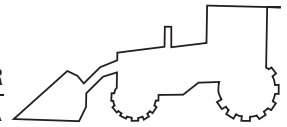
Il progetto descritto in questo articolo è nato dall'esigenza di un utilizzatore, un importante costruttore di macchine movimento terra, di rinnovare una serie di miniescavatori, sostituendo il motore termico con uno di nuova generazione e introducendo cambiamenti

rilevanti nel layout della macchina e nel circuito oleoidraulico. In particolare la cilindrata della pompa oleoidraulica, una pompa Casappa SVP, è aumentata rispetto alla versione di macchina precedente. Dopo le modifiche, l'emissione acustica della nuova macchina era risultata eccessiva rispetto al target prefissato. Poiché non erano possibili altri cambiamenti nel circuito idraulico, il cliente aveva chiesto di intervenire sulla pompa per risolvere il problema. Una prima ottimizzazione multi-obiettivo del piatto distributore è stata quindi eseguita dall'ufficio R&D Casappa, e i risultati in termini di rumore sulla macchina sono stati soddisfacenti per il cliente, ma in fase di test è emerso un comportamento inaccettabile: la regolazione della coppia non era più ottimale, perché a bassa velocità e ad alta pressione la pompa presentava un aumento della coppia regolata, che portava il motore a spegnersi. Al fine di minimizzare il rumore, tenendo conto questa volta del vincolo di una buona regolazione della coppia, una nuova e più complessa ottimizza-

zione è stata effettuata utilizzando il software modeFrontier Esteco.

L'ottimizzazione

Il processo di ottimizzazione interviene su otto parametri geometrici, che descrivono la forma del piatto distributore. In particolare, la geometria è definita dalla posizione angolare e dall'ampiezza delle luci di aspirazione e di mandata, dalla lunghezza e dalla larghezza degli intagli realizzati all'inizio di ciascuna luce. Questi parametri vengono modificati da ModeFrontier, in automatico e seguendo degli algoritmi di ottimizzazione, all'interno del modello AMESim, in modo da valutare le seguenti grandezze, calcolate su alcuni giri completi dell'albero della pompa: massima (a) e minima (b) pressione in un singolo pistone; portata massima, durante il transitorio, che fluisce dal pistone verso la linea di aspirazione (riflusso in aspirazione) (c) e dalla linea di mandata verso il pistone (riflusso in mandata) (d); ampiezza della pulsazione di pressione nella linea di mandata (e); valore di coppia massima regolata dalla pompa



4. Confronto sperimentale tra i piatti distributori.

(f); portata media erogata (g).

La variabile a deve essere minimizzata per limitare i picchi di pressione (e di conseguenza sia il rumore sia lo stress sui componenti interni della pompa); la variabile b deve invece essere massimizzata in modo da evitare la cavitazione; le variabili c, d ed e devono essere ridotte per limitare la rumorosità della pompa; la variabile f deve essere mantenuta costante su tutto il range di possibili condizioni di lavoro, per garantire una regolazione di coppia ottimale; la variabile g è legata al rendimento volumetrico della pompa, e deve essere superiore ad un valore minimo da garantire. Ciascuna delle variabili precedenti deve essere valutata nelle condizioni più critiche, quindi nel diagramma di flusso di figura 2 sono state inserite diverse simulazioni, ognuna con una rampa di pressione di mandata ad una diversa velocità della pompa. Per la variabile f la variazione con la pressione e con la velocità deve essere ridotta al minimo. Il DOE iniziale è stato fatto utilizzando 200 combinazioni di parametri,

selezionati attraverso l'algoritmo Sobol, mentre l'ottimizzazione è stata eseguita utilizzando l'algoritmo Moga II.

I risultati

L'ottimizzazione effettuata ha condotto ad una serie di soluzioni sul fronte di Pareto. Attraverso gli strumenti disponibili nel software, la soluzione finale è stata scelta focalizzandosi sulla riduzione del rumore e su una buona regolazione della coppia. Nella tabella seguente è riportato il confronto tra lo standard (STD) e la soluzione ottimizzata (B). Con il modello di simulazione sono state valutate le stesse grandezze anche per il piatto distributore ottenuto nella prima ottimizzazione (A) (realizzata senza modeFrontier):

Prima di inviare i prototipi all'utente, una pompa con il nuovo piatto distributore è stata provata nel laboratorio R&D Casappa. In particolare, è stata misurata la pressione sonora della pompa in camera semi-anecoica, per valutare il livello di rumore. La pompa è trascinata ad una ve-

locità controllata da un motore elettrico e la pressione di mandata è regolata attraverso una valvola proporzionale; vengono misurate sia la portata erogata sia la coppia assorbita per valutare l'efficienza complessiva della pompa e la regolazione della coppia. In figura 3 viene mostrato il confronto tra le soluzioni A e B. La soluzione A ha una variazione di 9,1 Nm sulla coppia massima regolata, nel passaggio da 2.050 a 950 giri/min; la soluzione B ha ridotto la variazione a 3,9 Nm. Nella stessa figura è visibile anche il confronto in termini di pressione sonora tra i piatti distributori STD e B. La riduzione del rumore media su tutto il range testato è di circa 2 dBA, mentre il livello massimo si è ridotto di quasi 4 dBA. Dopo la validazione finale (figura 4) direttamente effettuata sulla macchina, l'utilizzatore ha deciso di adottare la versione migliorata della pompa, dimostrando il completo successo del progetto.

M. Guidetti, technical director A. Lettini, R&D manager di Casappa.