

Abstract

The interest in Diesel engines for automotive application has dramatically grown in the last decades, due to the benefits gained with the introduction of Common Rail system and electronic control. A strong increase in fuel economy and a remarkable reduction of emissions and combustion noise have been achieved, thanks to both optimized fuelling strategy and advanced fuel injection technology. In the last years many efforts are addressed towards a suitable design of engine control strategies and consequently new combustion concepts, such as Low Temperature Combustion (LTC), in order to face with the Soot/NO_x trade off and the increasingly restrictive emission standards. Nevertheless the large number of control variables (i.e. injection pattern, EGR, VGT) makes the experimental testing extremely expensive in terms of time and money. Massive use of advanced mathematical models to simulate engine and system components (mechanical and electronic devices) is therefore recommended to speed up the design and optimization of engine control strategies.

The thesis work deals with the development and experimental validation of a multi-zone combustion model of Common Rail Diesel engines and its application for the optimal tuning of engine control variables. Particular attention is addressed to the critical aspects of the injection system modelling. A semi-empirical model is proposed to simulate multiple injections and the fluid dynamics interaction is taken into account by considering their effects on injection timing variations. The proposed model also allows designing a specific injection rate shaping with the aim of evaluating the impact on emissions and performance. It is worth noting that, control strategies far from the conventional ones, could lead to undesired effects such as the impingement of the fuel jet on the cylinder wall. Therefore suitable sub-models have been developed to simulate the impingement effects on combustion deterioration. Despite the enhancements introduced to the Multi-Zone model, the computational time is kept low, thus making it suitable to support the tuning optimization. With the aim to fulfil this latter purpose, the proposed model has been applied for the optimal tuning of a 2.3 l, 4 cylinders, turbocharged Diesel engine, equipped with VGT and high pressure EGR. An optimization analysis has been carried out to minimize the fuel consumption with constraints on performance and emissions in four operating conditions selected among those of interest for the ECE/EUDC driving cycle. Starting from an operating condition complying with EURO 5 standards, the optimization process has been carried out with the aim of updating the engine tuning towards the EURO 6 standards by relaxing the constraint on NO_x emission, thanks to the expected reduction in the SCR, with an improvement of fuel economy. Afterwards the control

strategies resulting from the optimization process have been checked at the engine test bed in order to prove the model effectiveness in reducing the costs and times related to the experimental activity. The thesis work represents a valuable scientific reference for the model-based tuning of the engine control variables and the results achieved are strongly appealing for the automotive industry. The work deepens an important topic in the automotive field and it leads the way towards an effective improvement of the combustion control, with a significant reduction of the experimental burden.

Sommario

Nell'ultimo decennio l'interesse verso i motori Diesel per applicazioni automobilistiche è cresciuto notevolmente, grazie soprattutto ai vantaggi ottenuti dallo sviluppo del sistema Common Rail e dal controllo elettronico. Sia grazie ad avanzate tecnologie di iniezione che a strategie ottimali di gestione i consumi di combustibile sono stati fortemente ridotti, così come le emissioni inquinanti ed il rumore di combustione. Negli ultimi anni, molte attività di ricerca hanno avuto come obiettivo la progettazione di strategie ottimali per il controllo motore. Di conseguenza, sono stati definiti innovativi concetti di combustione, come le combustioni a bassa temperatura (LTC), con lo scopo di far fronte ai contrapposti effetti delle variabili di controllo sulle emissioni di Soot ed NO_x ed attenersi alle sempre più restrittive normative anti-inquinamento. Tuttavia, l'ampio numero delle variabili di controllo (es. sistema di iniezione, EGR, sovralimentazione) rendono l'attività sperimentale estremamente costosa in termini di tempo e denaro. Pertanto l'utilizzo di modelli matematici avanzati per la simulazione del motore e dei suoi sotto-sistemi (strumenti meccanici ed elettronici) risulta indispensabile per accelerare la progettazione e l'ottimizzazione delle strategie di controllo motore.

Il lavoro presente riguarda lo sviluppo e la validazione sperimentale di un modello di combustione multi-zona per applicazioni a motori Diesel Common Rail, finalizzato al supporto della progettazione di strategie di controllo motore. Particolare attenzione è rivolta alla modellistica del sistema di iniezione e ad i suoi aspetti critici. È proposto un modello semi-empirico per la simulazione delle iniezioni multiple, le interazioni fluidodinamiche sono considerate con riferimento al loro effetto sulla tempistica di iniezione. Il modello proposto consente di definire una forma specifica del profilo di iniezione al fine di valutarne l'impatto sulle emissioni e sulle prestazioni del motore. È importante considerare inoltre, che strategie di controllo molto diverse da quelle convenzionali potrebbero indurre effetti indesiderati quali l'impatto del combustibile liquido sulle pareti del cilindro (impingement). Per questo motivo si è sviluppato un opportuno sotto-modello per la simulazione del fenomeno di impingement ed i suoi effetti sul deterioramento del processo di combustione. Nonostante i miglioramenti introdotti al modello multi-zona, il tempo

computazionale si è mantenuto basso, così da ritenere il modello numerico ancora adatto ad assistere l'attività di calibrazione del motore. Al fine di raggiungere quest'ultimo scopo, il modello proposto è applicato per la messa a punto ottimale di un motore Diesel 4 cilindri, 2.3 l, sovralimentato con turbina a geometria variabile e ricircolo di alta pressione dei gas combusti. Si è effettuata un'ottimizzazione numerica vincolata in termini di coppia indicata ed emissioni, con l'obiettivo di ridurre il consumo specifico in 4 condizioni operative scelte tra quelle di interesse per i cicli guida ECE/EUDC. A partire da un punto operativo con calibrazione di base EURO 5, si è cercata la giusta configurazione delle variabili di controllo tale da aumentare il risparmio di combustibile ed al tempo stesso di mantenere inalterate le emissioni inquinanti, ad eccezione per i NO_x, il cui vincolo è stato rilassato assumendo l'impiego di un catalizzatore SCR, come previsto dalla nuova normativa EURO 6. Successivamente le strategie di controllo individuate con l'ottimizzazione numerica sono verificate al banco prova per dimostrare l'efficacia del modello nella riduzione dei costi e dei tempi dell'attività sperimentale.

I risultati ottenuti in questa tesi sono di grande interesse industriale, tuttavia non vi sono in letteratura numerosi riferimenti relativi alla calibrazione assistita da modelli delle variabili di controllo motore. Il lavoro presente approfondisce un tema importante per le case automobilistiche e segna la strada verso un effettivo miglioramento del controllo della combustione, con significativa riduzione dell'onere sperimentale.