

## **Progetto di Ricerca e Piano di Attività per l'Assegno di Ricerca dal Titolo:**

**“Sviluppo e validazione sperimentale di sistemi di controllo *model-based* per combustioni ad alta efficienza attraverso l'impiego di materiali e tecnologie innovativi, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> dei motori ad accensione comandata”**

### **PROGETTO DI RICERCA**

Il Progetto di Ricerca si colloca nell'ambito di una collaborazione strutturata e pluriennale tra il DIN e i reparti di Innovazione, di Ricerca e Sviluppo e di Sperimentazione di Ferrari Auto. In particolare, l'attività di ricerca prevista si inquadra in un obiettivo di medio-lungo termine orientato allo sviluppo di propulsori ad elevatissime prestazioni per coniugare una significativa riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> con l'incremento della potenza specifica, e si sviluppa a partire dai risultati ottenuti durante le collaborazioni precedenti (2015, 2016, 2017, 2018 e 2019).

Le principali tematiche che si intende affrontare con l'Assegno di Ricerca di cui si richiede il co-finanziamento sono relative all'analisi della tipologia e delle cause del danno causato ai componenti del motore da combustioni detonanti, e allo sviluppo e alla calibrazione di strategie di controllo che permettano di controllarne l'entità, basate su modelli fisici real-time. L'obiettivo principale è quello di gestire in modo ottimale il processo di combustione, permettendo un miglior sfruttamento dell'energia introdotta nel processo ovvero massimizzando l'efficienza del propulsore. In questo modo sarà possibile incrementare le prestazioni specifiche del motore e ciò permetterà una significativa riduzione della cilindrata, che è stata identificata come la soluzione più efficace per minimizzare le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Il Progetto di Ricerca si propone di sviluppare nuove soluzioni sia dal punto di vista teorico e scientifico (modelli real-time di danno dei componenti presenti in camera di combustione, strategie di controllo basate sull'implementazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale per gestire in modo adattativo condizioni di stress termo-meccanico prossime al limite di affidabilità degli stessi, definizione di target di danneggiamento in funzione della missione del propulsore) sia in termini di approccio alla sperimentazione e allo sviluppo di leghe e soluzioni progettuali innovative (sono previste numerose sessioni di test, da svolgersi presso i laboratori del DIN, che permetteranno di validare i modelli matematici, verificare l'efficacia di nuovi materiali, trattamenti superficiali e soluzioni progettuali in termini di design dei pistoni, fino alla possibilità di sperimentare l'adozione di sensori prototipali per la stima della pressione in camera di combustione). Inoltre, sempre nell'ambito della sperimentazione, verranno testati e sviluppati hardware real-time con elevate potenze di calcolo per la prototipazione rapida degli algoritmi di gestione del propulsore sopra citati. Un ulteriore esito atteso dal Progetto è quindi la possibilità di pubblicare i molteplici risultati della ricerca nelle più prestigiose riviste internazionali dei settori coinvolti (principalmente automotive, ma anche metallurgia, sensoristica e progettazione di componenti meccanici).

### **PIANO DI ATTIVITA'**

L'attività di ricerca si articolerà secondo le seguenti fasi:

#### **1. Attività sperimentale su motore presso la sala prove del DIN**

- 1.1 Calibrazione ed aggiornamento del modello di temperatura pistone e di danno per pistoni prototipali, in diverse leghe, su un motore caratterizzato da un layout innovativo della camera di combustione, in particolare per la disposizione dei sistemi di accensione ed iniezione (F154FA).

- 1.2 Installazione sul banco Unibo di motori F154BE (layout standard della camera di combustione) con componenti prototipali
- 1.3 Aggiornamento banco prova Unibo per l'allestimento del motore F154FA
- 1.4 Effettuazione di test al banco prova Unibo con target di danno pre-impostato in ottica validazione modello di danno ricalibrato per pistoni prototipali e pistoni F154FA, e con acquisizione di indici indicating e da correnti di ionizzazione (ION) sincronizzati tramite sistema di Rapid-Control-Prototyping (RCP). Tali test saranno basati sull'induzione controllata di eventi detonanti e delle loro conseguenze in termini di modifica permanente delle caratteristiche meccaniche dei materiali (circa 100 giorni - effettivi e completi - di test)
- 1.5 Analisi di sensibilità di materiali e geometrie innovative del pistone ai meccanismi di danno da detonazione individuati nel corso dei precedenti contratti.
- 1.6 Test di componenti e/o materiali prototipali, e analisi dei loro effetti sul comportamento detonante del motore e sul danno indotto da detonazione.
- 1.7 Sviluppo e analisi sperimentale di innovativi sensori per la determinazione della pressione in camera di combustione o di indici ad essa correlati utili per il controllo in closed-loop della combustione.

## **2. Sviluppo di sistema di controllo della combustione basato su modelli di danno, di pressione cilindrica massima (Pmax) e di intensità della detonazione**

- 2.1 Analisi del database relativo al motore F154FA e suo ampliamento con test specifici presso la sala prove UNIBO in ottica ricalibrazione dei principali modelli analitici implementati nel sistema di controllo combustione adattativo (in ottica applicazione veicolo):
  - 2.1.1 Modello MFB50-SA adattativo
  - 2.1.2 Modello PMAX
  - 2.1.3 Modello Knock Intensity inclusa sensibilità al RON della benzina
- 2.2 Sviluppo e test on-line di strategia di controllo dell'anticipo con gestione della fase di combustione in catena aperta (calcolo del target di fase combustione e dell'anticipo da attuare attraverso modello di danno, modello di knock intensity e modello di Pmax) e con correzione in catena chiusa per mantenere il target di velocità di danno e/o per gestire condizioni di funzionamento anomale (interventi protettivi in caso di eventi detonanti particolarmente intensi). Validazione sperimentale su motore F154FA.
- 2.3 Sviluppo algoritmo di controllo velocità di danno basato su modelli analitici per il calcolo della fase di combustione e dell'intensità di detonazione in funzione di temperatura collettore, titolo della miscela e potere anti-detonante della benzina, senza feedback sulla combustione. Utilizzo indici ION per stima qualità combustibile e riadattamento in real-time delle calibrazioni dell'algoritmo di cui sopra.
- 2.4 Implementazione in un ambiente di RCP della strategia di controllo di cui in 2.3, e validazione on-line a banco motore.
- 2.5 Calibrazione e ottimizzazione dei sistemi di controllo di cui in 2.2 e in 2.3.

## **3. Sviluppo e validazione di un modello analitico orientato al controllo della temperatura uscita valvole di scarico, in ottica stima del massimo carico ammissibile per fissata temperatura in ingresso turbina**

- 3.1 Ottimizzazione e validazione on-line di un modello analitico di temperatura scarico, con implementazione in ambiente RCP, per motore F154BE.
- 3.2 Calibrazione e validazione del modello per motore F154FA
- 3.3 Implementazione del modello temperatura scarico nel sistema di controllo adattativo di cui nel punto 3.2 e sua validazione al banco via RCP su motore F154FA

3.4 Sviluppo e validazione sperimentale di un modello fisico Real-Time di combustione e di scambio termico a parete per il calcolo della temperatura in uscita dalle valvole di scarico. Confronto tra i risultati ottenuti con il modello fisico e con quello di cui al punto 3.1.

Il Tutor

Prof. Nicolò Cavina

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Nicolò Cavina', written in a cursive style.

Bologna, 15/03/2020