

Giornata di Studio “Giorgio Minelli”

sui Motori a Combustione Interna

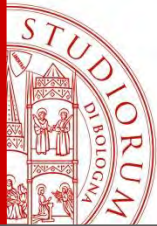
20/04/2018

***Le prospettive future dei motori a
combustione interna***

***Le combustioni a bassa temperatura:
abbattere le emissioni senza perdere il
controllo***

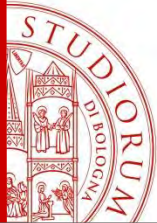
Vittorio Ravaglioli, Davide Moro, Fabrizio Ponti, Nicolò Cavina, Enrico Corti

Università di Bologna



Outline

- Combustioni a bassa temperatura (LTC): vantaggi e criticità nella loro gestione
- Layout sperimentale per il test della combustione RCCI in un motore ad accensione per compressione (Banco Prova UniBO)
- Controllo in Closed-Loop della combustione RCCI:
 - Utilizzo del feedback di pressione cilindro
 - Utilizzo di accelerometri per la stima degli indici di combustione



Outline

- **Combustioni a bassa temperatura (LTC): vantaggi e criticità nella loro gestione**
- Layout sperimentale per il test della combustione RCCI in un motore ad accensione per compressione (Banco Prova UniBO)
- Controllo in Closed-Loop della combustione RCCI:
 - Utilizzo del feedback di pressione cilindro
 - Utilizzo di accelerometri per la stima degli indici di combustione

Combustioni LTC

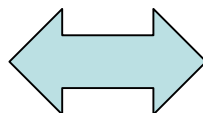
- Le moderne normative anti-inquinamento per MCI richiedono di conciliare, in modo sempre più stringente, elevate efficienze (bassa concentrazione di CO_2) e basse emissioni allo scarico. In particolare:

Elevata efficienza

(riduzione CO_2)

Tipica del Motore Diesel

Accensione per Compressione

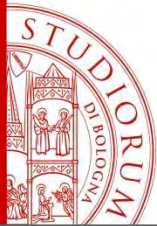


Basse concentrazioni di inquinanti

(riduzione NO_x e particolato)

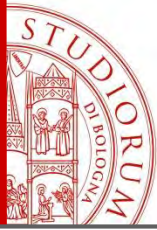
Tipiche del Motore Benzina

Accensione Comandata



Combustioni LTC

- La necessità di conciliare trend opposti ha incentivato lo sviluppo di numerose tecniche di combustione innovative, fra cui le più note sono:
- Homogeneous-Charge Compression Ignition (HCCI)
- Low Temperature Gasoline Combustion (Spark Assisted)
- Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI)



Combustioni LTC

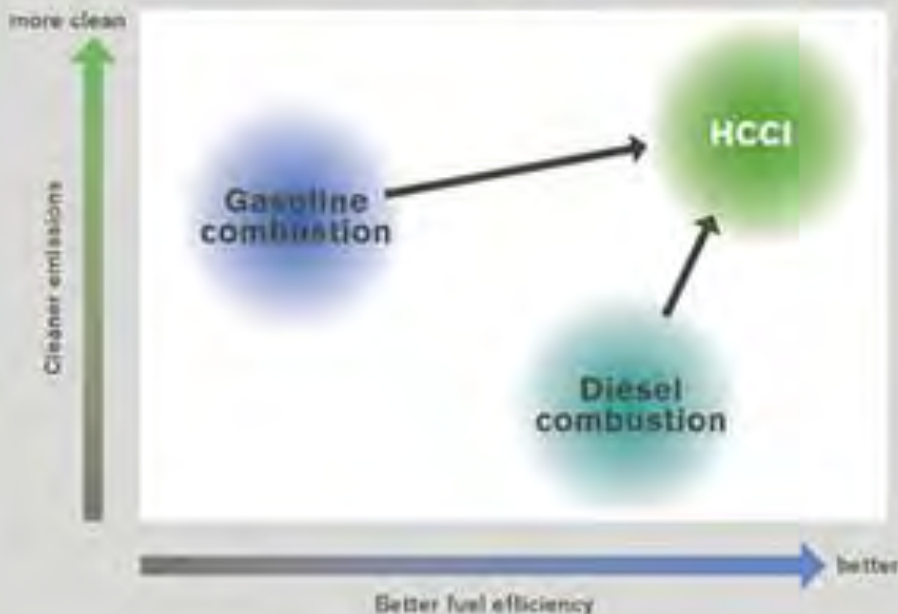
- La necessità di conciliare trend opposti ha incentivato lo sviluppo di numerose tecniche di combustione innovative, fra cui le più note sono:
- **Homogeneous-Charge Compression Ignition (HCCI)**
- Low Temperature Gasoline Combustion (Spark Assisted)
- Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI)

HCCI

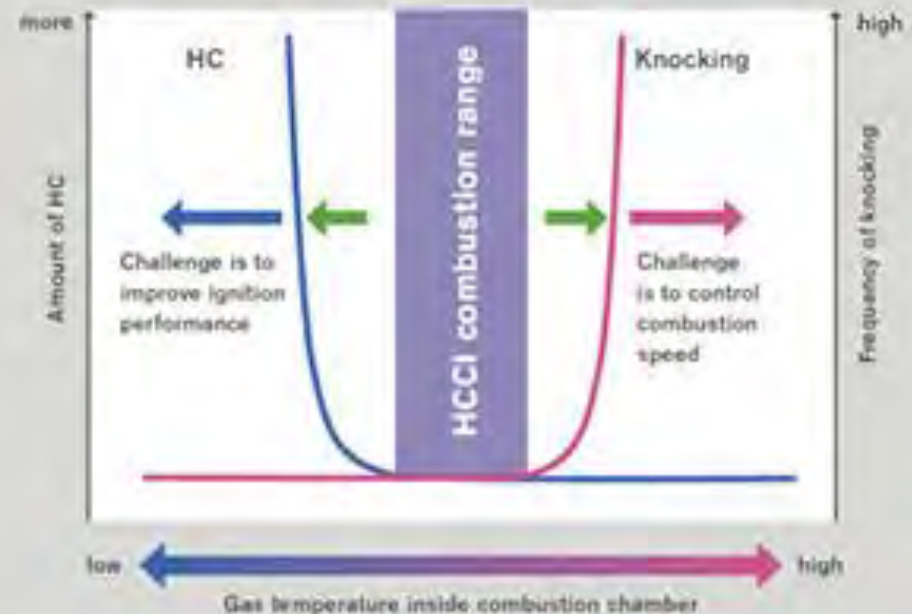
La **combustione spontanea** di una **miscela aria/combustibile omogenea** (compressa dal pistone fino a raggiungere l'auto-accensione) permette di ottenere alte efficienze e basse emissioni.

Il problema principale di questo tipo di combustione è la **scarsissima controllabilità** (dovuta principalmente alla sensibilità alle condizioni termiche della carica)

Potenziale HCCI



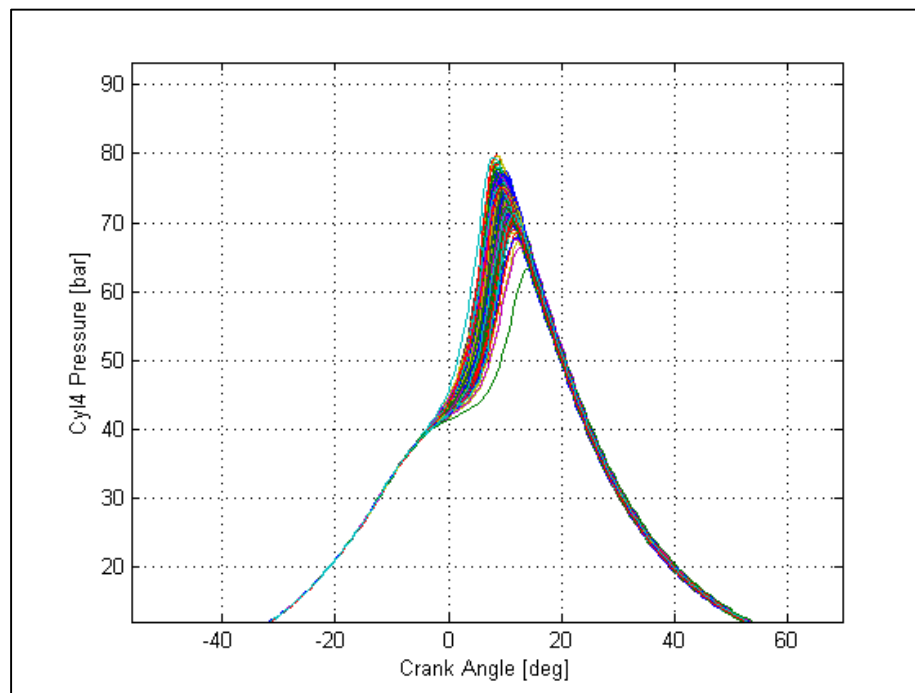
Intervallo di controllabilità e limiti

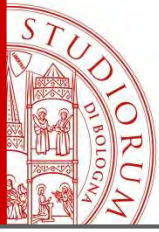


HCCI

Inoltre, una **combustione impulsiva** (che rilascia tutta la propria energia in un arco angolare molto limitato) porta ad avere **gradienti di pressione molto elevati**, che generano quindi:

- **sollecitazioni** sul manovellismo
- **rumore** di combustione.



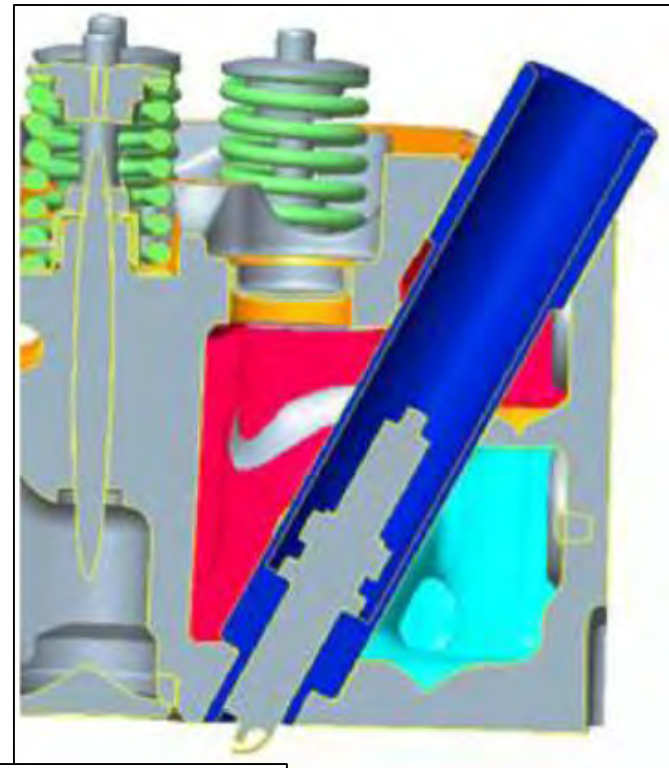
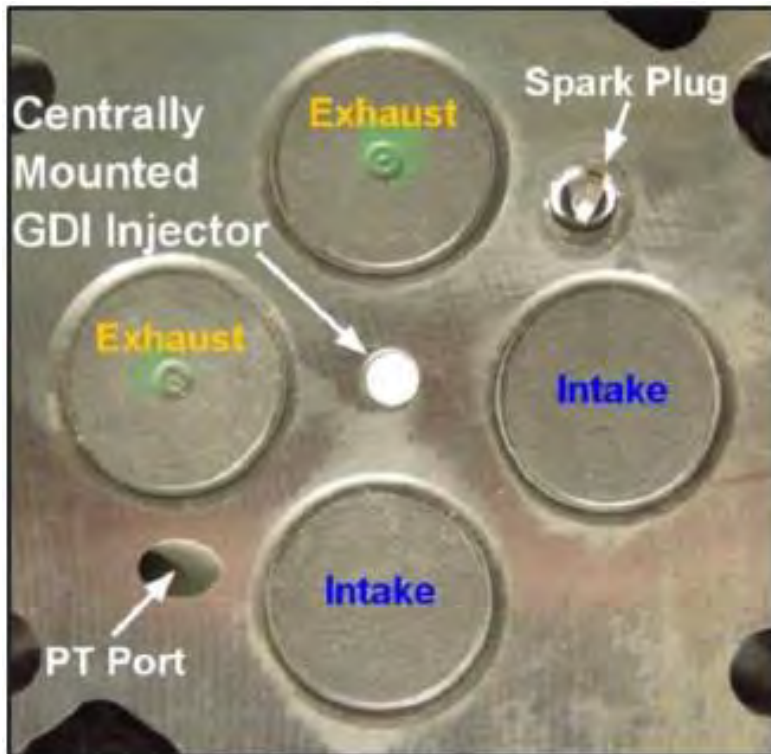


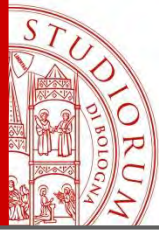
Combustioni LTC

- La necessità di conciliare trend opposti ha incentivato lo sviluppo di numerose tecniche di combustione innovative, fra cui le più note sono:
- Homogeneous-Charge Compression Ignition
- **Low Temperature Gasoline Combustion (Spark Assisted)**
- Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI)

Spark Assisted LTGC

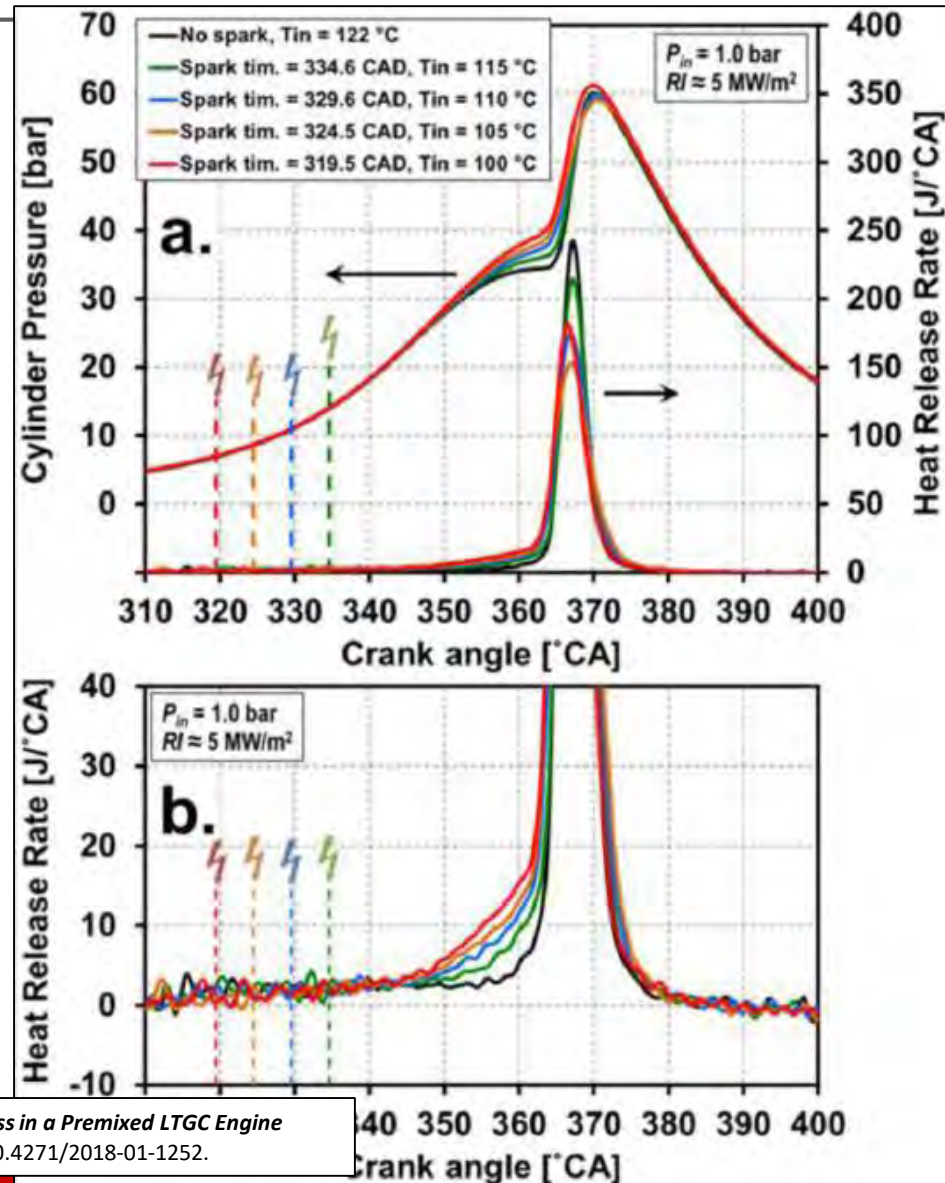
- L'utilizzo di una candela permette di aumentare la **stabilità** e la **ripetibilità** della combustione HCCL, estendendone il range di controllabilità (anche nel caso di utilizzo EGR).

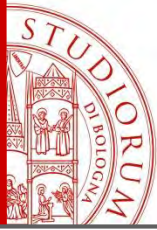




Spark Assisted LTGC

- L'utilizzo di una candela può essere combinato con un controllo della temperatura dell'aria in ingresso (entrambe le leve permettono di variare il tempo di ritardo all'auto-accensione del combustibile).



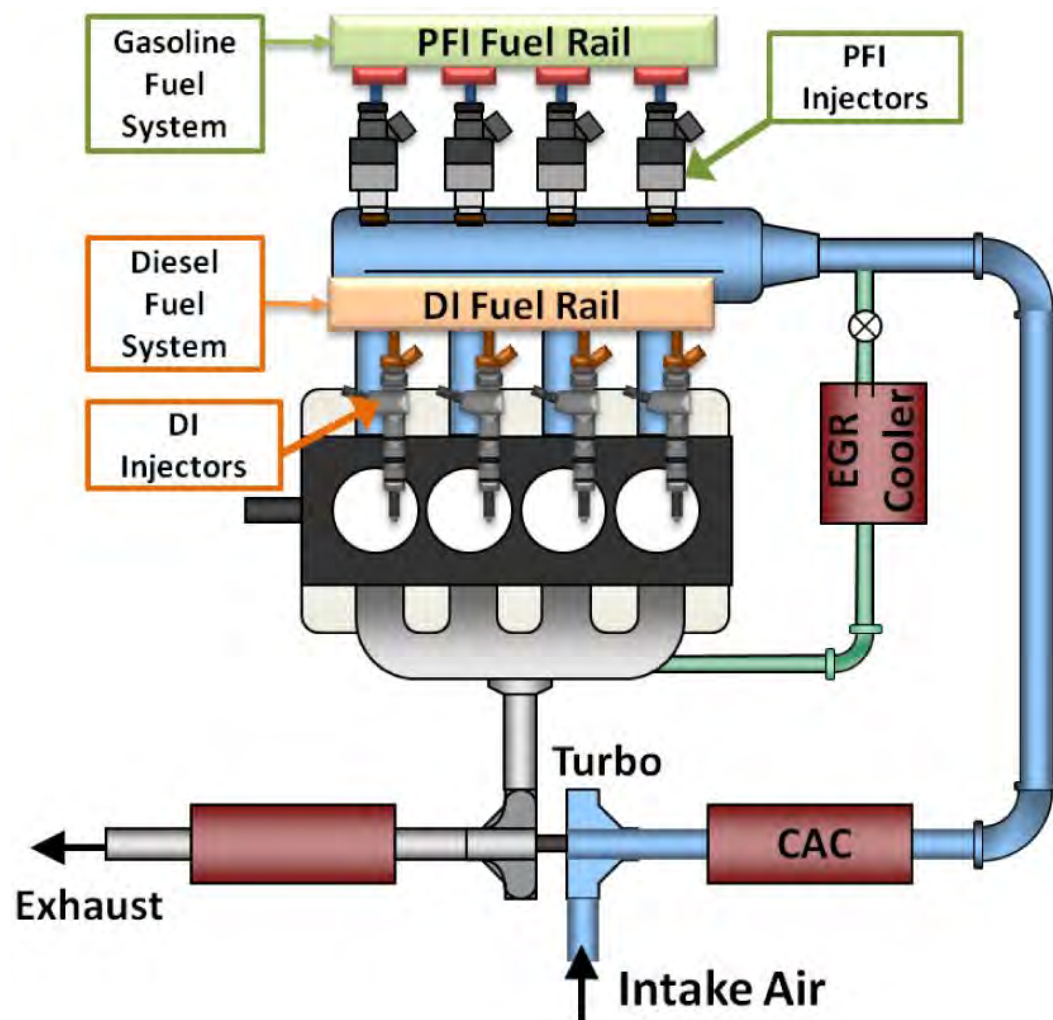


Combustioni LTC

- La necessità di conciliare trend opposti ha incentivato lo sviluppo di numerose tecniche di combustione innovative, fra cui le più note sono:
- Homogeneous-Charge Compression Ignition
- Low Temperature Gasoline Combustion (Spark Assisted)
- **Reactivity Controlled Compression Ignition (RCI)**

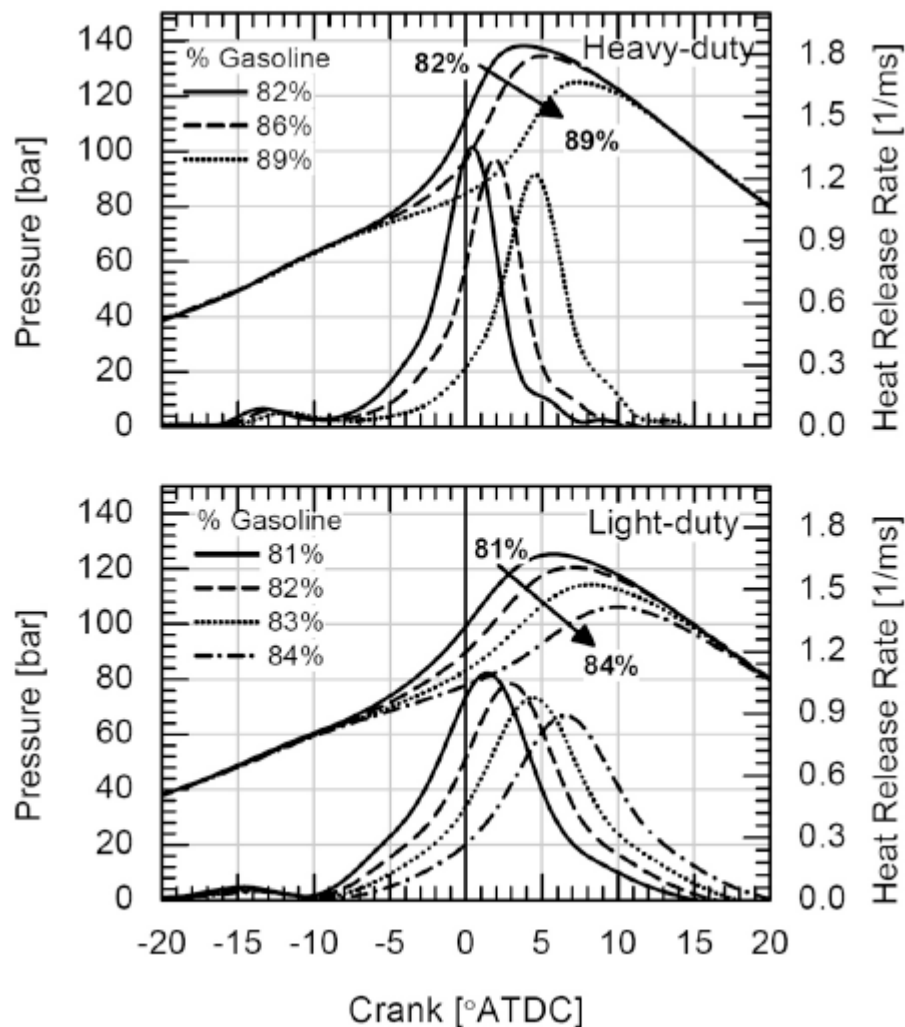
Combustione RCCI

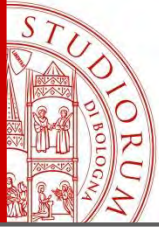
- Combustione «**dual-fuel**» di una **miscela aria/combustibile a bassa reattività** (es: *benzina*, iniezione **PFI**) attivata attraverso l'*auto-accensione* di un **combustibile ad alta reattività** (es: *gasolio*, iniezione **DI**)



Combustione RCCI

- La modalità di combustione può essere modificata in modo significativo anche variando il **rapporto fra le masse dei 2 combustibili introdotti** (a parità di energia totale).





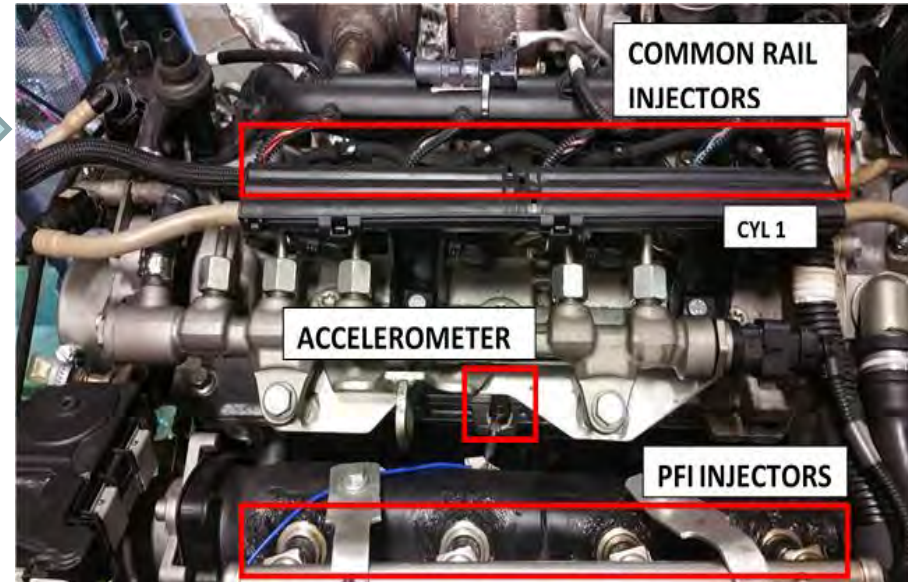
Outline

- Combustioni a bassa temperatura (LTC): vantaggi e criticità nella loro gestione
- **Layout sperimentale per il test della combustione RCCI in un motore ad accensione per compressione (Banco Prova UniBO)**
- Controllo in Closed-Loop della combustione RCCI:
 - Utilizzo del feedback di pressione cilindro
 - Utilizzo di accelerometri per la stima degli indici di combustione

Layout test RCCI @ UniBO

Motore Diesel 1.3L
Common-Rail Multi-Jet (SDE)

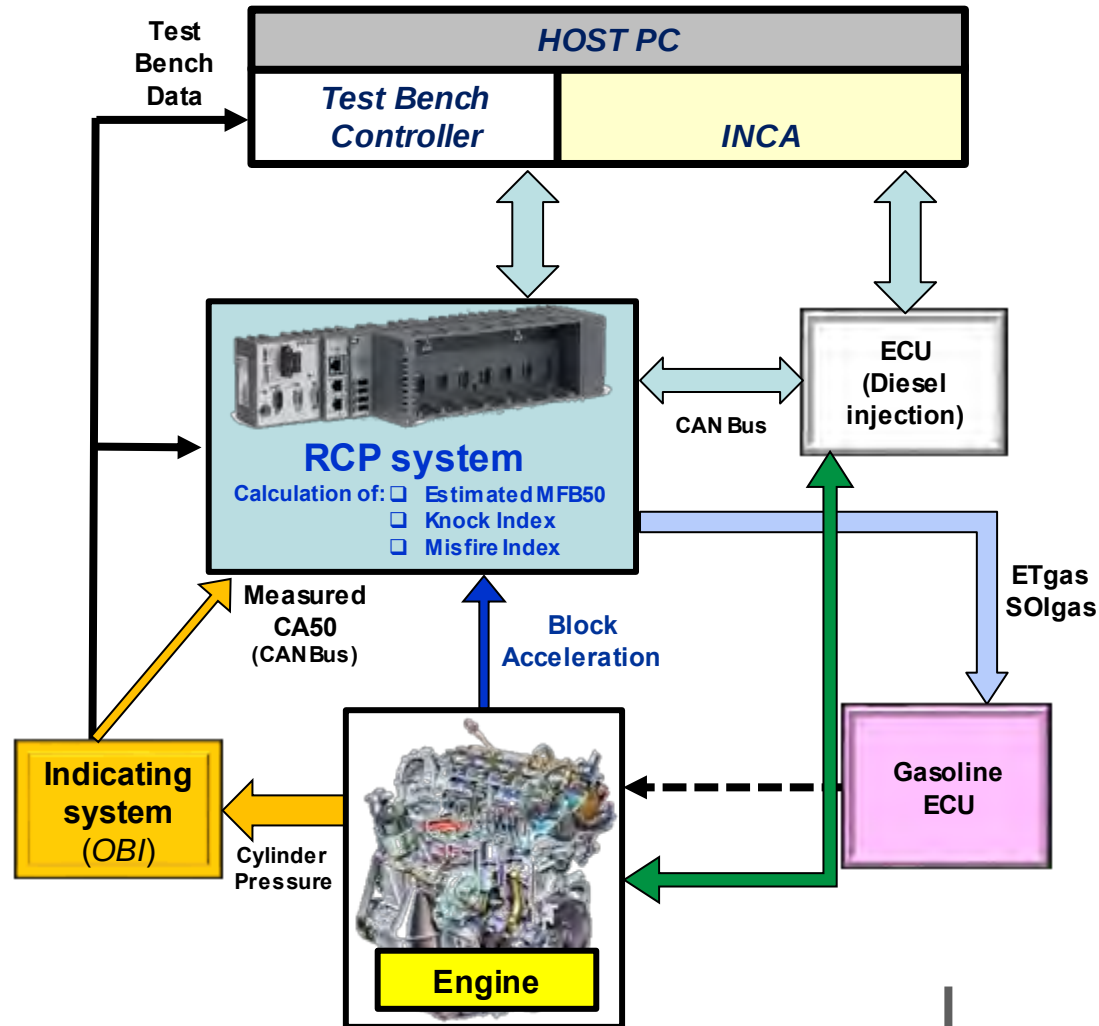
Collettore di aspirazione
modificato in modo da poter
alloggiare **un iniettore PFI**
(iniezione benzina) **per ogni**
runner di aspirazione

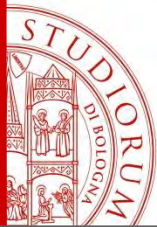


Layout test RCCI @ UniBO

Sistema RCP (Rapid Control Prototyping)

Sistema di controllo sviluppato per gestire in modo flessibile la contemporanea **iniezione** di **benzina** (PFI) e **Diesel** (DI)

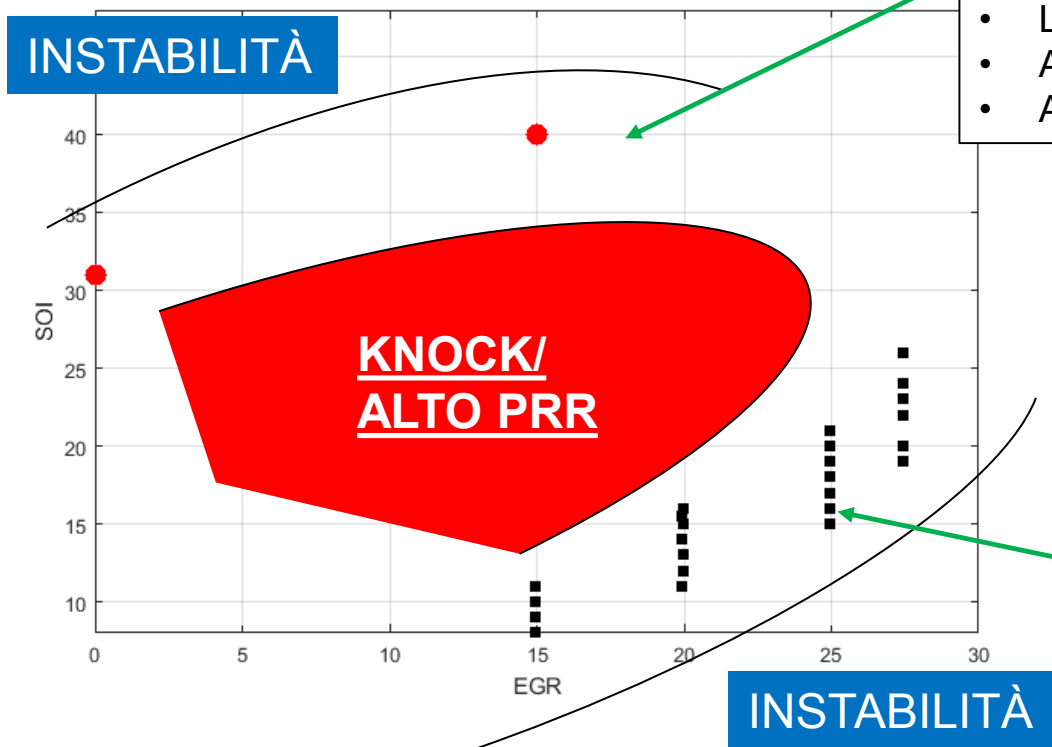




Layout test RCCI @ UniBO

Analisi combustione RCCI

2000 rpm e PME = 5 bar

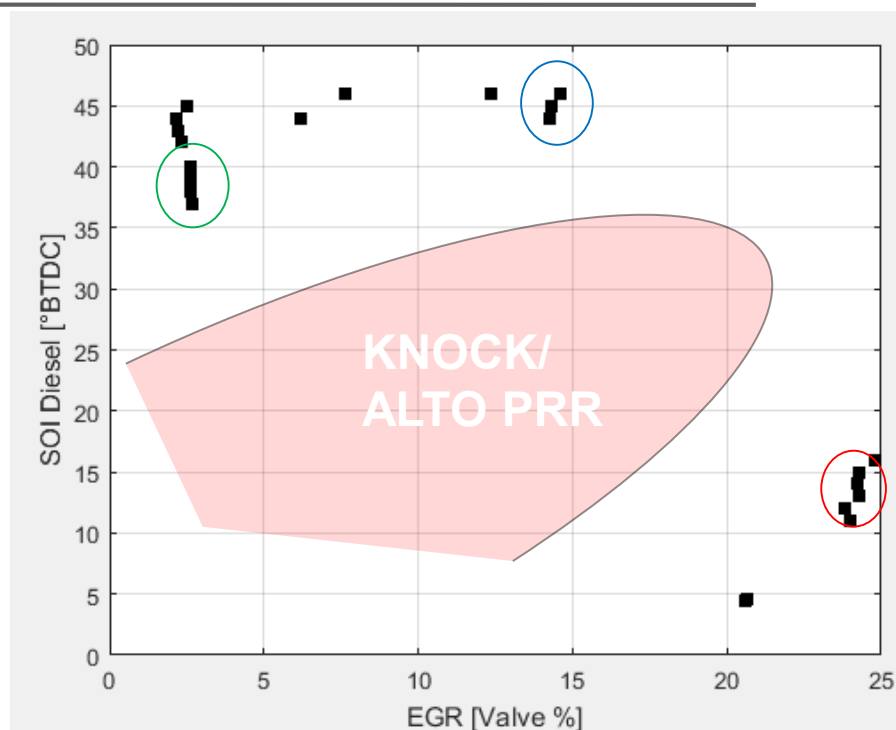


- correlazione diretta tra SOI_{main} ed MFB₅₀;
- BSFC paragonabile a CDC;
- FSN $\rightarrow 0$;
- NO_x - 80%;
- Lambda ~ 2 ;
- ALTO PRR (controllo CL con accelerometro?)
- ALTE COV;

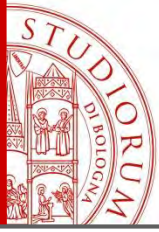
- correlazione ordinaria tra SOI_{main} ed MFB₅₀;
- BSFC maggiore rispetto a CDC;
- FSN $\rightarrow 0$;
- NO_x - 40%;
- Lambda $\sim 1.3 - 1.6$

Layout test RCCI @ UniBO

- Potenziale di riduzione di **emissioni /BSFC** associato all'utilizzo della modalità RCCI (2000 rpm e $PME = 5 \text{ bar}$)

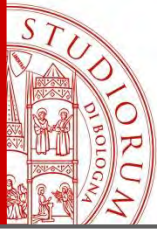


	EGR [%] – VGT [%]	BSFC [kg/kWh]	FSN [-]	NOX [ppm]	HC [ppm]
CDC		0.27	1.28	140	13
DUAL-FUEL 1	25 - 87	0.284	0.01	97	118
DUAL-FUEL 2	15 - 65	0.25	0.02	26	156
DUAL-FUEL 3	0 - 40	0.26	0	45	145

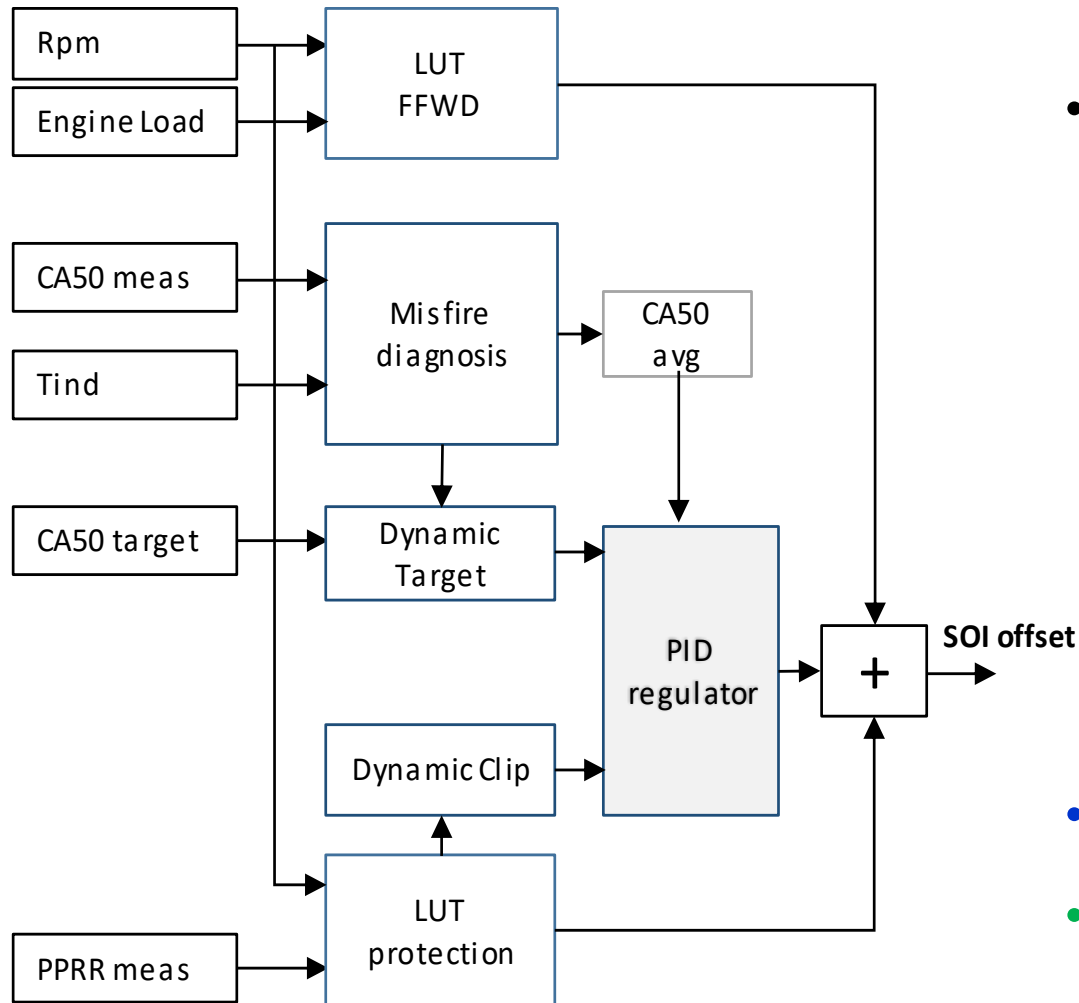


Outline

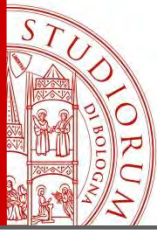
- Combustioni a bassa temperatura (LTC): vantaggi e criticità nella loro gestione
- Layout sperimentale per il test della combustione RCCI in un motore ad accensione per compressione (Banco Prova UniBO)
- **Controllo in Closed-Loop della combustione RCCI:**
 - Utilizzo del feedback di pressione cilindro
 - Utilizzo di accelerometri per la stima degli indici di combustione



Controllo Combustione (Pcyl)

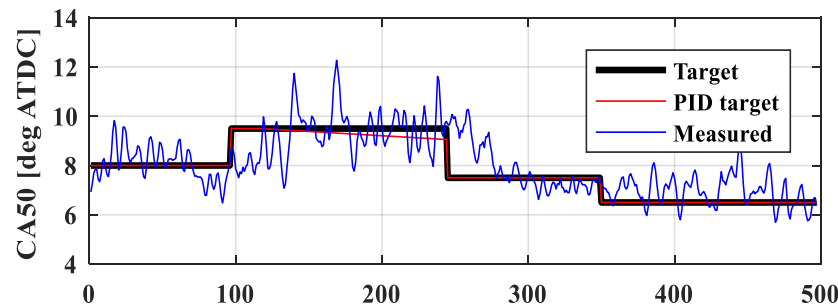


- Controllo della combustione che modifica RT lo **Start of Injection** (SOI Diesel) in modo da mantenere il **baricentro della combustione (MFB50)** ad un valore obiettivo.
- **Controllo Knock**
- **Misfire check**

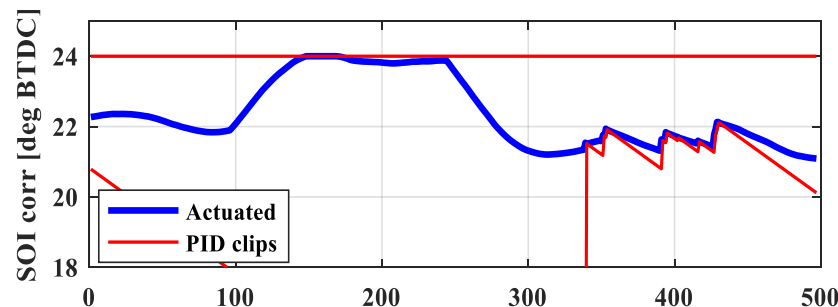


Controllo Combustione (Pcyl)

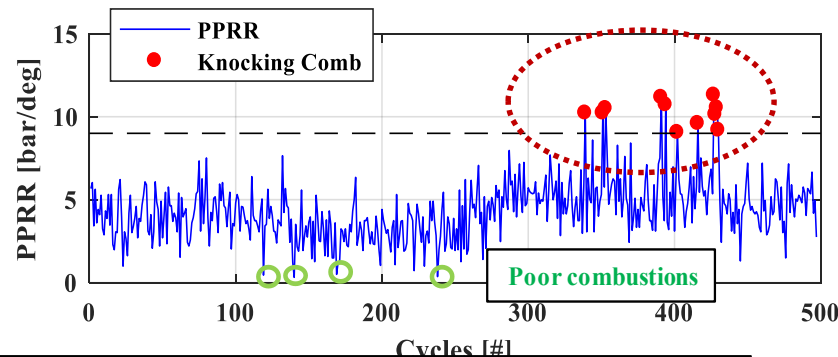
CA50 target e
feedback (target steps)

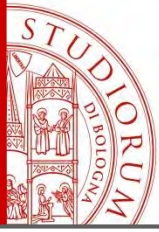


Il controllo non è in grado di raggiungere il proprio target nel caso in cui si verificano eventi di **protezione** per **alto PPRR** o **misfire**



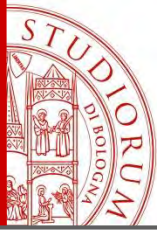
Saturazione del controllo MFB50 per alto PPRR (knock)





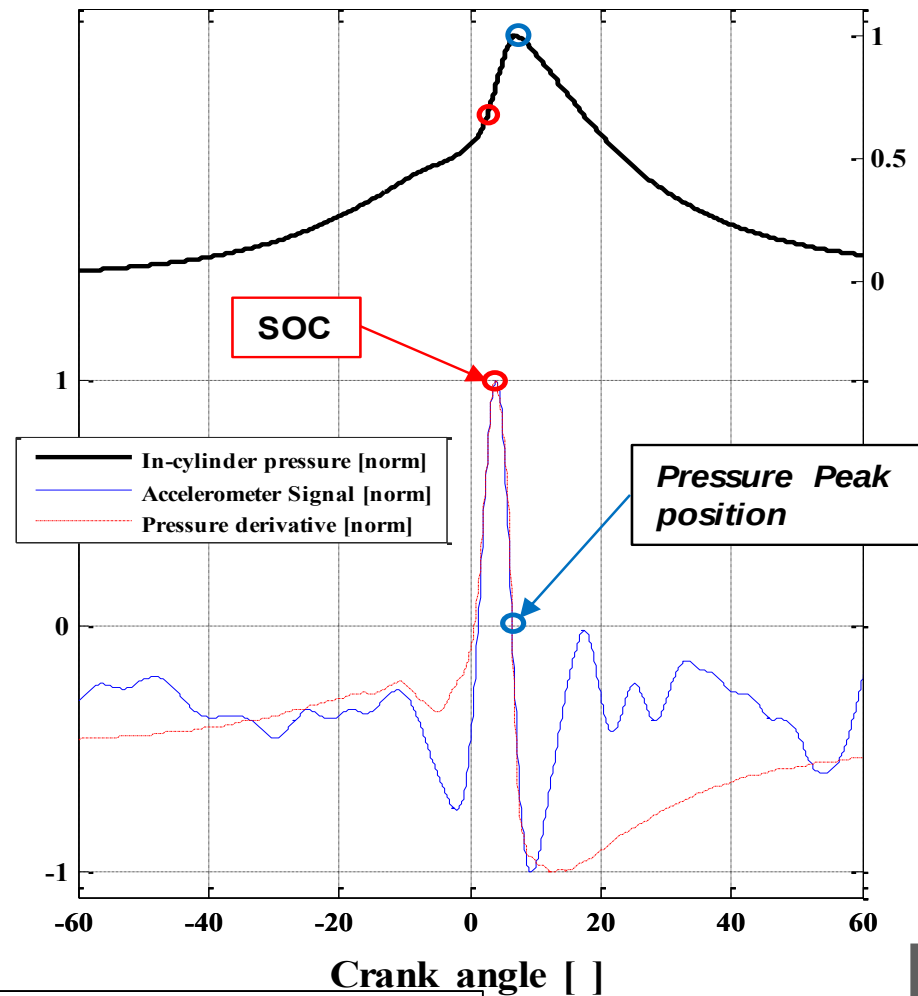
Outline

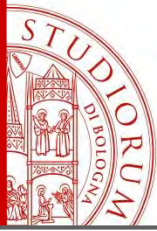
- Combustioni a bassa temperatura (LTC): vantaggi e criticità nella loro gestione
- Layout sperimentale per il test della combustione RCCI in un motore ad accensione per compressione (Banco Prova UniBO)
- **Controllo in Closed-Loop della combustione RCCI:**
 - Utilizzo del feedback di pressione cilindro
 - Utilizzo di accelerometri per la stima degli indici di combustione



Controllo Combustione (Acc)

- L'informazione proveniente da uno o più **accelerometri** installati sul blocco motore viene utilizzata per stimare:
 - **MFB50** (zero-crossing)
 - **Indice di Knock** (indice integrale)
 - **Misfire** (indice integrale)

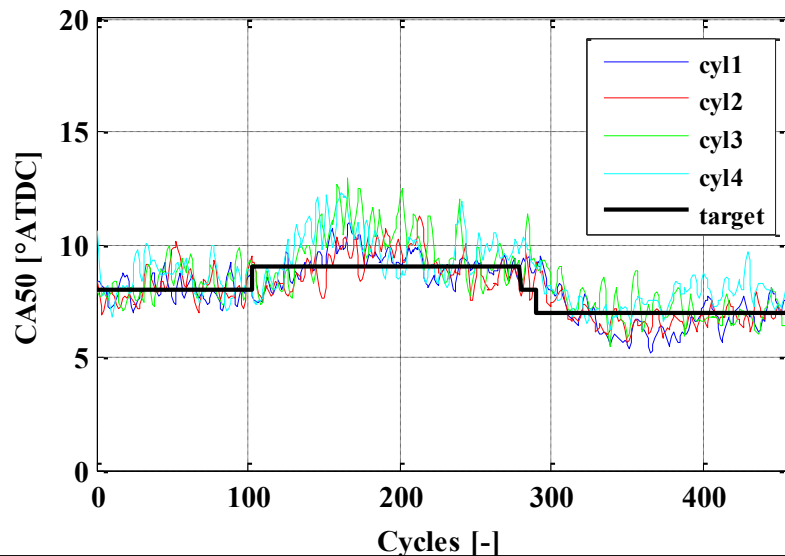




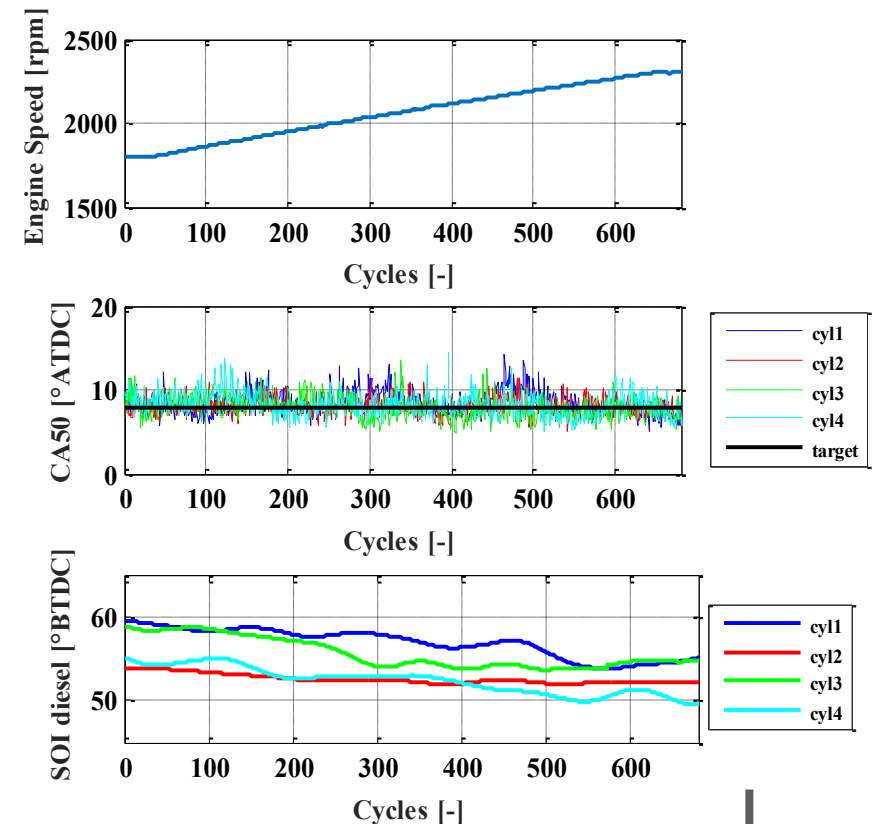
Controllo Combustione (Acc)

- Validazione sperimentale della strategia di controllo (combustione RCCI):

Stazionario (target step)



Transitorio





Giornata di Studio “Giorgio Minelli” sui Motori a Combustione Interna

Vittorio Ravaglioli

Università di Bologna

DIN – Dipartimento di Ingegneria Industriale

vittorio.ravaglioli2@unibo.it