

**AVL Customers' Meeting 2011**  
**Esperienze di Applicazioni**  
**16 Novembre 2011**

# **Analisi della detonazione in motori automobilistici sovralimentati**

F. Millo

Politecnico di Torino, Italia



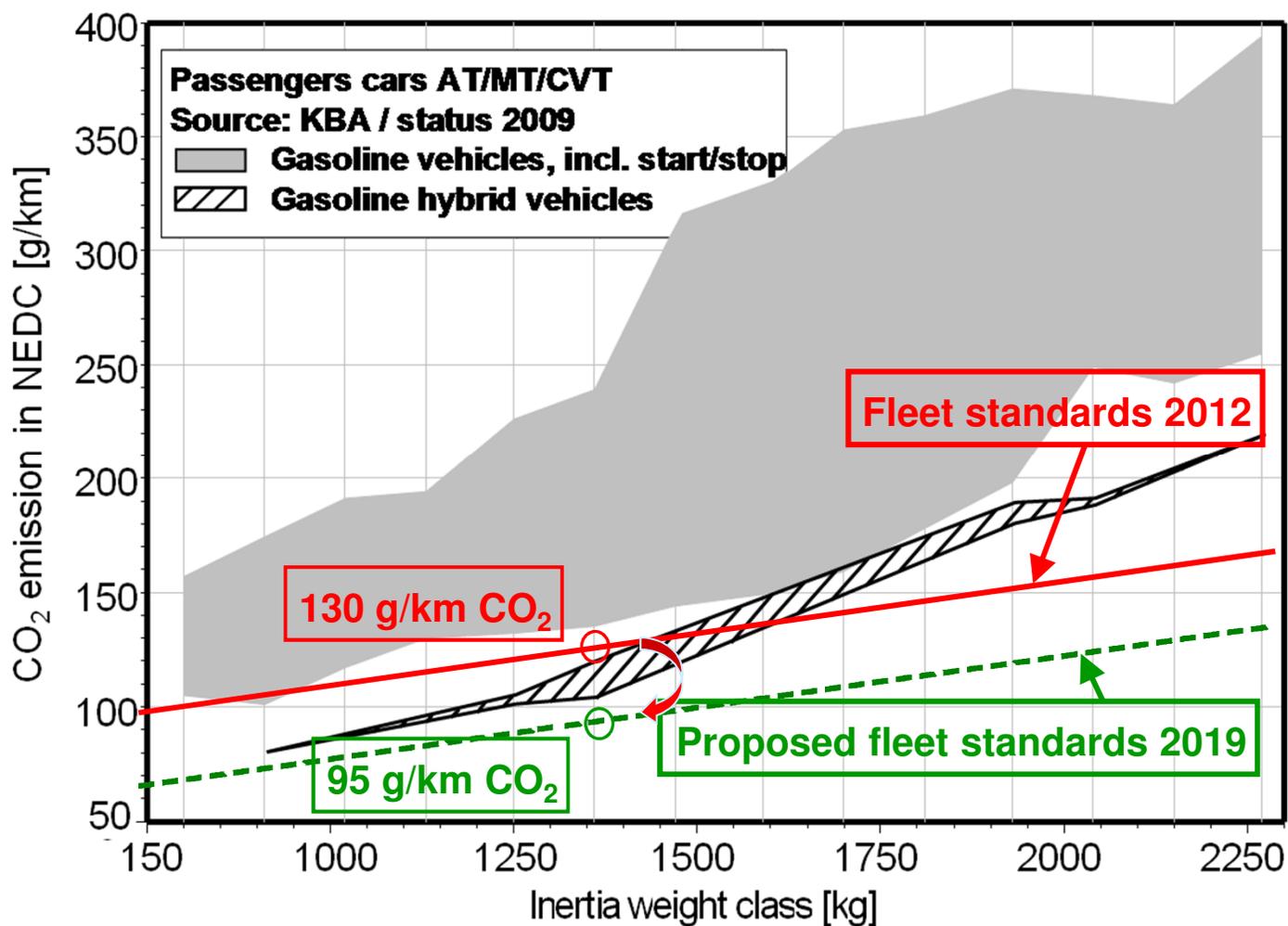
**Politecnico di Torino**

# Sommario

- Introduzione
- Apparato Sperimentale
- Risultati Sperimentali
- Conclusioni

# Introduzione

Gli obiettivi di riduzione della CO<sub>2</sub>



130 g/km by 2012 → 95 g/km by 2019

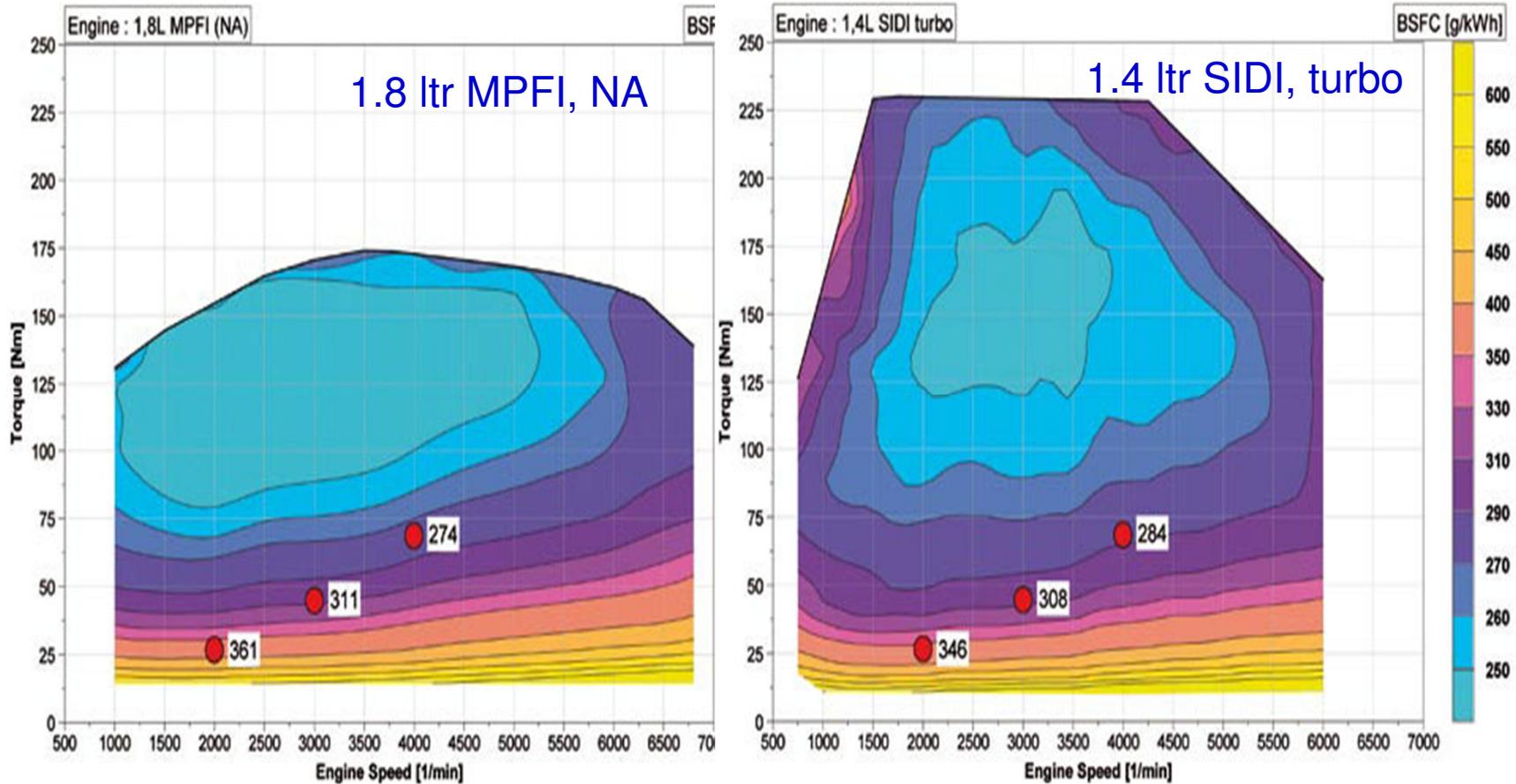
# Introduzione

Tecnologie per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nei motori ad accensione comandata:

- “Downsizing” & Sovralimentazione
- Iniezione diretta benzina
- Attuazione valvole
- Elettrificazione & Ibridizzazione
- .....

# Introduzione

## “Downsizing” & Sovralimentazione

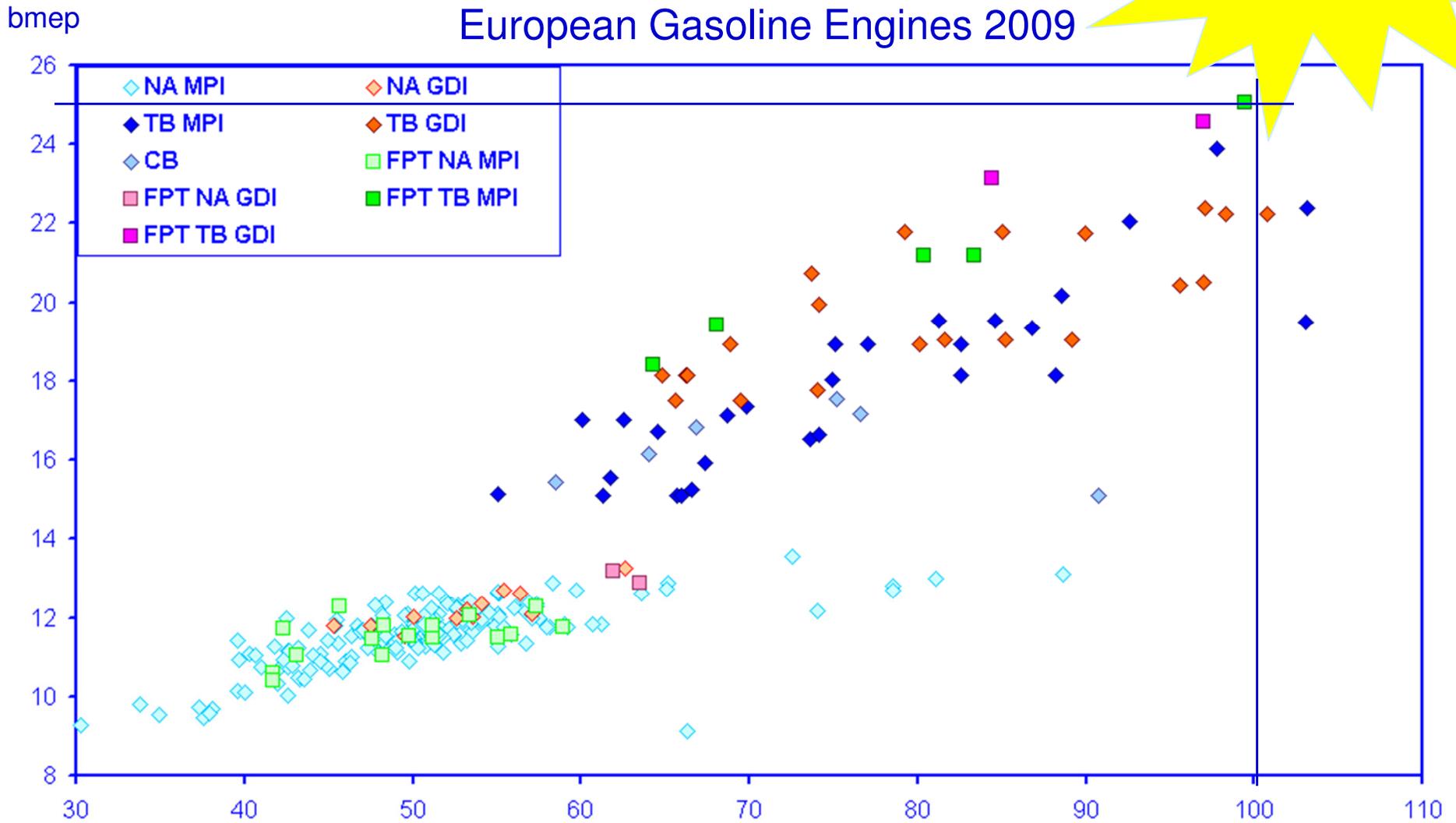


L'impiego di una cilindrata ridotta consente di incrementare il livello di carico del motore e di conseguenza il rendimento nelle condizioni di carico parziale tipiche del ciclo NEDC.

Fonte: *Differentiated Analysis of Downsizing Concepts*,  
Königstein et al., MTZ, 06|2008 Volume 69

# Introduzione

Bmep vs. Specific Brake Power  
European Gasoline Engines 2009

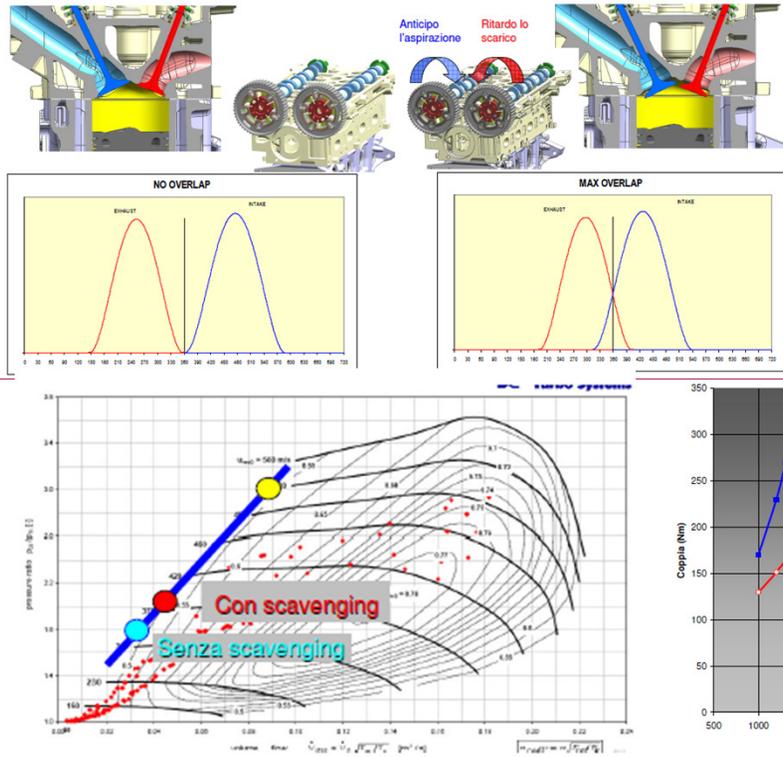


Fonte: *Indagine sui principali parametri prestazionali nei motori ad accensione comandata autoveicolistici di attuale produzione*, P. Paniccia, BSc Thesis, Politecnico di Torino, 2009

Specific Brake Power  
kW / dm<sup>3</sup>

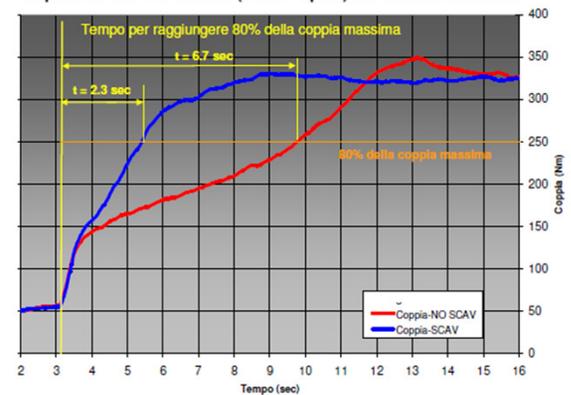
# Introduzione

## “SCAVENGING”



Tempo 60-100 km/h: SCAV: 10.3 sec  
NO SCAV: 12.3 sec

Ripresa da 60 km/h (1450 rpm) in sesta marcia



(Fonte: Andriese et al. *The New 1.8 ltr DI Turbo-Jet Gasoline Engine from FPT*, 17. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik, 2008)

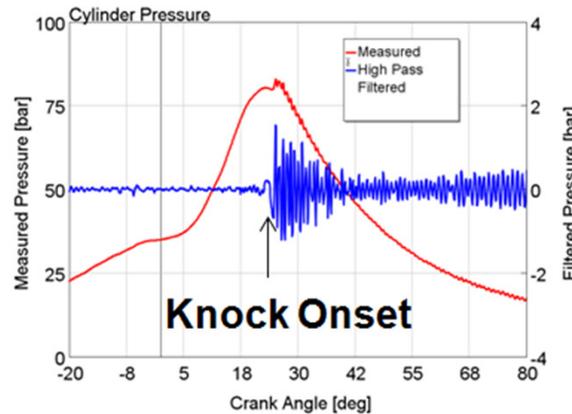
L'impiego dell'iniezione diretta consente di ottenere una riduzione della richiesta ottanica del motore, permettendo così di incrementare il rapporto di compressione, la pressione di sovralimentazione e l'anticipo di accensione, e di raggiungere così significativi incrementi delle prestazioni, consentendo così l'adozione di un notevole “downsizing”.

Tuttavia l'erogazione di coppia ai bassi regimi è generalmente limitata dalla caratteristica del compressore.

L'impiego dell'iniezione diretta, unitamente alla fasatura variabile, consente di ottenere un effetto di lavaggio, o “scavenging” della camera di combustione, con un notevole incremento del livello di sovralimentazione ottenibile ai bassi regimi.

# Introduzione

## Detonazione

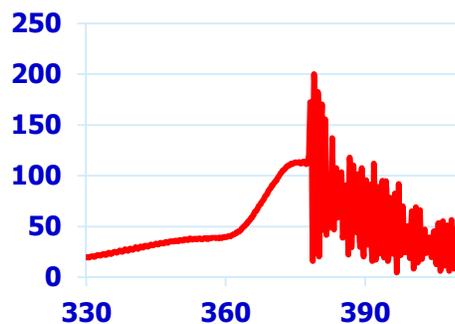


Detonazione di media intensità:

- puo' provocare danni per fatica a caldo a candela, segmenti, pistone.
- e' controllabile tramite interventi di riduzione dell'anticipo

Gli interventi precedentemente descritti volti ad incrementare l'erogazione di coppia ai bassi regimi aumentano notevolmente il rischio di detonazione.

Inoltre il notevole aumento della densità di energia per unità di volume della carica porta ad un aumento della pericolosità dell'anomalia di combustione per l'integrità del motore.



“Mega knock”:

- combustione anomala di notevole intensità, spesso causata da una degenerazione della detonazione in preaccensione
- in grado di provocare danni immediati su candela, segmenti, pistone;
- non controllabile tramite riduzione anticipo



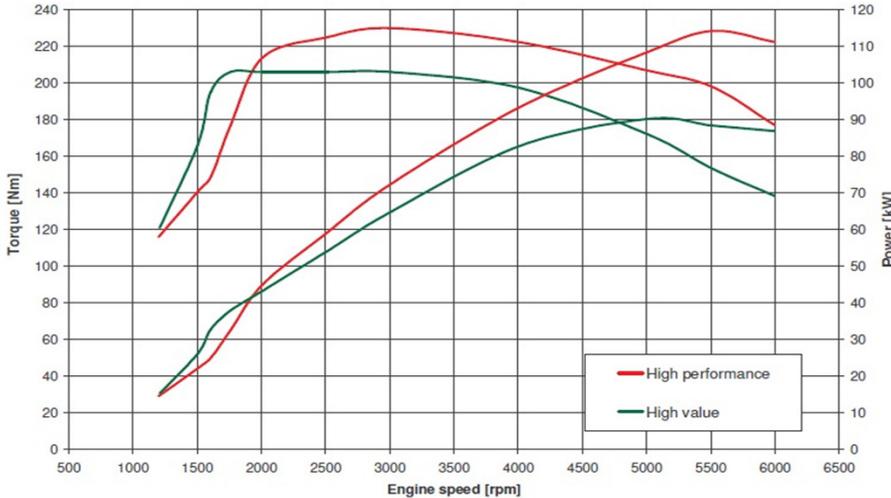
# Sommario

- Introduzione
- Apparato Sperimentale
- Risultati Sperimentali
- Conclusioni

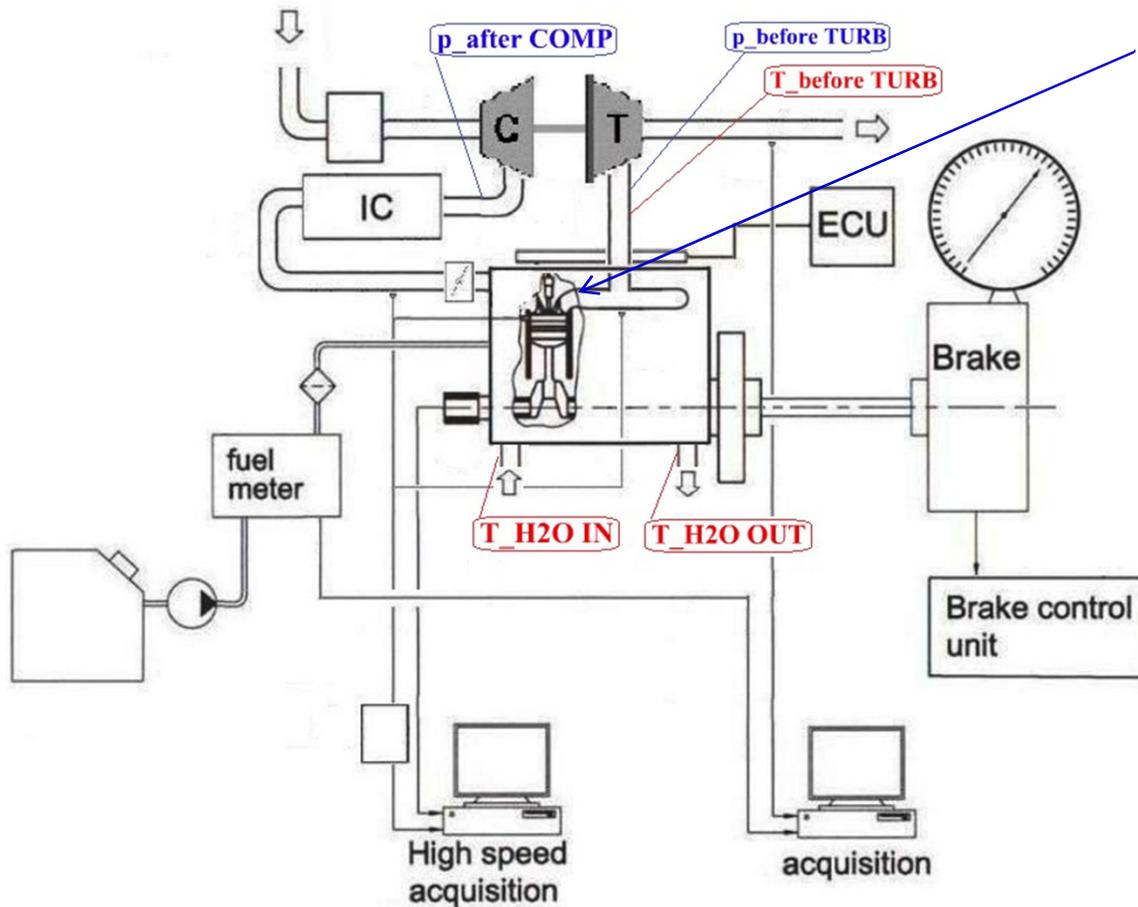
# Apparato sperimentale



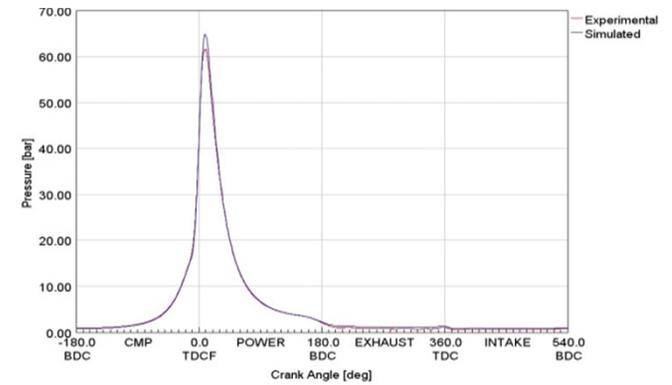
<b>Motore</b>	<b>4T, acc. com., sovralim.</b>
<b>N. cilindri</b>	<b>4 - in linea</b>
<b>Cilindrata</b>	<b>1368 cm<sup>3</sup></b>
<b>Alesaggio</b>	<b>72 mm</b>
<b>Corsa</b>	<b>84 mm</b>
<b>Rapporto di compr.</b>	<b>9.8 : 1</b>
<b>Potenza max.</b>	<b>113 kW @ 5500 rpm</b>
<b>Coppia max.</b>	<b>230 Nm @ 3000 rpm</b>
<b>Alimentazione comb.</b>	<b>PFI</b>



# Apparato sperimentale



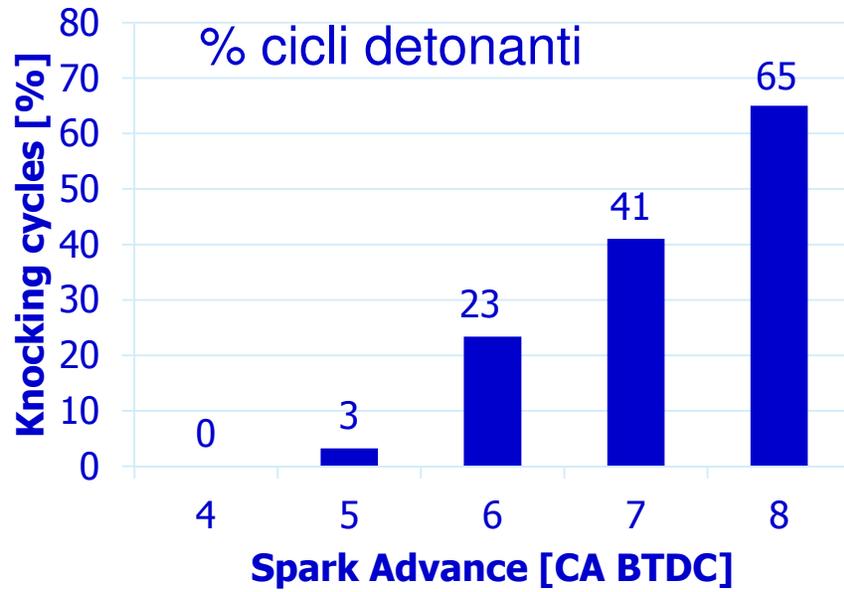
**AVL ZI31**  
(spark-plug integrated pressure transducer)



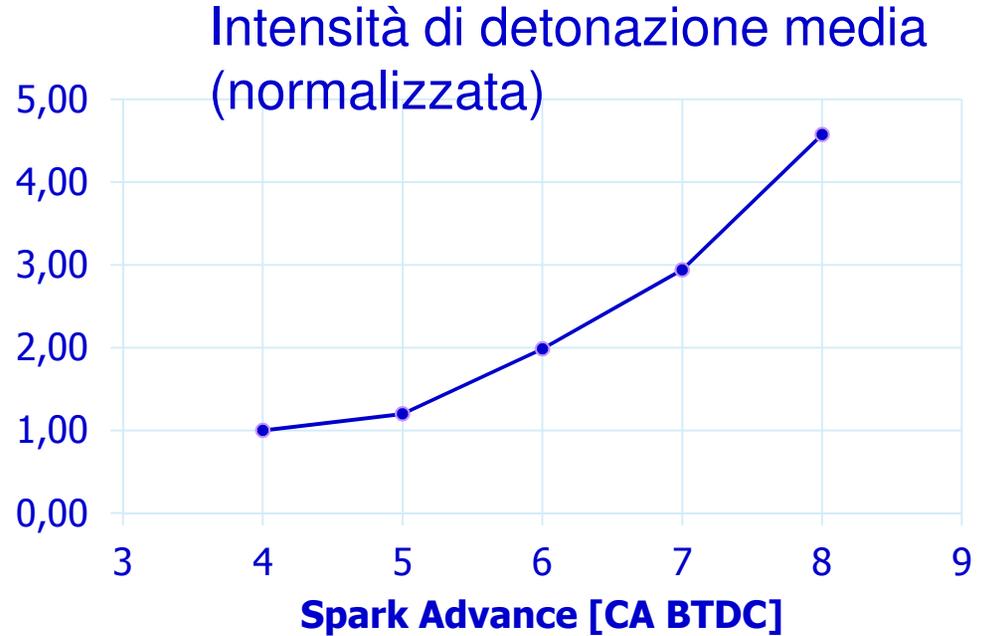
# Sommario

- Introduzione
- Apparato Sperimentale
- Risultati Sperimentali
- Conclusioni

# Risultati sperimentali

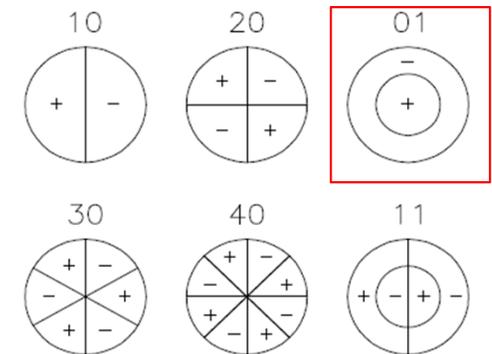
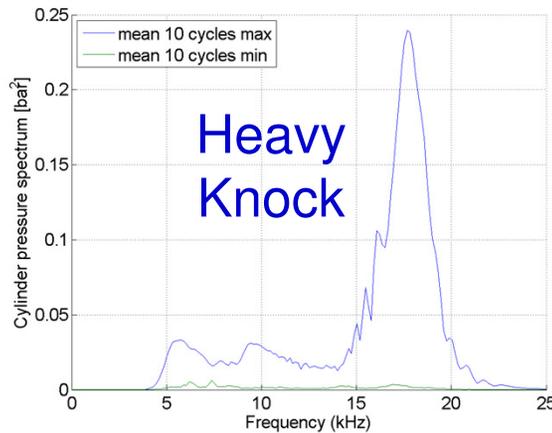
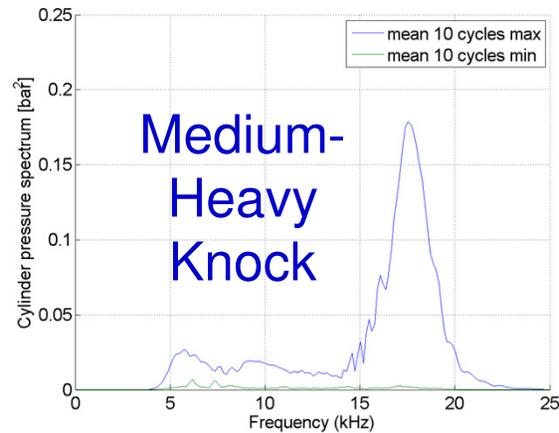
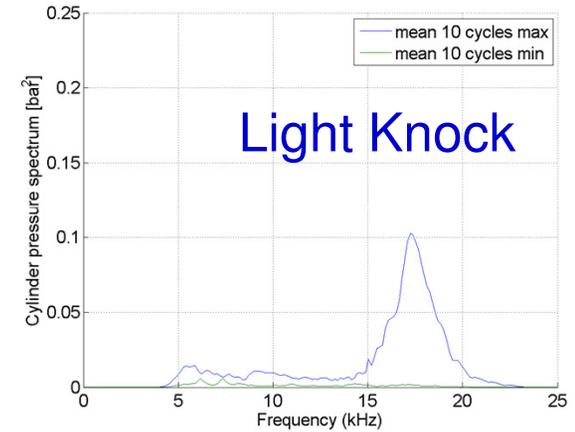
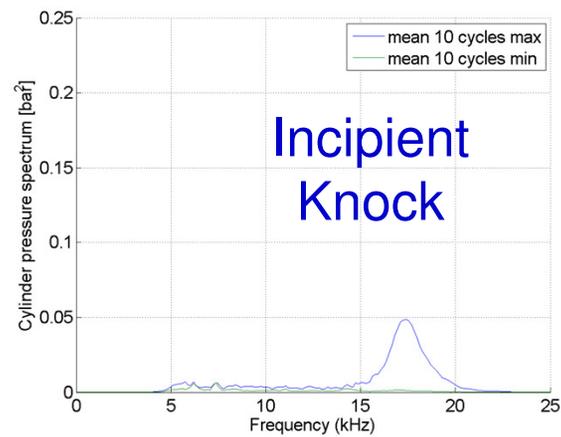
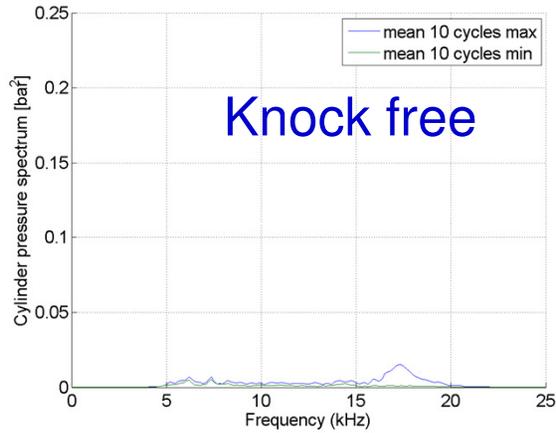


2500 rpm, WOT,  $\lambda = 0.95$



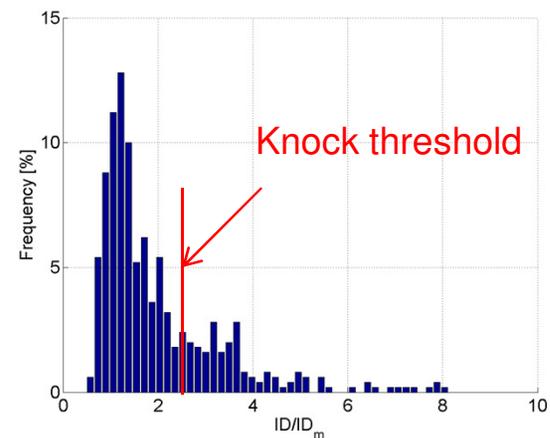
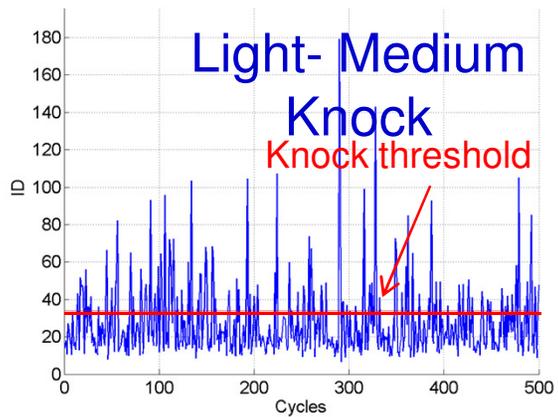
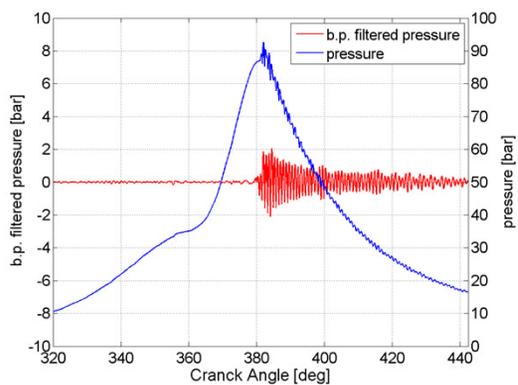
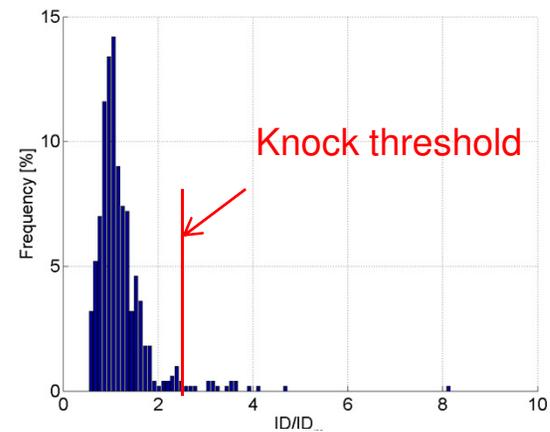
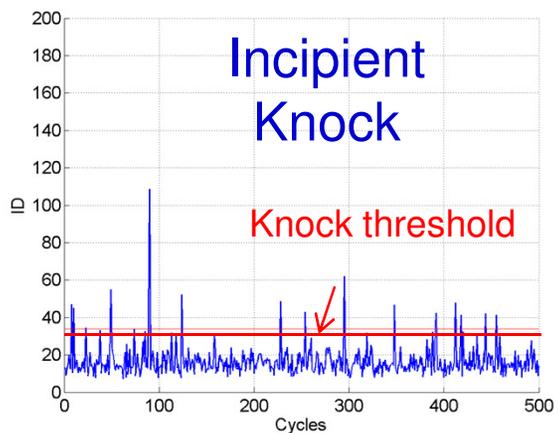
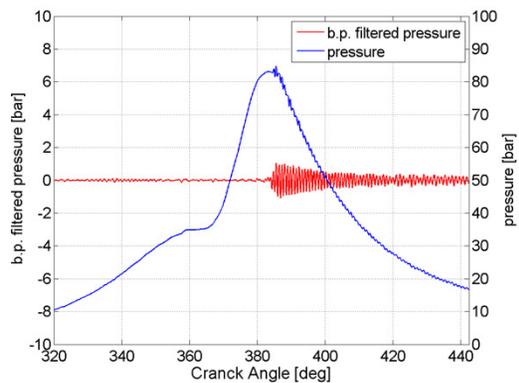
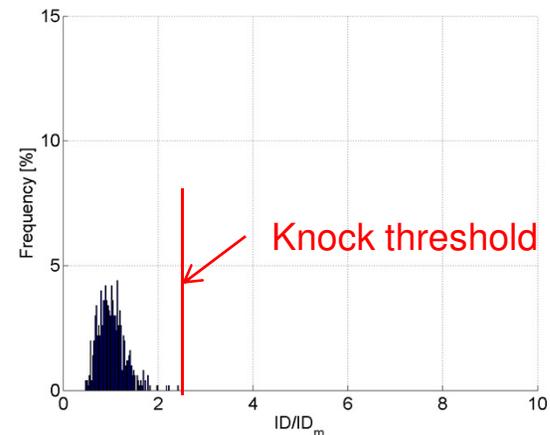
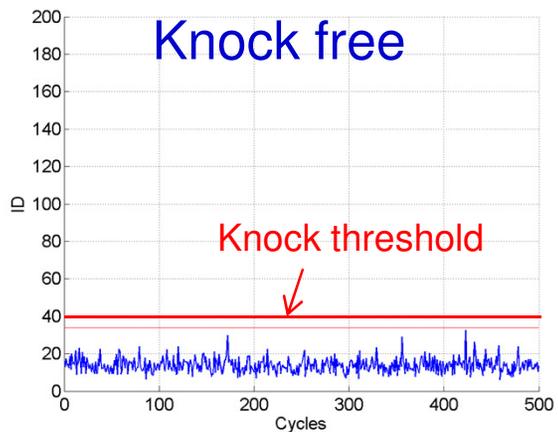
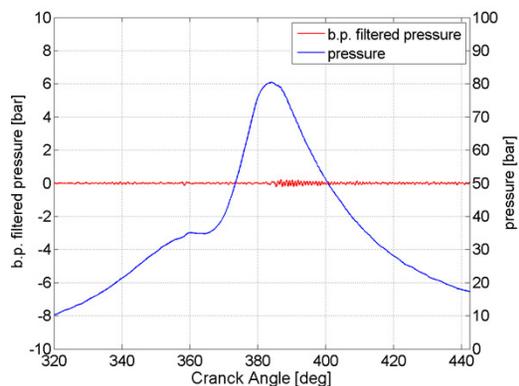
# Risultati sperimentali

## Analisi spettrale del segnale di pressione



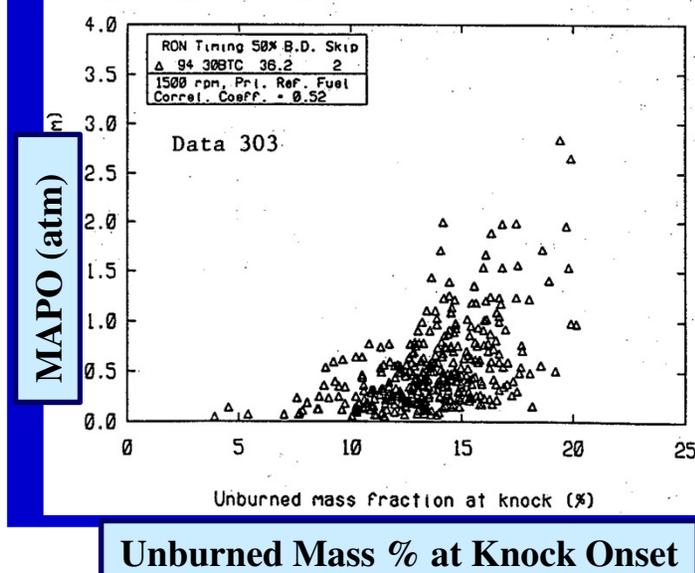
$f_{m,n} [kHz]$	$f_{1.0}$	$f_{2.0}$	$f_{0.1}$	$f_{3.0}$	$f_{4.0}$
$f. teorica$	8.1	13.5	16.9	18.6	23.5

# Risultati sperimentali

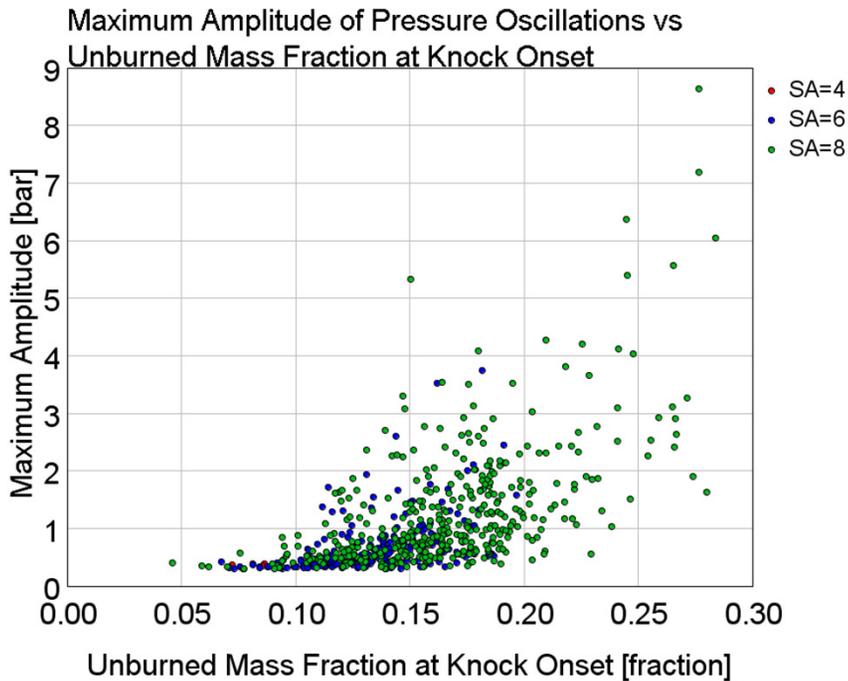
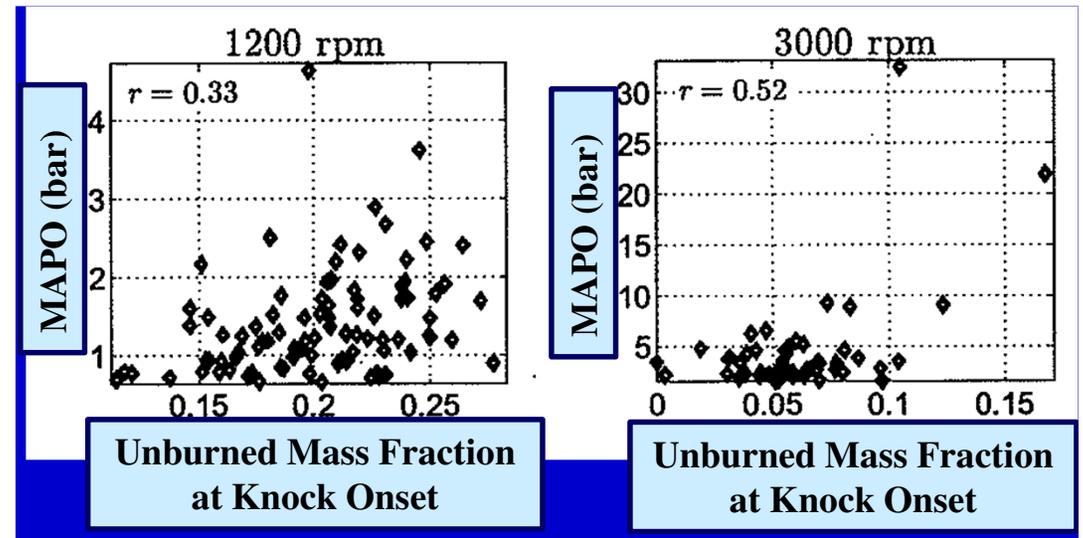


# Risultati sperimentali

Chun, Heywood, SAE-890156



Borg, Alkidas, SAE-2008-01-1088

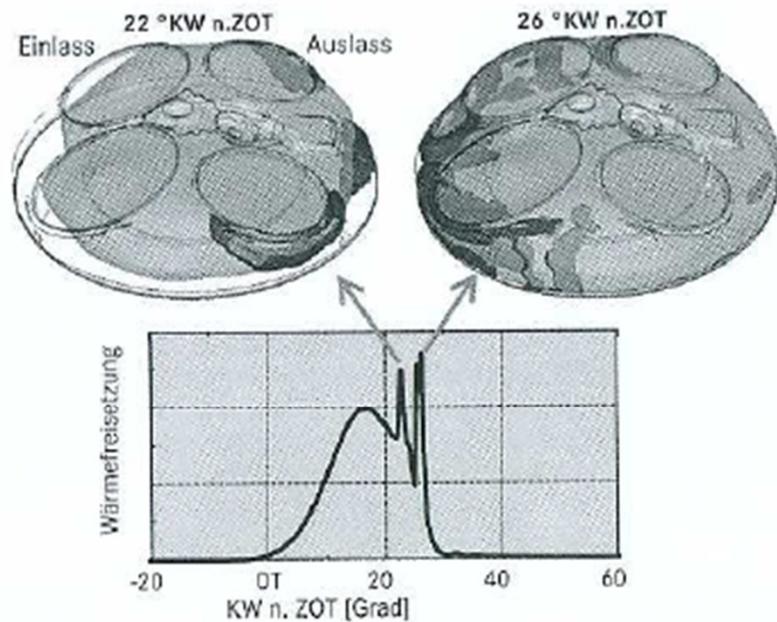


Assenza di correlazione tra intensità di detonazione e frazione di massa incombusta all'istante dell'autoaccensione dell'end gas, in buon accordo con risultati riportati in letteratura

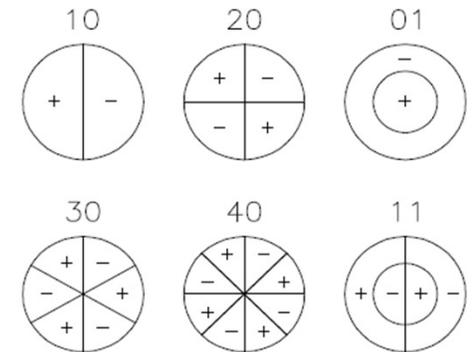
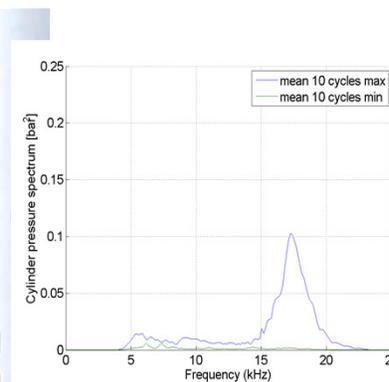
# Risultati sperimentali

Assenza di correlazione tra intensità di detonazione e frazione di massa incombusta all'istante dell'autoaccensione dell'end gas

Possibile spiegazione: non tutto l'end-gas si autoaccende simultaneamente, come ipotizzato da alcuni ricercatori, oppure l'energia associata al moto vibratorio del gas



si concentra in modi di vibrare caratterizzati da linee nodali diametrali, non valutabili adeguatamente con un trasduttore integrato in candela



Darstellung von Wärmefreisetzung (unten), sowie Flammfront (hell) und klopfgefährdeten Gebieten (dunkel) im Brennraum bei 2 unterschiedlichen Kurbelwinkeln (oben).

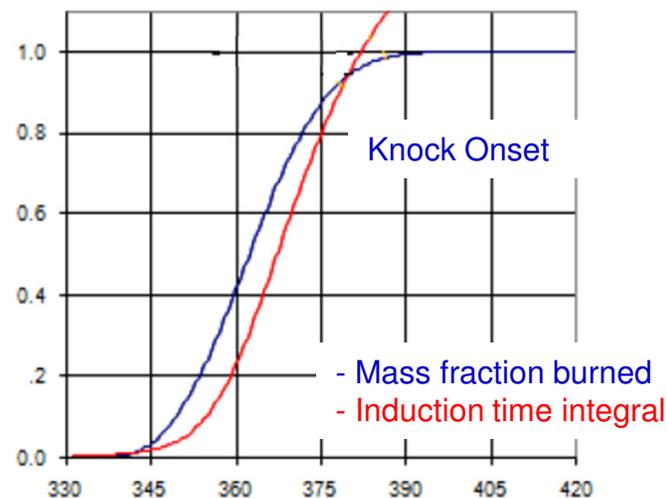
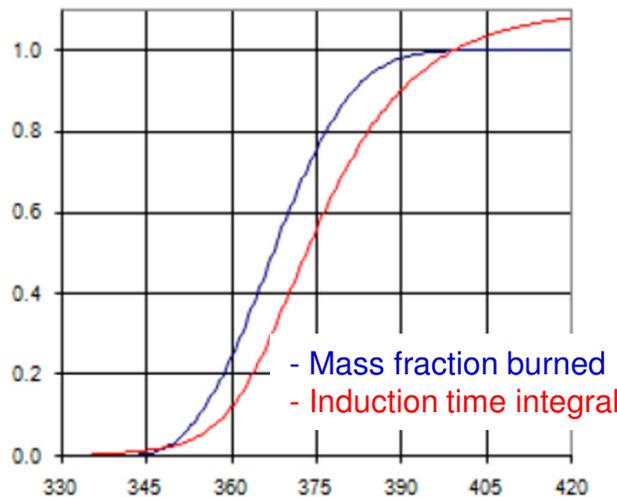
Fonte: Altenschmidt et al.,  
IAV Knock Conf., Berlin, nov. 2011

# Risultati sperimentali

## Modelli semi-empirici per la previsione della detonazione

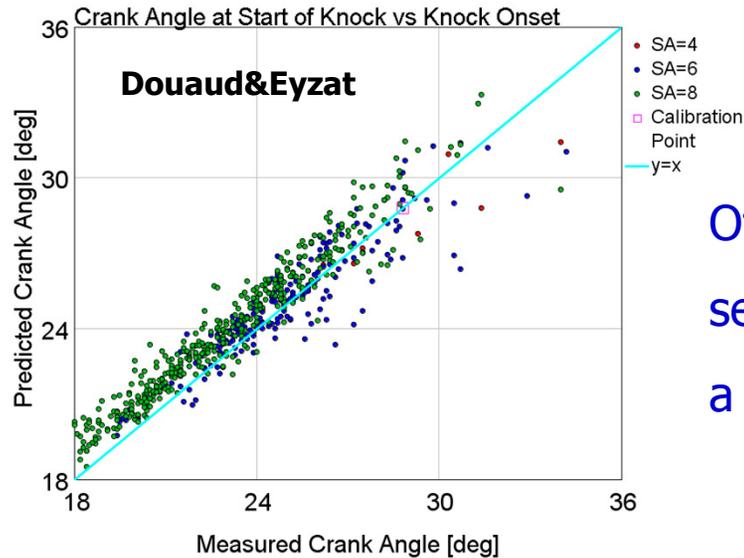
- I modelli semiempirici piu' diffusi per la previsione dell'insorgere della detonazione sono basati sulla valutazione dell'esaurimento del tempo di induzione tramite il calcolo dell'integrale del ritardo di accensione della miscela  $\int 1/\tau dt = 1$
- Differenti modelli sono disponibili in letteratura (Douaud&Eyzat, Franzke, Worret)

$$I(\alpha) = \frac{1}{6 [RPM]} \int_{IVC}^{\alpha} \frac{1}{M_1 5.72 \cdot 10^6 \left(\frac{ON}{100}\right)^{3.402} p^{-1.7} \exp\left(\frac{3800}{M_2 T}\right)} d\alpha$$

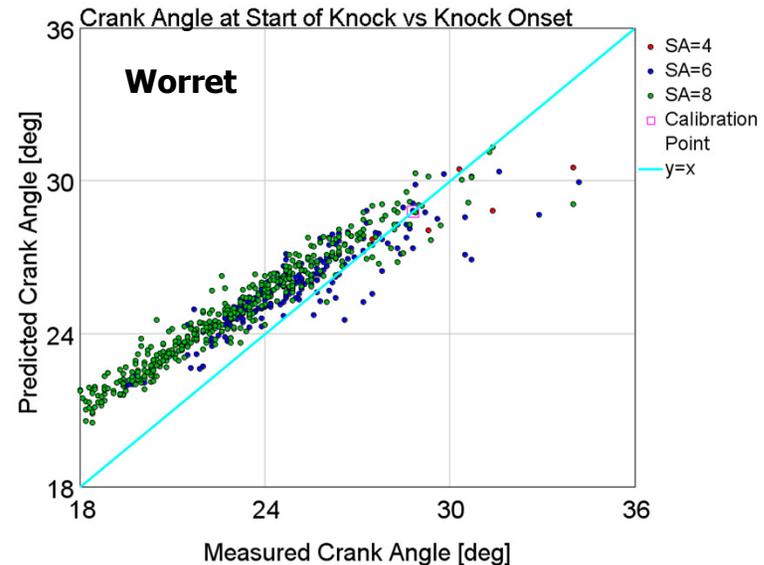
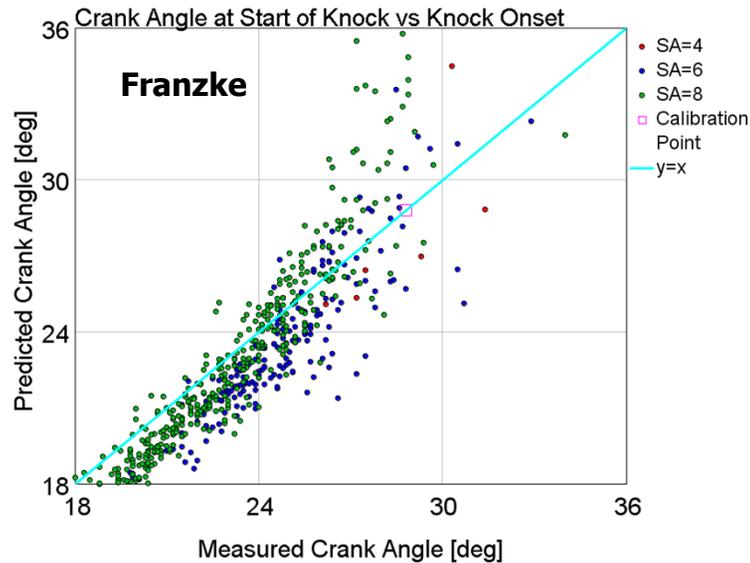


# Risultati sperimentali

## Previsione a calcolo rispetto a valore misurato



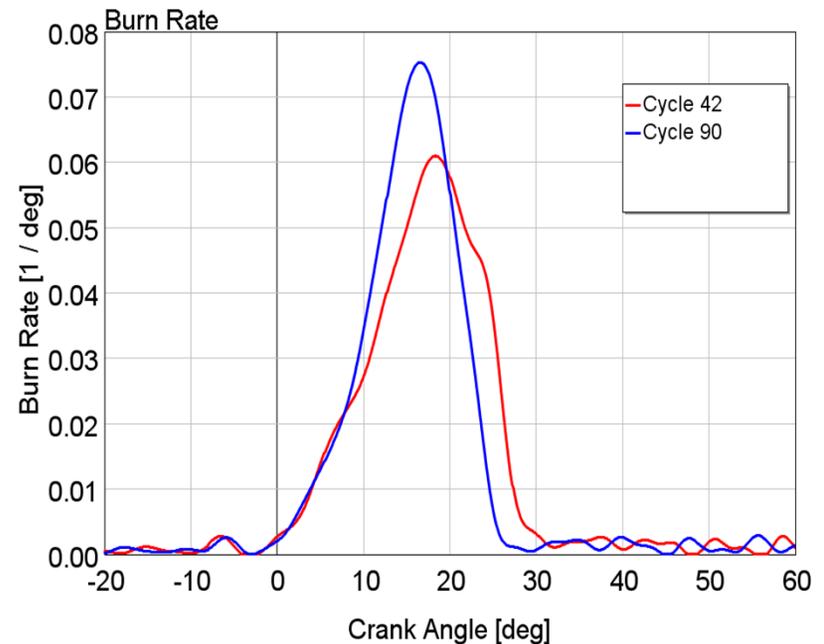
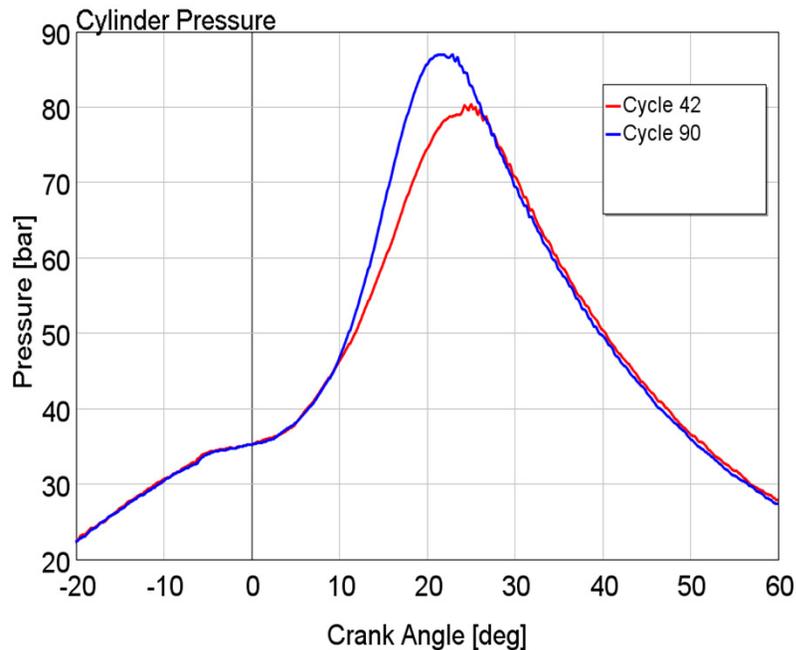
Ottima correlazione con la previsione a calcolo secondo il modello di Douaud&Eyzat dell'angolo a cui si verifica l'autoaccensione dell'end gas.



# Risultati sperimentali

La combustione in questi 2 cicli è inizialmente simile, per poi divergere dopo che circa il 15 % della miscela è bruciata.

Possibile disomogeneità della miscela ?



Ciclo	MAPO (bar)	Knock Onset (deg ATDC)	Unburned Mass Fraction at KO	Knock Onset CA (Douaud&Eyzat)
42	0.59	23.7	0.14	24.8
90	0.51	22.3	0.08	22.0

# Sommario

- Introduzione
- Apparato Sperimentale
- Risultati Sperimentali
- Conclusioni

## Conclusioni

- Le caratteristiche del fenomeno detonazione nei moderni motori automobilistici sovralimentati sono simili a quelle ben note dei motori aspirati, ma sono generalmente caratterizzati da una più rapida transizione a condizioni di detonazione di intensità tale da danneggiare immediatamente il motore, raggiungendo picchi di pressione superiori ai 200 bar.
- L'assenza di correlazione tra intensità di detonazione e frazione di massa incombusta all'istante dell'autoaccensione dell'end gas richiede ulteriori indagini.
- Per contro, la previsione dell'insorgere della detonazione tramite semplici modelli semiempirici come il modello di Douaud&Eyzat può fornire valutazioni attendibili.
- Ulteriori indagini sono necessarie per chiarire l'importanza di eventuali disuniformità della miscela che possono essere significative anche in motori PFI.

**AVL Customers' Meeting 2011**  
**Esperienze di Applicazioni**  
**16 Novembre 2011**

# **Analisi della detonazione in motori automobilistici sovralimentati**

## **GRAZIE PER L'ATTENZIONE !**



F. Millo  
Politecnico di Torino, Italia



**Politecnico di Torino**