

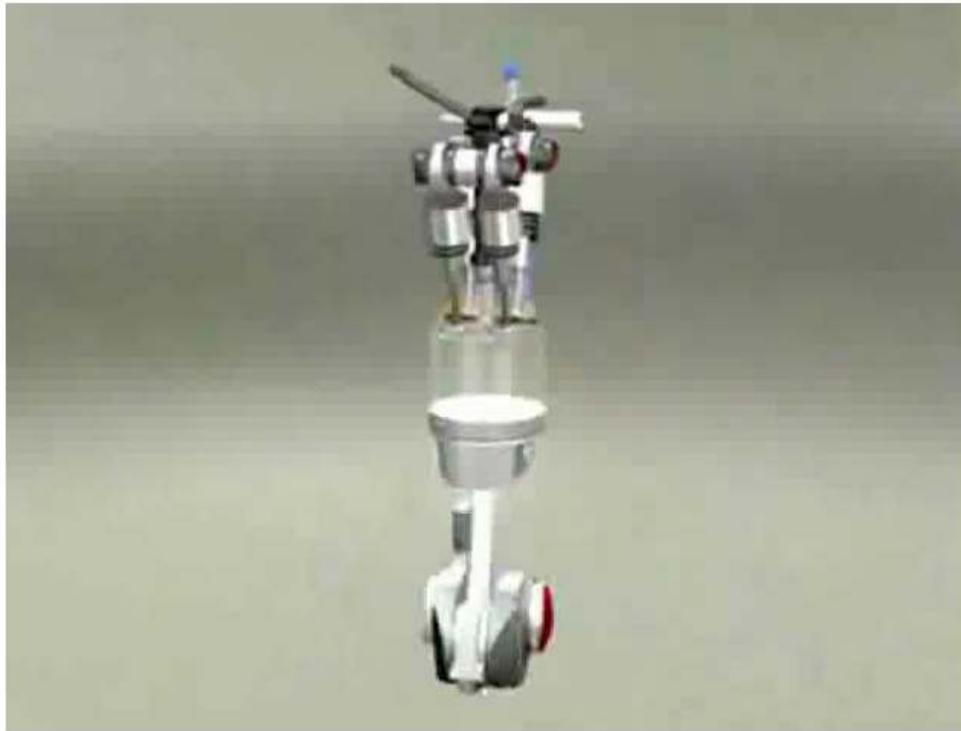
# Corso di misure meccaniche, termiche e collaudi



## Rilievo del numero di Cetano

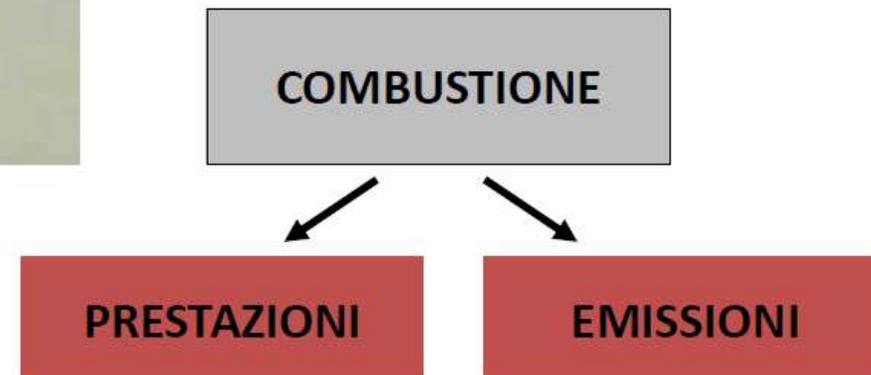
Prof. Rodolfo Taccani

# Introduzione



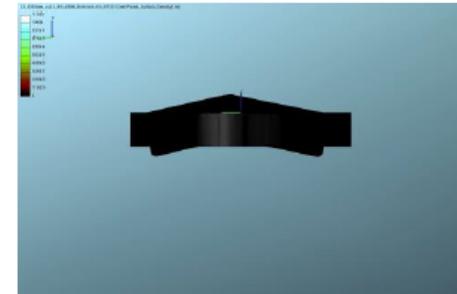
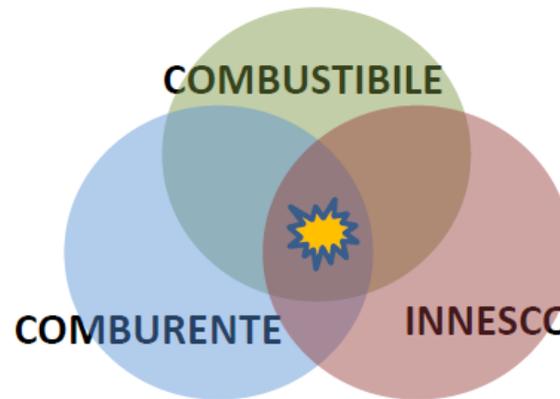
- **MCI** sono macchine motrici termiche che si propongono di convertire in lavoro meccanico la parte più grande possibile dell'energia termica liberata bruciando combustibili all'interno

- La **combustione** controlla la conversione dell'energia chimica del combustibile in calore



## Cos'è la combustione?

**Complesso processo di natura fisica e chimica attraverso il quale il combustibile si ossida liberando calore**



### **Combustione in fase premiscelata**

Combustibile e comburente sono in fase di vapore e uniformemente miscelati al momento della combustione

### **Combustione diffusiva**

Il combustibile si diffonde nell'aria, regolando in tal modo la velocità di combustione. Nel caso di combustibile liquido la velocità di combustione è regolata dalla velocità di evaporazione e diffusione nell'aria

## I Combustibili per MCI

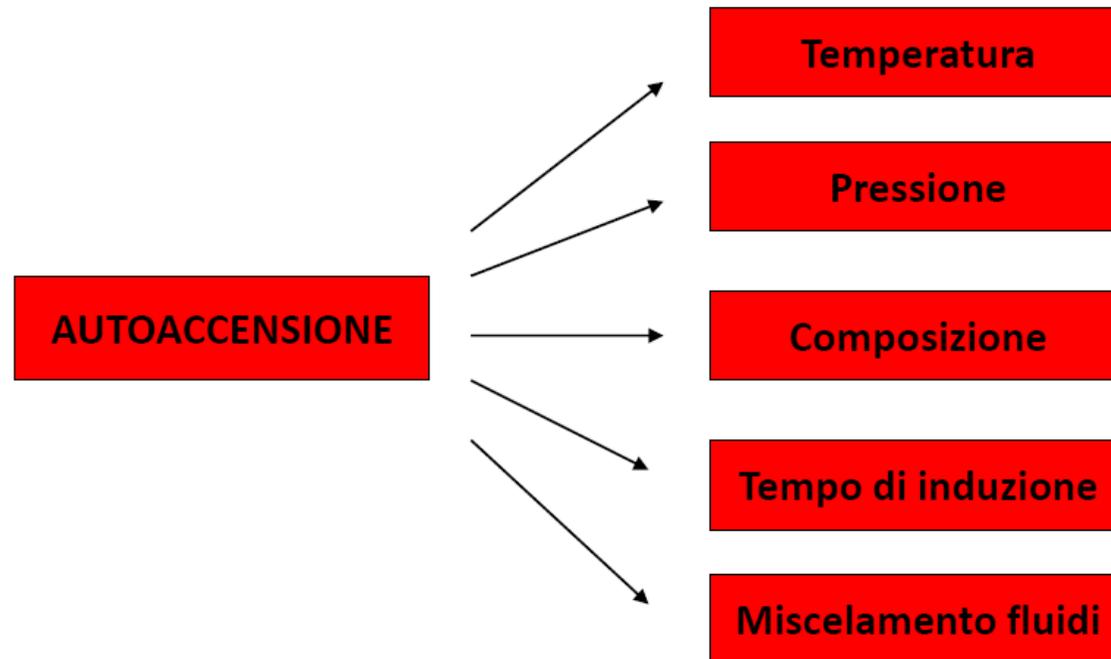
La selezione dei combustibili idonei ai MCI è fatta in base a:

- Abbondante **disponibilità**, facilità di preparazione e basso costo
- Alto **potere calorifico** per unità di massa e volume e facilità di trasporto e stoccaggio
- Rapidità di **avviamento** e sviluppo del processo di combustione per ogni temperatura ambiente
- **Combustione completa** senza prodotti di natura tossica
- Assenza di **depositi carboniosi** sulle pareti e di **prodotti corrosivi**

# Introduzione

## **AUTOACCENSIONE**

L'avvio della combustione avviene senza l'intervento di una sorgente esterna: è il risultato finale di reazioni di prefiamma, le quali liberando calore e fornendo una serie di prodotti instabili di parziale ossidazione portano all'avvio del processo di combustione.

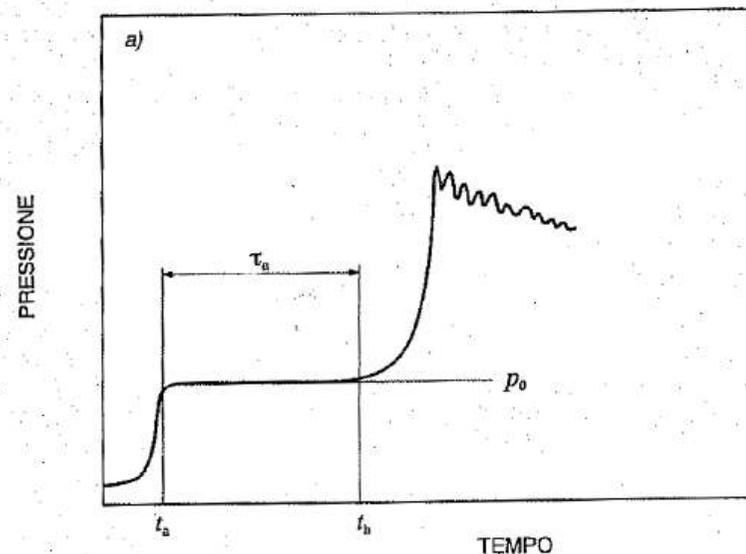


# Introduzione

## TEMPO DI RITARDO ALL'ACCENSIONE

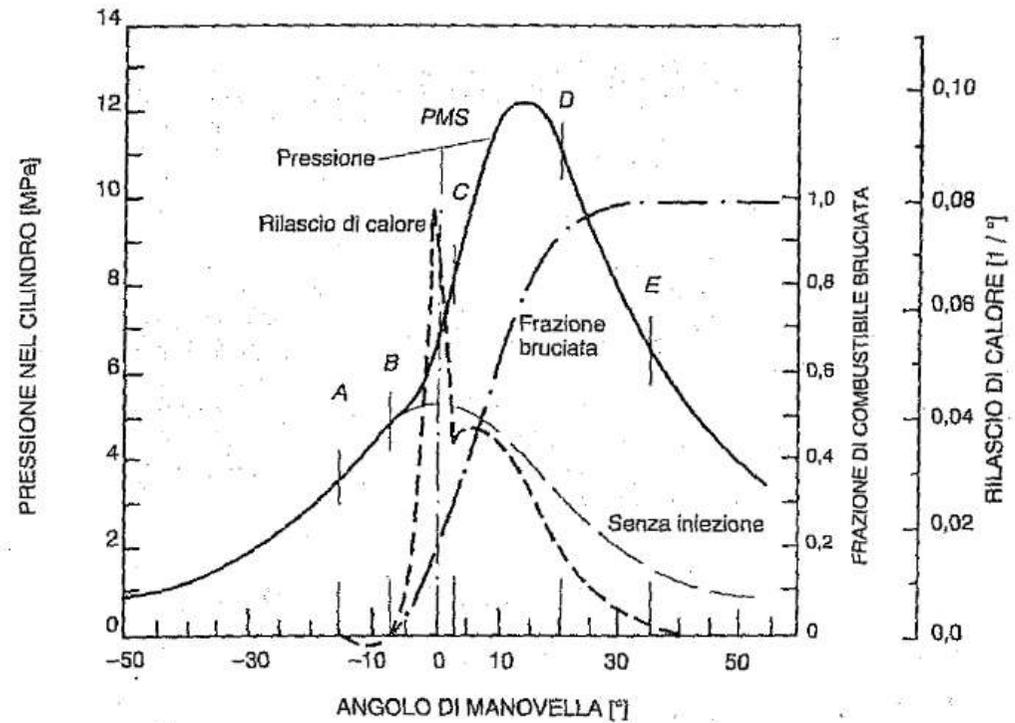
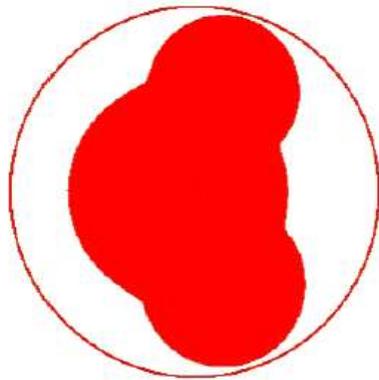
Intervallo di tempo che intercorre tra il momento in cui una miscela (di data composizione) di combustibile e comburente è portata in fissate condizioni di pressione e temperatura e l'istante in cui la combustione si avvia in maniera apprezzabile.

$$\tau_a = Ap^{-n} e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$



# Introduzione

## Motori ad accensione per compressione



# Introduzione

## Motori ad accensione per compressione

### Vantaggi:

Non soffrono del problema della detonazione, i motori Diesel possono operare con rapporti di compressione più elevati e, quindi, con rendimenti termodinamici più alti dei motori a ciclo Otto.

Non regolano il carico parzializzando la portata d'aria (valvola a farfalla): minori perdite di pompaggio.

Utilizzano miscele magre -> Minori consumi, minori emissioni inquinanti

Inoltre presentano:

- Basse velocità di rotazione -> processo di combustione completo.
- Bassi rapporti superficie/volume -> minore perdite termiche.
- Elevati rendimenti termodinamici

# Introduzione

## **Motori ad accensione per compressione**

### **Svantaggi:**

Difficoltà nelle partenze a freddo

Rumorosità (soprattutto i motori ad iniezione diretta)

Bassa velocità di combustione: ciò impone basse velocità di rotazione  
-> limite alla potenza erogabile dal motore.

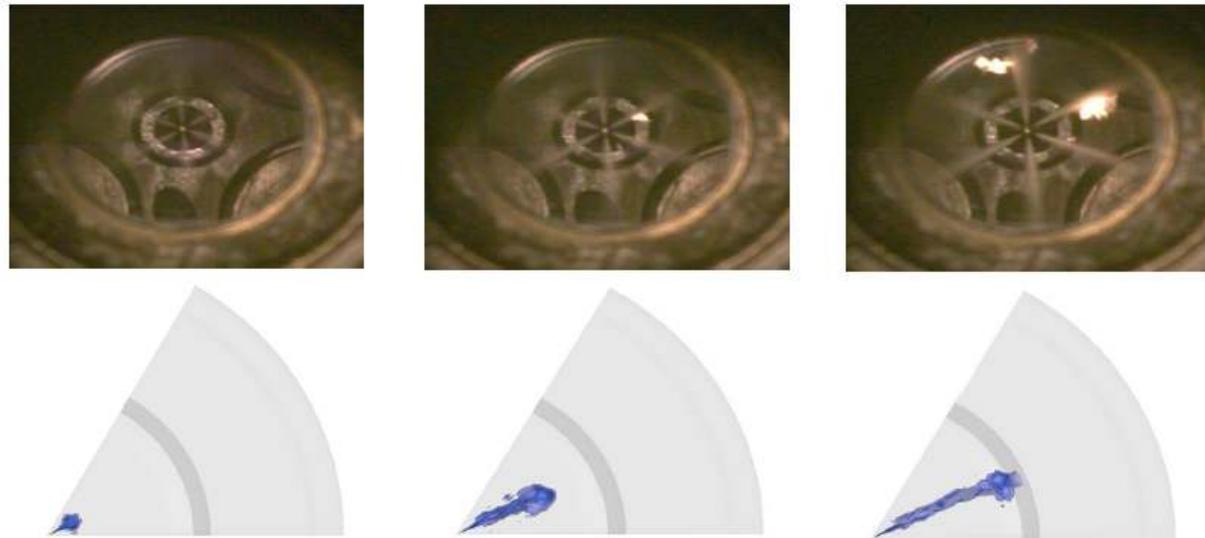
- ALTO rapporto PESO/POTENZA (Soprattutto i motori aspirati)
- Emissioni di ossidi di azoto e particolato (ai carichi elevati)

# Introduzione

## Motori ad accensione per compressione

Nei motori ad accensione per compressione uno dei problemi principali consiste nel controllo del ritardo all'accensione

La durata del ritardo all'accensione dipende non solo dalle condizioni di funzionamento ma anche dalle condizioni fisiche (volatilità, viscosità, calore specifico, etc) e chimiche (struttura della molecola) del combustibile



# Introduzione

## Motori ad accensione per compressione

### Ritardo di natura fisica

- Disintegrazione del getto di combustibile e formazione di goccioline
- Riscaldamento gocce e loro vaporizzazione
- Diffusione dei vapori nell'aria e formazione di una miscela in grado di accendersi

### Ritardo di natura chimica

- Decomposizione degli idrocarburi a più alta massa molecolare
- Loro attacco da parte dell'ossigeno con formazione di composti instabili intermedi
- Avvio di reazioni a catena che portano all'autoaccensione

$$\tau_a = Ap^{-n} e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

A=0.029  
n=1.19  
Ea/R=4650

# Introduzione

## Accendibilità

Per quantificare l'accendibilità di un combustibile si è deciso di integrare tutti i fenomeni coinvolti in una misura sperimentale di un caso di un motore standard che ne dia una quantificazione numerica.

Il ritardo all'ignizione nei motori diesel (motori ad autoaccensione) è il tempo che intercorre tra l'iniezione del combustibile e l'autoaccensione

Il **numero di cetano (CN)** caratterizza i diversi gasoli e combustibili per motori diesel sulla base del ritardo all'ignizione in condizioni standard.

Il **cetano (n-esadecano)**, più rapido all'ignizione, viene posto arbitrariamente a 100.

Il **iso-cetano (eptametil-nonano)** ha numero di cetano 15.

Il combustibile viene confrontato con la miscela di riferimento in un motore diesel standard e ancora confrontato con le caratteristiche della miscela dei composti di riferimento.

Il numero di cetano della miscela di riferimento viene definito come:

$$\text{CN} = (\% \text{cetano}) + 0.15 (\% \text{ iso-cetano})$$

Il test viene condotto a 900 rpm, con aria preriscaldata a 150°F.

# Introduzione

## Accendibilità

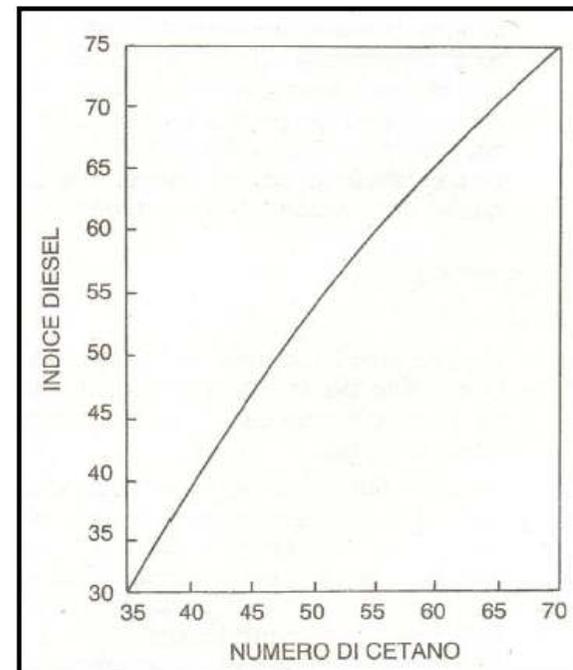
Spesso si utilizza un altro indice per definire l'accendibilità di un combustibile che è legato alla percentuale di idrocarburi normalparaffinici presenti. Si tratta dell'indice diesel ed è calcolato in funzione di due grandezze facilmente misurabili:

$$\text{Indice Diesel} = \text{densità API} \times \text{Punto di Anilina} [^{\circ}\text{F}] / 100$$

-il punto di anilina, cioè la più bassa temperatura ( $^{\circ}\text{F}$ ) alla quale un dato volume di gasolio è completamente miscibile con un uguale volume di anilina

-La densità espressa in gradi API, dove

$$\text{densità API} = \frac{141.5}{\rho_{rel}} - 131.5$$



# Introduzione

## Volatilità

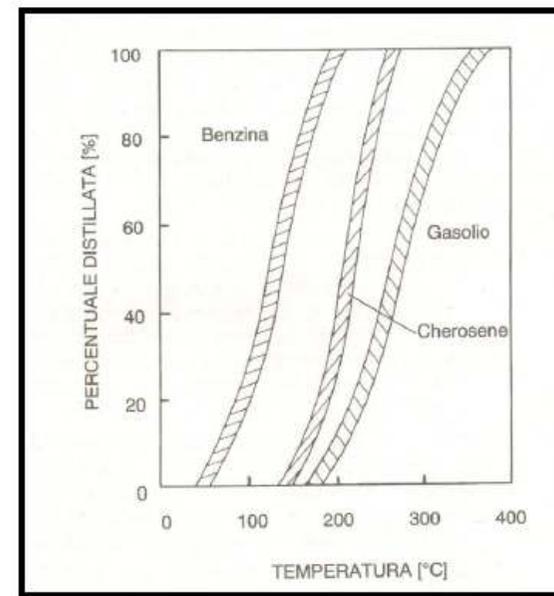
I combustibili sono una miscela di componenti con diverse temperature di ebollizione:

la volatilità di un combustibile può essere espressa in base alle temperature alle quali esso è stato distillato ed in funzione della tensione di vapore

Combustibili Liquidi	
Benzine:	$C_5-C_9$ (alifatici e aromatici)
Kerosene:	$C_{10}-C_{13}$ (alifatici e aromatici)
Gasolio:	$C_{12}-C_{20}$ (alifatici e aromatici)
Olio combustibile:	$C_{14}-C_{30}$ (alifatici e aromatici)

↓ aromaticità      ↑ volatilità

Passando dalle benzine all'olio combustibile aumenta sia il numero di atomi di carbonio (diminuisce la volatilità) che il rapporto tra gli aromatici e gli alifatici.



# Introduzione

- **La viscosità** di un liquido è la resistenza al flusso dovuta alle forze d'attrito tra strati adiacenti del liquido. La viscosità diminuisce con l'aumentare della temperatura e determina la possibilità di pompaggio ed atomizzazione. La viscosità dinamica (assoluta) si misura in poise (N s/m<sup>2</sup>).
- Il **cloud point** è la temperatura in cui si formano i primi nuclei solidi. Il *pour point* è la temperatura minima in cui il combustibile congela completamente.
- Il **flash point** è la minima temperatura cui il liquido prende (rapidamente) fuoco se esposto in prossimità di fiamma libera. Il flash point è di conseguenza la massima temperatura cui il combustibile può essere trattato senza rischi di incendio.

# Introduzione

La **temperatura di autoignizione** è la minima temperatura richiesta per sostenere la combustione in ambiente esposto all'aria atmosferica in assenza di scintilla o fiamma pilota.

La temperatura di autoignizione della benzina è di circa 370°C.

La benzina ha 'flash point' di -43°C

Il gasolio diesel, con 'flash point' di +52°C, è così poco volatile a T ambiente per cui le miscele ottenibili sono troppo povere per poter bruciare.

# Introduzione

## Proprietà dei combustibili liquidi

	Benzina Auto	Diesel	Metanolo	Etanolo
viscosità cinematica (m <sup>2</sup> /s)	0.8 10 <sup>-6</sup>	2.5 10 <sup>-6</sup>	0.75 10 <sup>-6</sup>	151 10 <sup>-6</sup>
Intervallo di ebollizione (°C)	30-225	210-235	65	78
Flash point	-43	52	11	13
Temperatura autoignizione (°C)	370	254	464	423
RON	91-100	--	109	109
MON	82-92	--	80	90
Numero di Cetano	<15	37-56	<15	<15
Calore di vaporizzazione (kJ/kg)	380	375	1185	920
Potere calorifico inf. (MJ/kg)	43.5	45	20.1	27

[1]

## Normativa ASTM – Motore CFR

- Cilindrata: 613 cm<sup>3</sup>;
- Corsa: 114.3 mm;
- Diametro: 82.6 mm;
- Giri a regime: 900 rpm;
- Rapporto di compressione: variabile tra 3.5 : 1 e 18 : 1 tramite vite micrometrica



CFR : Cooperative Fuel Research Engine

## Normativa ASTM – Banco prova

- Motore elettrico per avviamento del motore CFR (alimentato a 380V);
- Trasduttori piezoelettrici per il rilievo della pressione in camera di combustione;
- Encoder ottico per rilevare la posizione angolare del segnale;
- Amperometri per la misura della corrente dei sistemi di riscaldamento dell'acqua e dell'aria;
- Manometro per la misurazione della pressione dell'olio;
- Termometri per le temperature dell'acqua e dell'olio;
- 3 contenitori graduati da 500 mL  $\pm$  0.2% fungono da serbatoi per i diversi combustibili;
- Cronometro per misurare la portata dei combustibili regolabile con la valvola di efflusso.
- Trasformatore per passare da 380 a 110V (tensione degli ausiliari)

## Normativa ASTM – Condizioni operative (1 di 2)

- Velocità del motore:  $900 \pm 9$  rpm;
- Apertura valvola di aspirazione:  $10.0^\circ \pm 2.5^\circ$  dopo il PMS con chiusura a  $34.0^\circ$  dopo PMI;
- Apertura valvola di scarico:  $40.0^\circ$  prima del PMI con chiusura a  $15^\circ \pm 2.5^\circ$  dopo il PMS;
- Gioco delle valvole (con motore caldo e funzionante alle condizioni operative):  $6,045 \pm 0.5$  mm;
- Iniezione dei combustibili di riferimento e di prova:  $13^\circ$  prima del PMS;
- Ritardo di accensione:  $13^\circ$  dopo il PMS;
- Portata di combustibile:  $13.0 \pm 0.2$  mL/min (pari ad un deflusso di  $60 \pm 1$  s per 13 mL);
- Pressione di apertura del pulverizzatore dell'iniettore:  $10.3 \pm 0,34$  Mpa ( $1500 \pm 50$  psi);

## Normativa ASTM – Condizioni operative (2 di 2)

- Pressione olio lubrificante: 200kPa (tra 25 e 30 psi);
- Temperatura olio lubrificante:  $57 \pm 8^{\circ}\text{C}$  ( $135 \pm 15^{\circ}\text{F}$ );
- Temperatura dell'iniettore:  $38 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $100 \pm 5^{\circ}\text{F}$ );
- Temperatura dell'acqua refrigerante del cilindro:  $100 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $212 \pm 3^{\circ}\text{F}$ );
- Temperatura dell'aria di aspirazione:  $66 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  ( $150 \pm 1^{\circ}\text{F}$ );
- Posizionamento del pistone rispetto alla superficie del cilindro:  $0,381 \pm 0.025$  mm quando si trova al PMS;
- Tensione della cinghia deve essere tale che si abbassi di 12,5 mm applicando un peso di 2,25 kg tra volano e puleggia del motore;
- Pressione di compressione di base: a una lettura del volantino di 1,000 la pressione di compressione del motore all'arresto deve essere pari a  $3275 \pm 138$  kPa.

[2]

# Fonti

[1] Ing. Claudio Forte - Università degli studi di Bologna;

[2] ASTM – Designation: D 613 – 05 – Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil.

Si ringrazia Federico Ustolin per la collaborazione nel preparare la presentazione