

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Dell'Energia

***Relazione per la prova finale
«La mobilità a idrogeno: i motori a
combustione interna H₂ICE»***

Tutor universitario: Prof. Giorgio Pavesi

Laureando: *Sophie Toso*

Padova, 18/07/2023

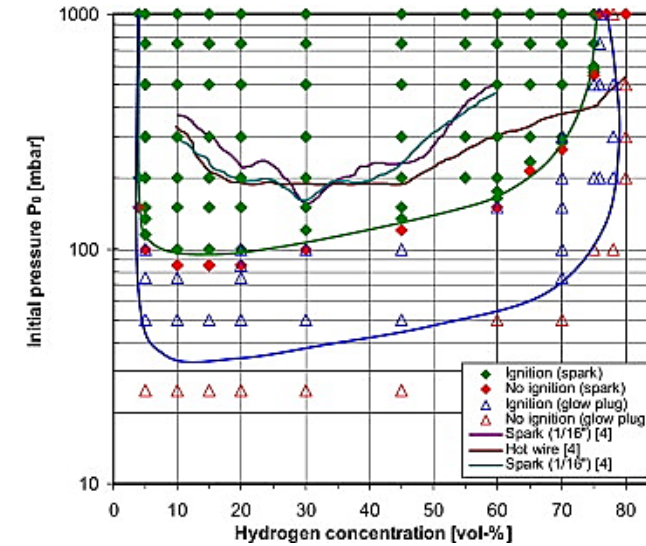


Motore V8 a idrogeno Yamaha per Toyota

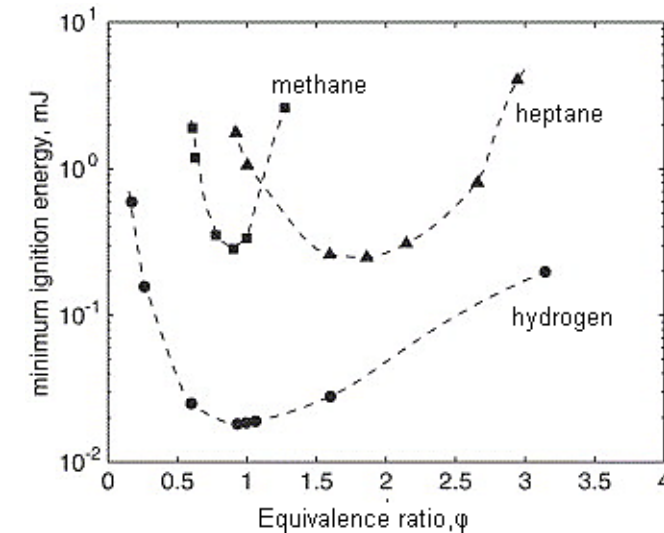
I motori a combustione interna a idrogeno sono una tecnologia importante nell'accelerazione verso la decarbonizzazione

VANTAGGI:

- Regolarità di funzionamento
- Rendimento termico maggiore
- Facilità di avviamento a freddo
- Emissioni contenute



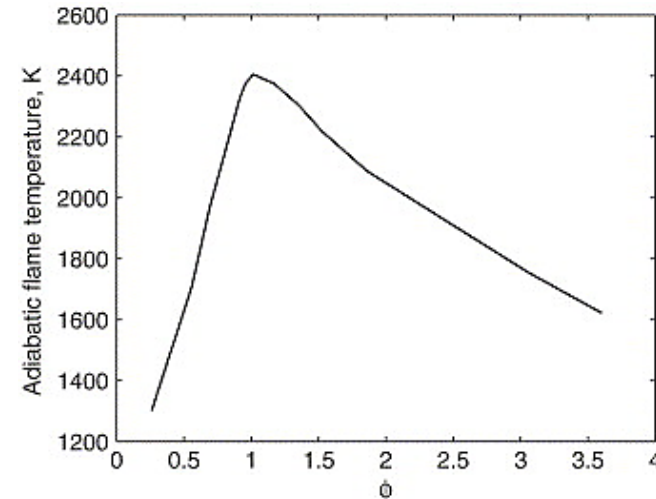
Campo di infiammabilità delle miscele idrogeno-aria



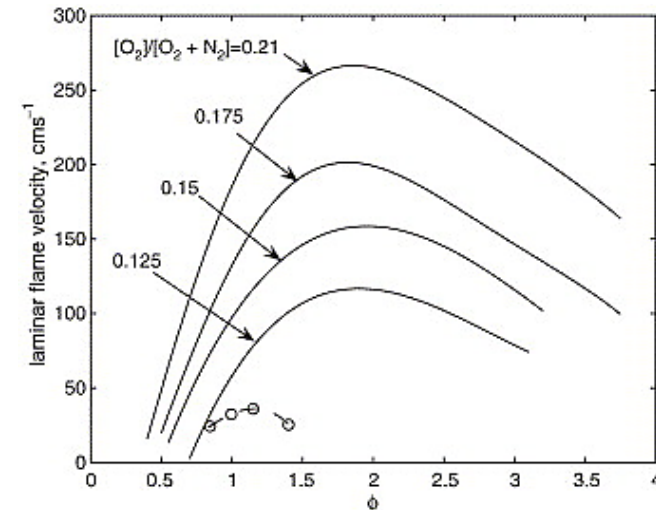
Minima energia di accensione per miscele di idrogeno-aria (cerchi), metano-aria (quadrati) ed eptano-aria (triangoli) in funzione del rapporto di equivalenza Φ

SVANTAGGI:

- Bassa autonomia
- Densità di potenza inferiore
- Combustioni anomale

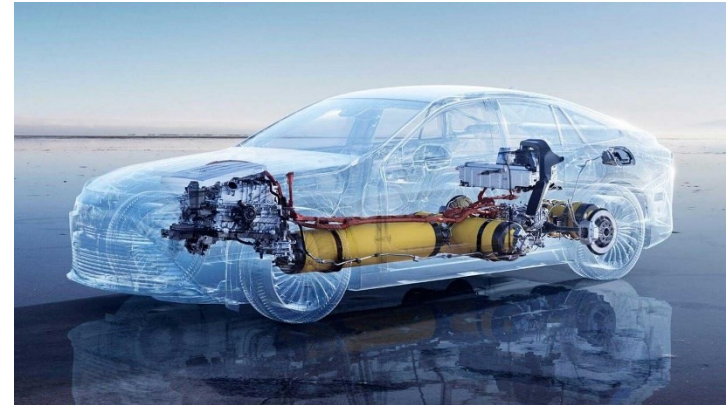


Temperatura adiabatica di fiamma dell'idrogeno al variare del rapporto di equivalenza Φ



Velocità laminare di fiamma dell'idrogeno (linea continua) e della benzina (O) per varie composizioni dell'aria comburente in condizioni atmosferiche

- Densità di potenza
- Autonomia del veicolo
- Combustioni anomale



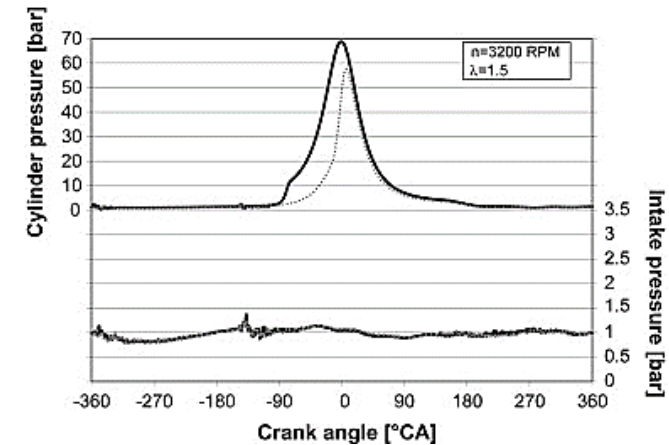
Sistema di stoccaggio dell'idrogeno su un veicolo



Ritorno di fiamma di una Audi S1 al Pikes Peak

PREACCENSIONE

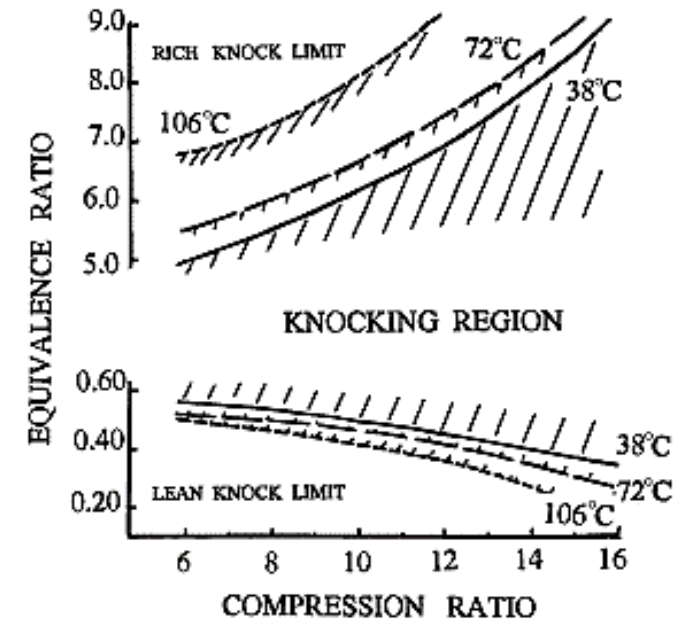
- Funzionamento inefficiente ed irregolare
- Perdita di potenza massima



Tipici tracciati di pressione del cilindro e del collettore di aspirazione con preaccensione rispetto ai normali tracciati di pressione

DETONAZIONE

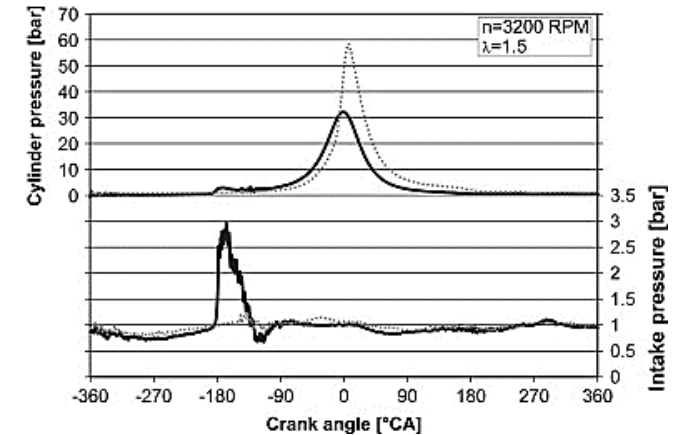
- Rumore e vibrazioni
- Onde di pressione
- Aumento delle emissioni di NO_x



I limiti di detonazione al variare della temperatura di alimentazione della miscela, del rapporto di equivalenza e del rapporto di compressione in un motore CFR a 900rpm

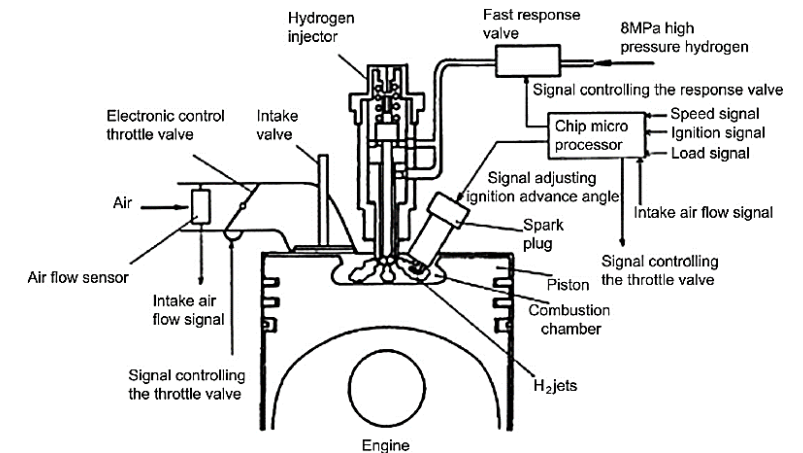
RITORNO DI FIAMMA

- Dal semplice spegnimento del motore alla distruzione del sistema di alimentazione
- Grosso ostacolo per la produzione



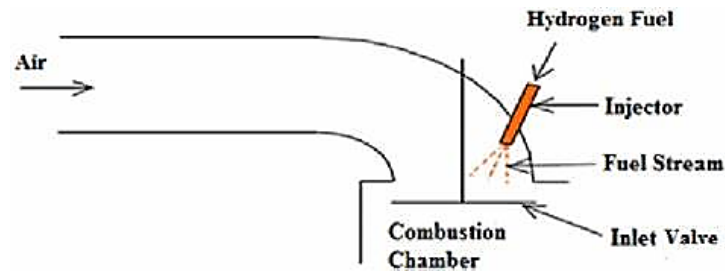
Tipici tracciati di pressione del cilindro e del collettore di aspirazione con ritorno di fiamma (linea continua) rispetto ai normali tracciati di pressione (linea tratteggiata)

- Rapporto di compressione CR ottimale
- Candele a freddo non in platino
- Valvola a farfalla solo per bassi carichi
- Selezione dei materiali per lo stoccaggio
- Sistema di alimentazione
- ...



Induzione dell'idrogeno nei motori ad accensione comandata

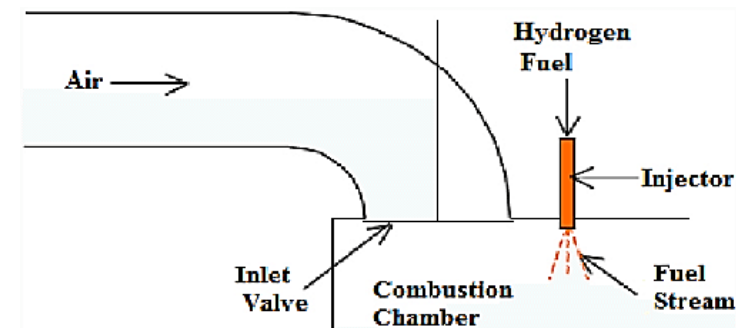
PORT FUEL INJECTION (PFI)



- Miscela aria/combustibile omogenea
- Più semplice
- Meno costoso

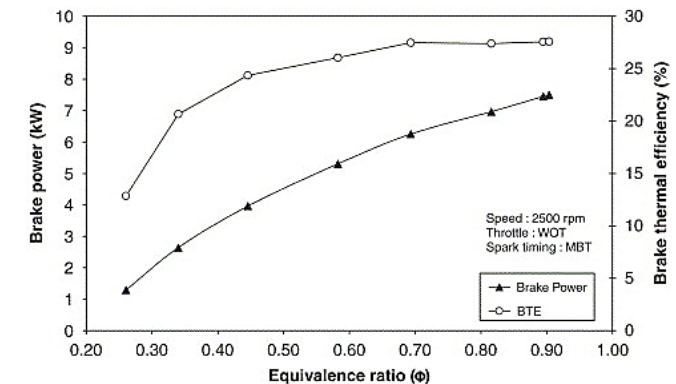
DIRECT INJECTION (DI)

- Densità di potenza maggiore
- Rischio ridotto di combustioni anomale
- Efficienza maggiore a carico massimo



PARAMETRI CHE INFLUENZANO LA POTENZA:

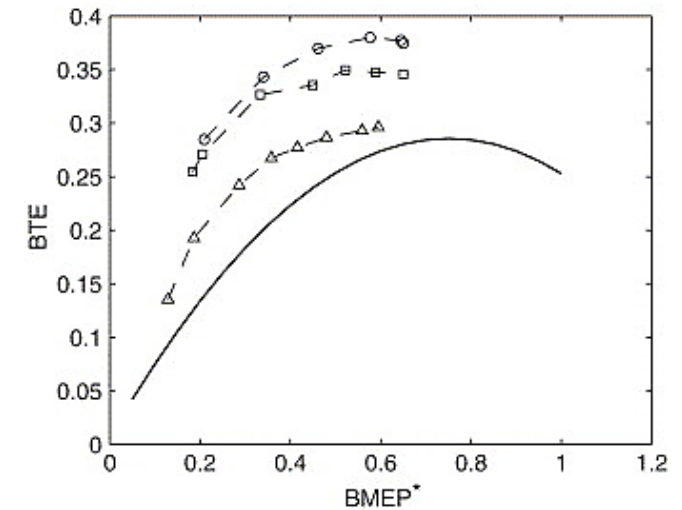
- Rendimento volumetrico
- Densità di energia del combustibile
- Fenomeno di preaccensione



Potenza e rendimento volumetrico al variare del rapporto di equivalenza

MASSIMA EFFICIENZA TERMICA:

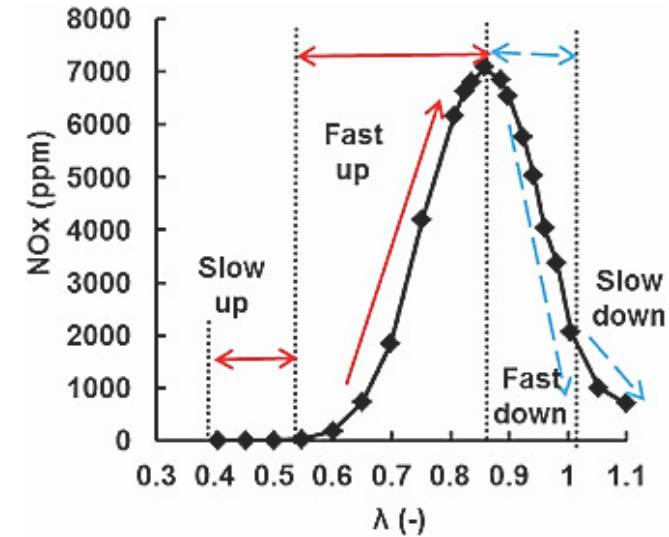
- Ridurre perdite termiche
- Rapporto di equivalenza = 0,3-0,6



Efficienza termica in funzione della pressione effettiva media, dove $BMEP^* = BMEP / BMEP_{max-benzina}$ con cerchi per CR=14,4, quadrati per CR=12,5 [18]; triangoli e linea continua per, rispettivamente, idrogeno e benzina con CR=9:1

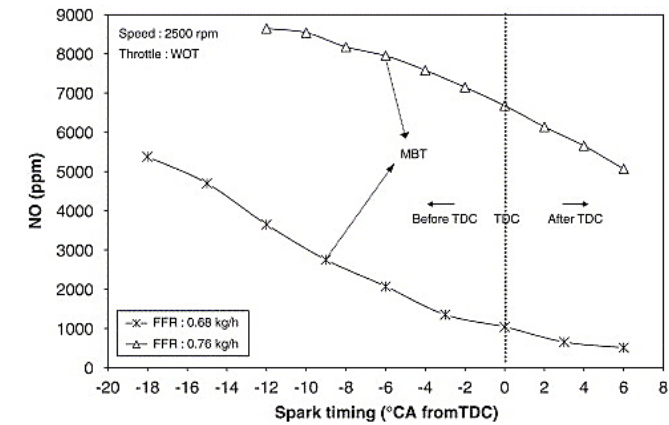
MASSIME EMISSIONI:

- Rapporto di equivalenza = 0,8-0,9



Andamento delle emissioni di NO_x in funzione del rapporto di equivalenza

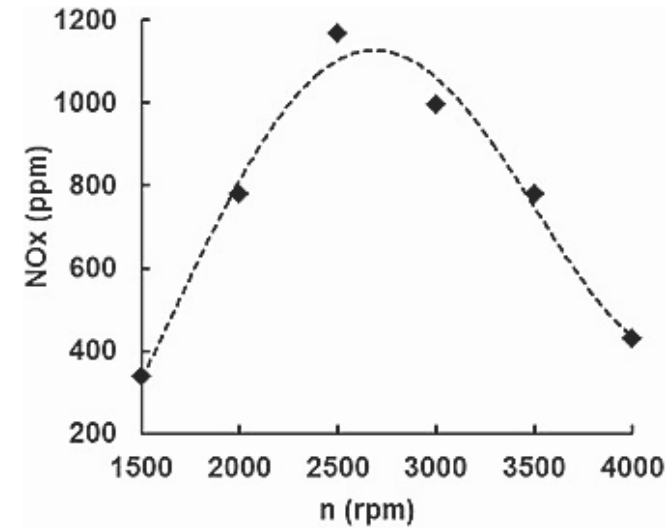
- Istante di accensione anticipato



Effetto dell'istante di accensione sulle emissioni di NO_x

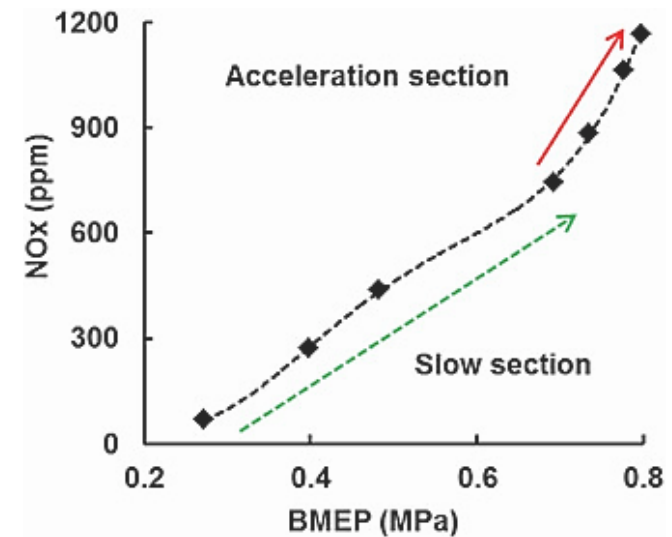
MASSIME EMISSIONI:

- Velocità di rotazione intorno ai 2500rpm



Variazione delle emissioni di NO_x con la velocità del motore

- Alti carichi



Variazione delle emissioni di NO_x con la pressione media effettiva

PROBLEMATICHE DA RISOLVERE:

- Tendenza a combustioni anomale
- Scarsa autonomia del veicolo
- Bassi valori di densità di potenza
- Costo dell'idrogeno

VANTAGGI SFRUTTABILI:

- Costo manifatturiero del MCI
- Emissioni in uscita ridotte
- Emissioni per la produzione dell'idrogeno nulle (con utilizzo di fonti rinnovabili)