



Regione Toscana



UNIVERSITÀ DI PISA



Scuola Superiore  
Sant'Anna  
di Studi Universitari e di Perfezionamento

## Facoltà di Ingegneria



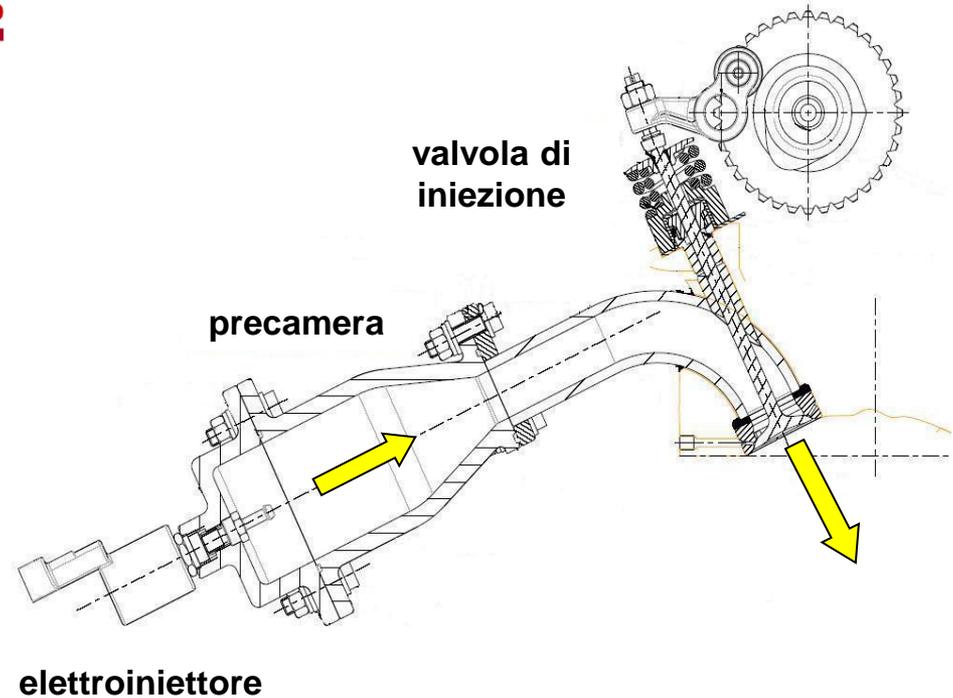
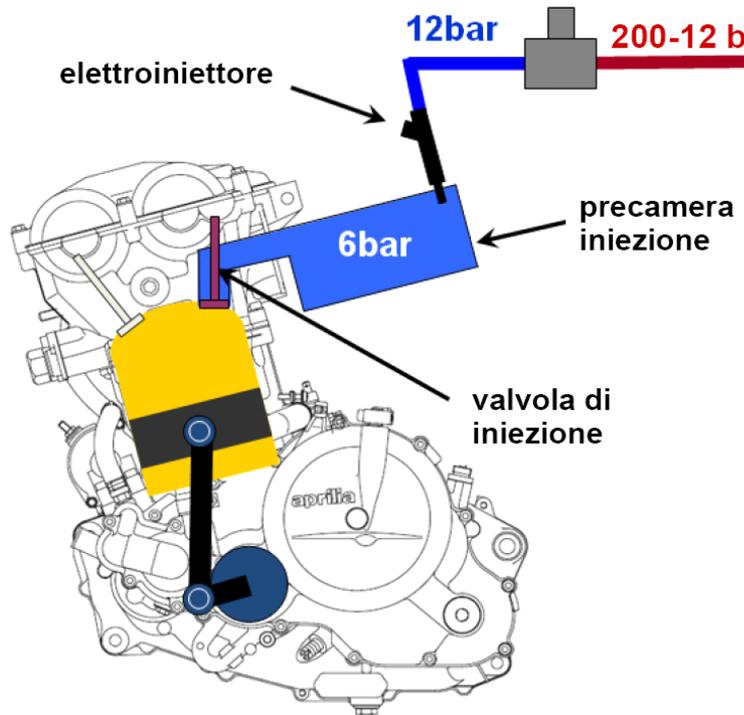
### **Progetto H<sub>2</sub> Filiera Idrogeno :**



**Motori endotermici con  
iniezione diretta d'idrogeno  
a bassa pressione a due stadi**  
Roberto Gentili

# Sistema di iniezione diretta di idrogeno a due stadi

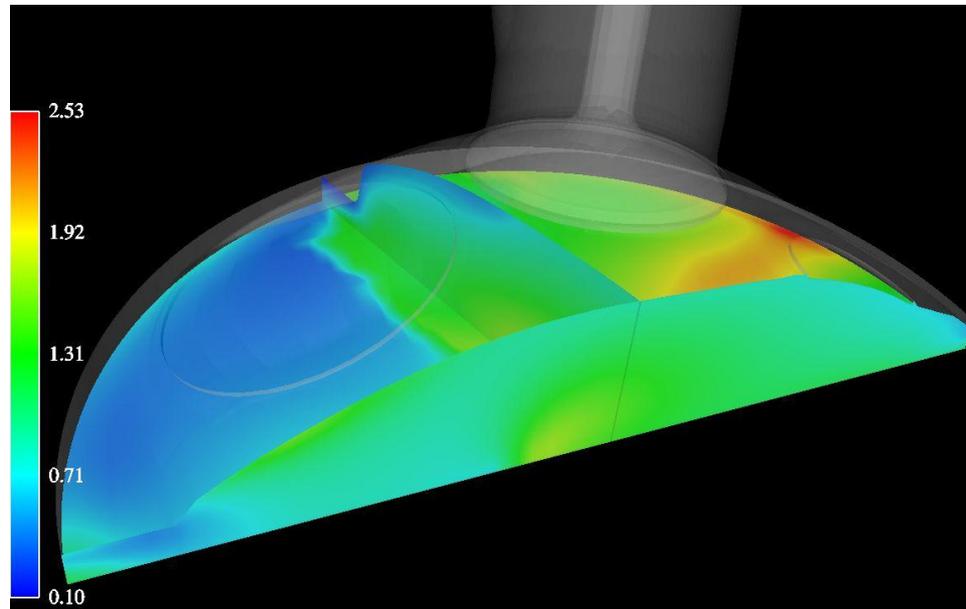
Il sistema di iniezione di  $H_2$  studiato unisce i vantaggi dell'iniezione diretta (alta potenza specifica, nessun ritorno di fiamma nei collettori di aspirazione, elevato rendimento) con quelli dell'iniezione indiretta (massimo sfruttamento della pressione residua nel serbatoio ~ 12 bar).



# Iniezione diretta a due stadi: prime fasi della ricerca

La realizzazione del prototipo è stata preceduta da un'intensa attività di simulazione numerica con codici evoluti.

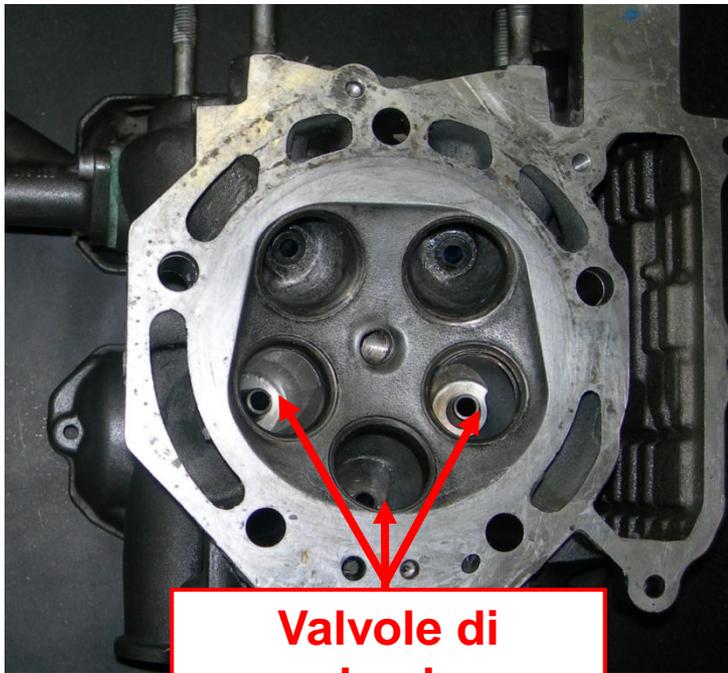
Tale attività ha permesso una migliore comprensione del processo di iniezione e miscelamento dell'idrogeno all'interno del cilindro, nelle varie condizioni di funzionamento del motore, e di dimensionare le varie parti del sistema di iniezione.



Rapporto di equivalenza in camera di combustione

# Iniezione diretta a due stadi: prototipazione

A seguito dei risultati dell'attività di simulazione è stato allestito un prototipo modificando il motore Aprilia-Rotax da 650 cm<sup>3</sup> che ha equipaggiato, sino al 2004, la moto Aprilia Pegaso 650.



**Valvole di aspirazione**

**Testa originale**



**Valvola di iniezione dell'idrogeno**

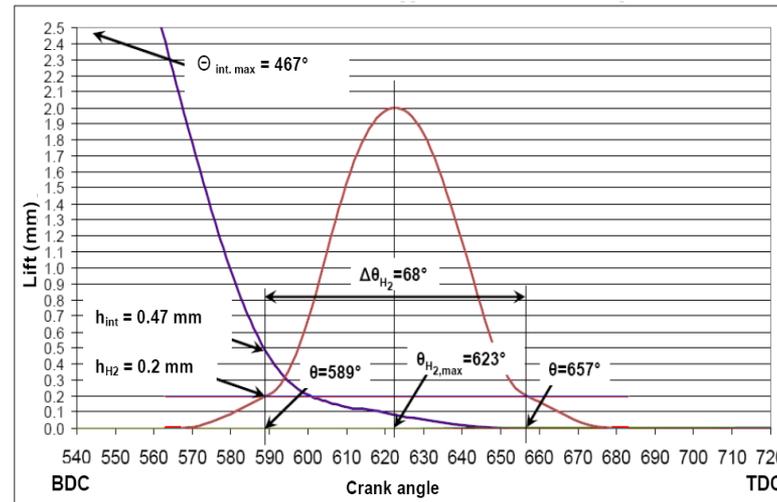
**Testa modificata**

# Iniezione diretta a due stadi: prototipazione



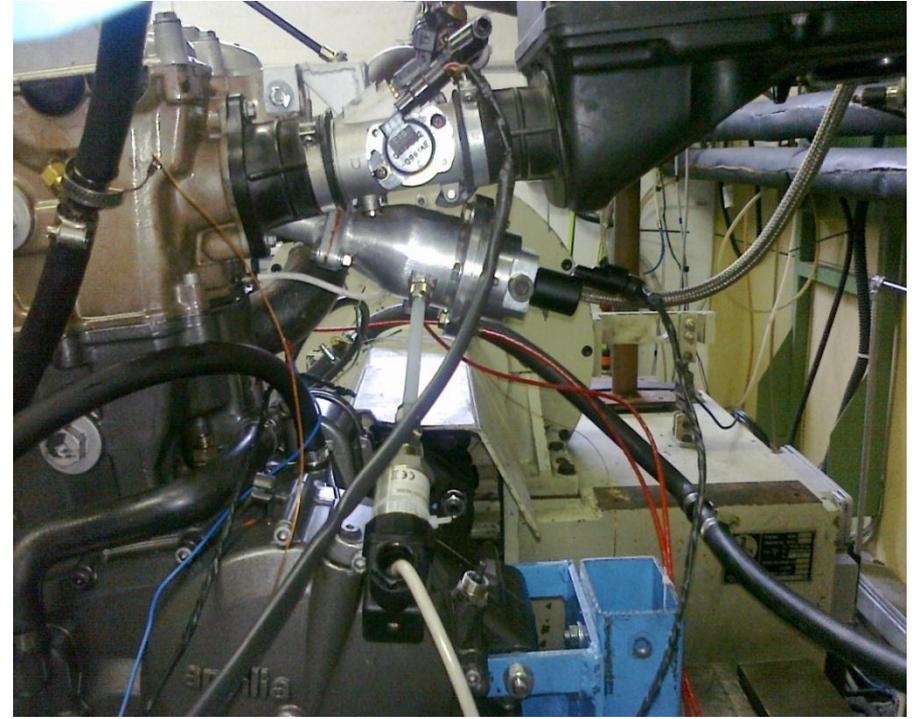
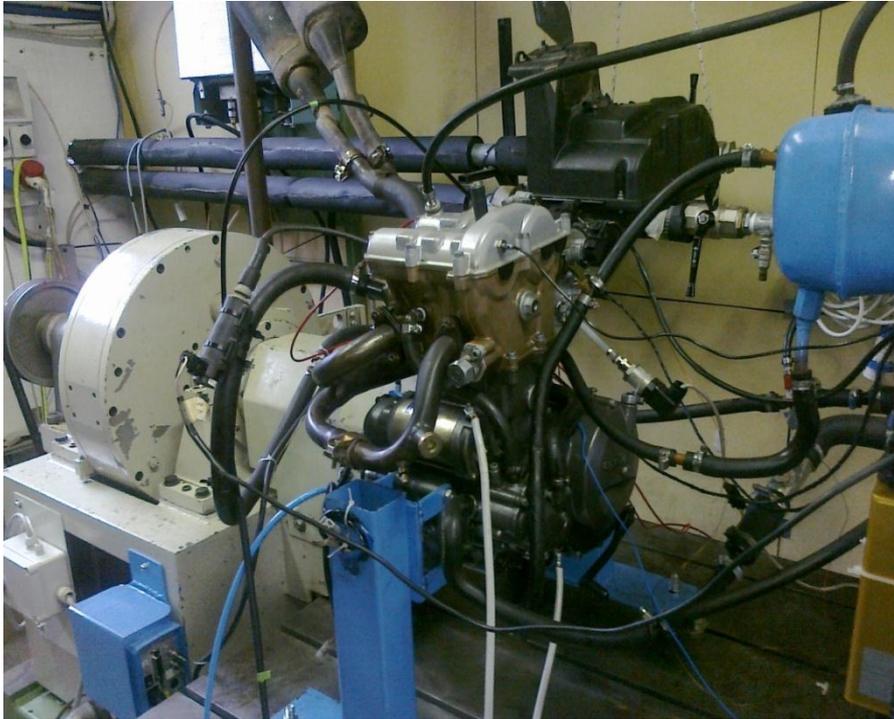
**Precamera di iniezione**

**Nuova camma**





# Iniezione diretta a due stadi: sala prove

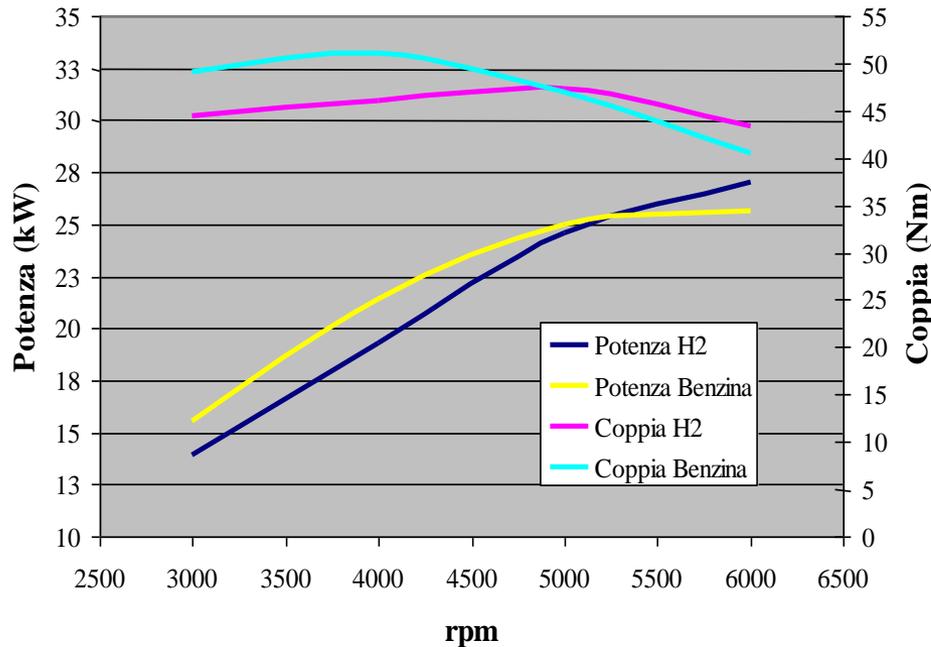




# Iniezione diretta a due stadi: risultati sperimentali

La fase iniziale dell'indagine sperimentale è stata dedicata alla verifica del funzionamento del sistema di iniezione ed alla misura delle prestazioni del motore.

Verificato il corretto funzionamento del sistema di iniezione, il motore è stato sottoposto ad una serie di prove per misurarne le prestazioni al variare della velocità di rotazione del motore.

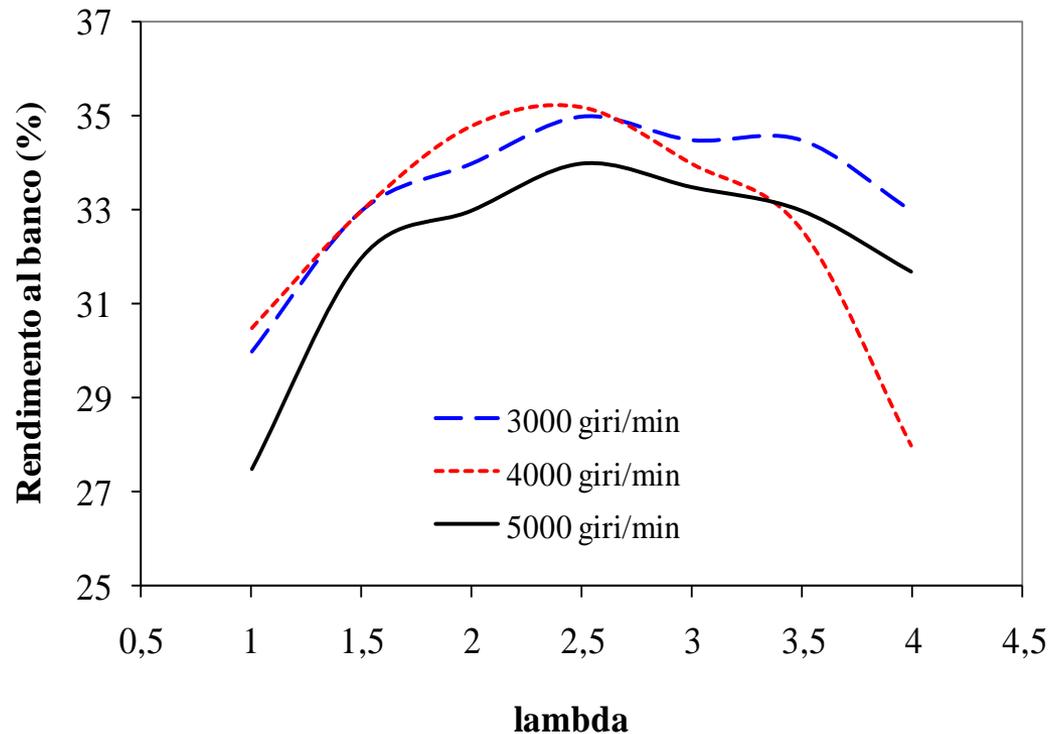


***Il motore ha dimostrato un comportamento regolare, erogando una potenza massima maggiore rispetto al funzionamento a benzina, senza detonazioni e/o problemi di combustione.***



# Iniezione diretta a due stadi: risultati sperimentali

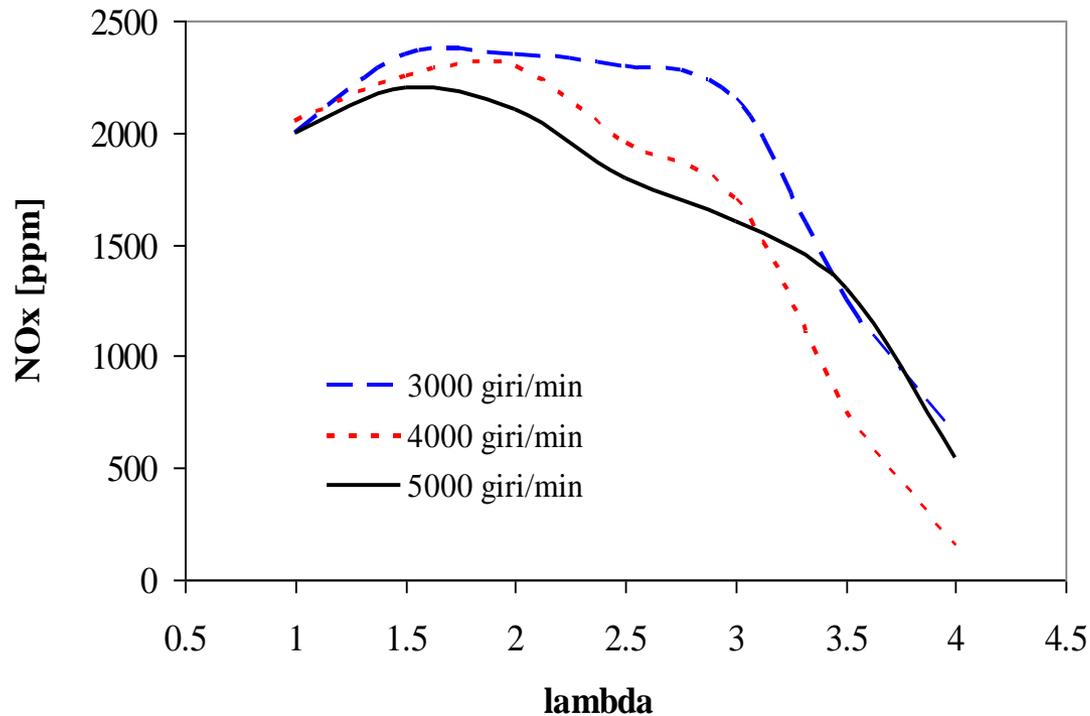
Il motore, grazie alla possibilità di funzionare con miscele povere, ha mostrato un rendimento al banco elevato nelle varie condizioni di funzionamento, con un massimo del 36%.





# Iniezione diretta a due stadi: risultati sperimentali

È stato anche verificato l'andamento degli NOx che, in un motore alimentato ad idrogeno, rappresentano l'unico inquinante allo scarico.

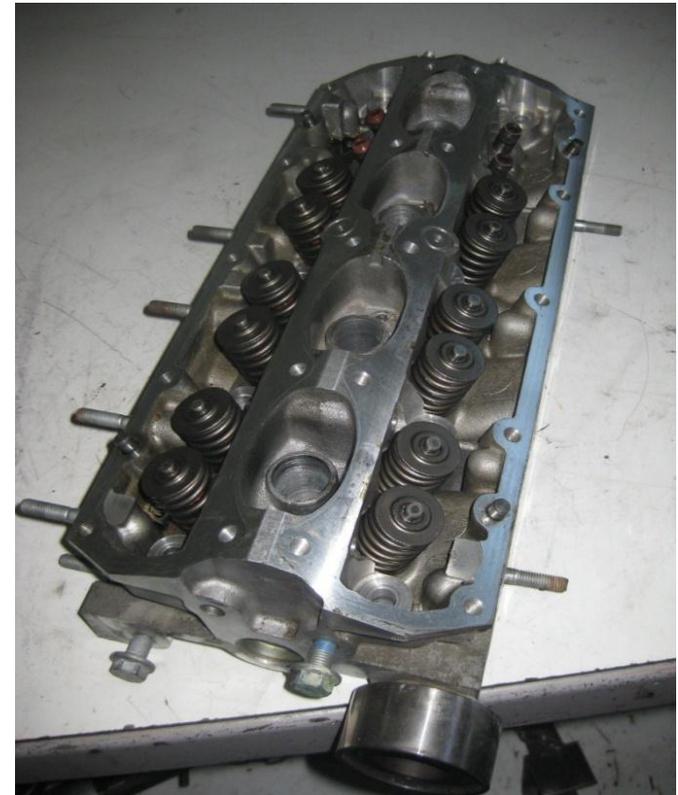




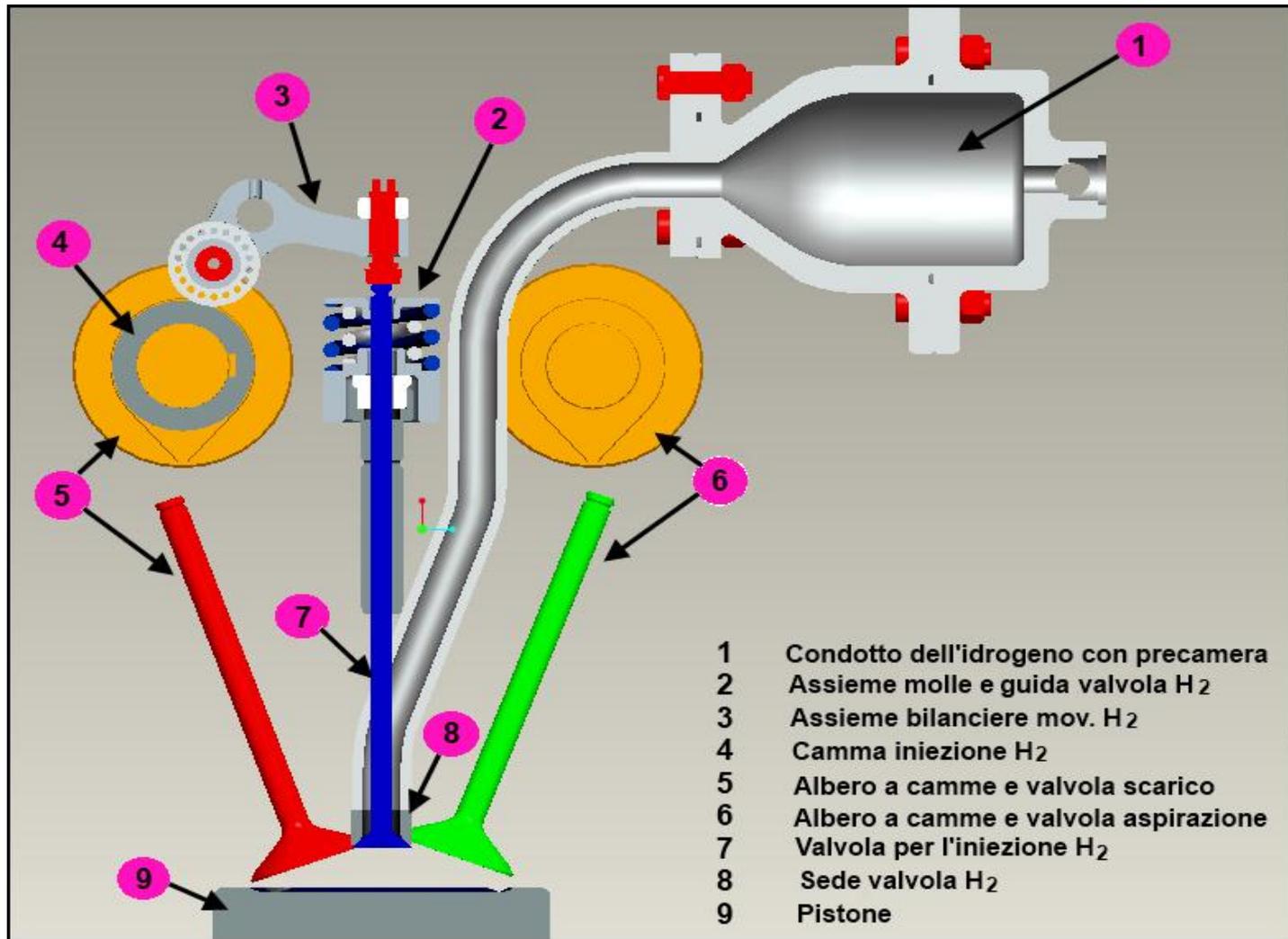
## Iniezione diretta a due stadi: motore pluricilindrico

Durante l'ultima fase della ricerca è stata valutata la possibilità di alloggiare il sistema d'iniezione diretta d'idrogeno a due stadi su un motore pluricilindrico, con l'obiettivo di apportare il minor numero di modifiche possibili alla configurazione del motore scelto.

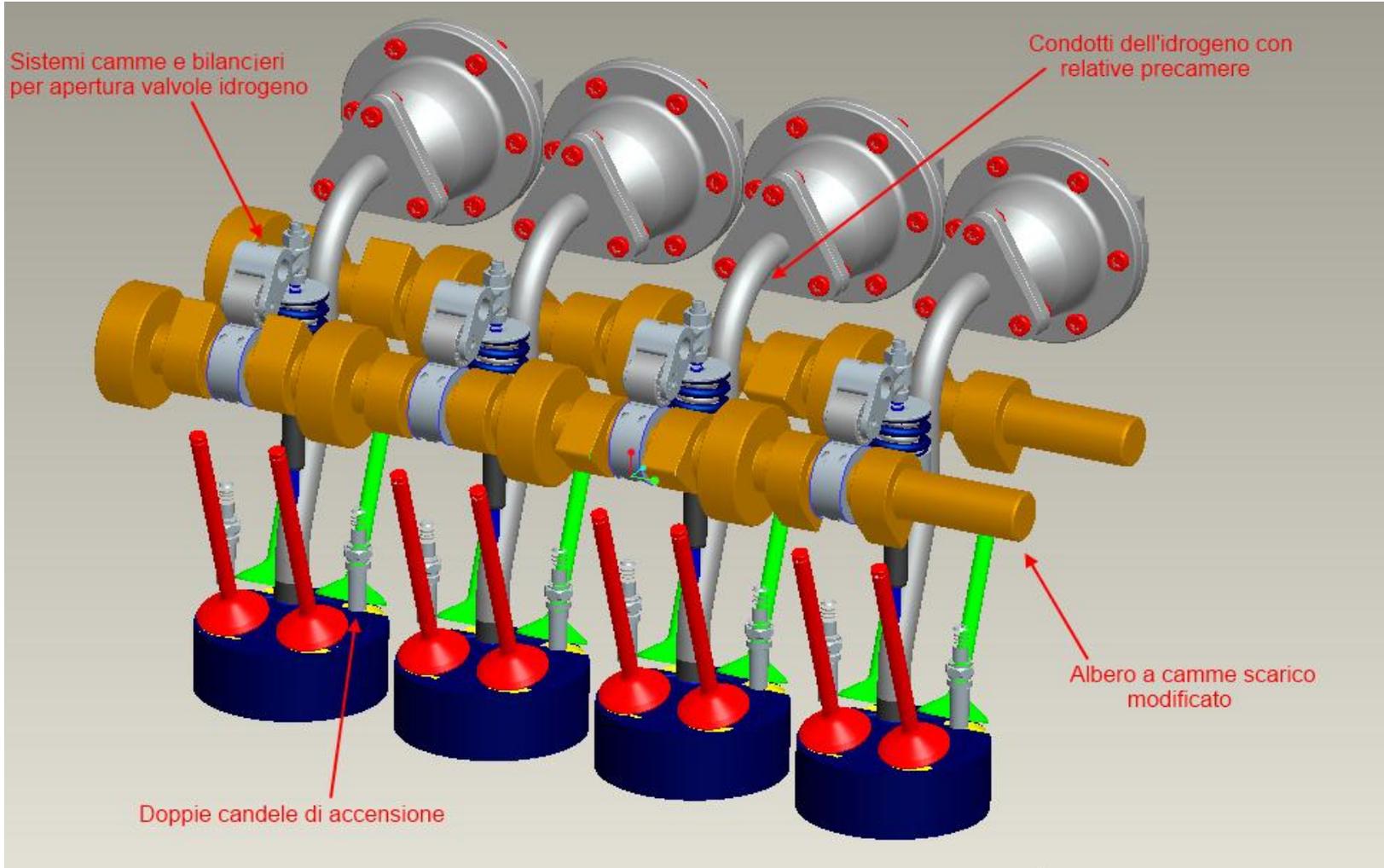
***Per l'applicazione specifica è stato scelto il motore FIAT Multipla 1,6 l, 16v Blupower.***



# Iniezione diretta a due stadi: motore pluricilindrico



# Iniezione diretta a due stadi: motore pluricilindrico





# Iniezione diretta a due stadi: conclusioni e sviluppi futuri

## Conclusioni

- È stato ideato, progettato e sperimentato un innovativo sistema di iniezione diretta di H<sub>2</sub> in due stadi per motori a combustione interna.
- Il motore ha dimostrato di funzionare in modo del tutto corretto ed ha erogato una potenza massima superiore a quella ottenuta con alimentazione a benzina.
- Grazie alle qualità di combustione dell'idrogeno il motore ha mostrato di poter funzionare correttamente anche con miscele fortemente diluite, con valori di rendimento di assoluto rilievo.
- Grazie alle informazioni raccolte durante la prima fase sperimentale è stato possibile effettuare uno studio preliminare sull'applicazione del sistema di iniezione diretta a due stadi su un motore pluricilindrico

## Sviluppi futuri

- Proseguimento dello studio del sistema di iniezione a due stadi per motore pluricilindrico.

# Motore alimentato con miscele di ammoniaca e idrogeno



Lo stoccaggio dell'idrogeno a bordo del veicolo è un problema di non semplice ed economica soluzione.

Un'alternativa consiste nello stoccare l'idrogeno sotto forma di ammoniaca, che a temperatura ambiente è liquida a soli ~ 9 bar e quindi comporta ingombri e masse relativamente piccoli e serbatoi poco costosi.

Attraverso processi di reforming catalitico, da effettuarsi a bordo del veicolo, dall'ammoniaca può essere estratto idrogeno da utilizzare in celle a combustibile o in motori a combustione interna.

Nel caso dei motori a combustione interna, è conveniente utilizzare direttamente l'ammoniaca come combustibile, ma vi sono problemi soprattutto a causa della bassa velocità di fiamma e dell'alta energia di innesco propri delle miscele aria-ammoniaca. Questo rende il comportamento del motore molto irregolare, con grosse difficoltà negli avviamenti a freddo. Vi è quindi la necessità di abbinare all'ammoniaca altri combustibili che ne incrementino le qualità di combustione.

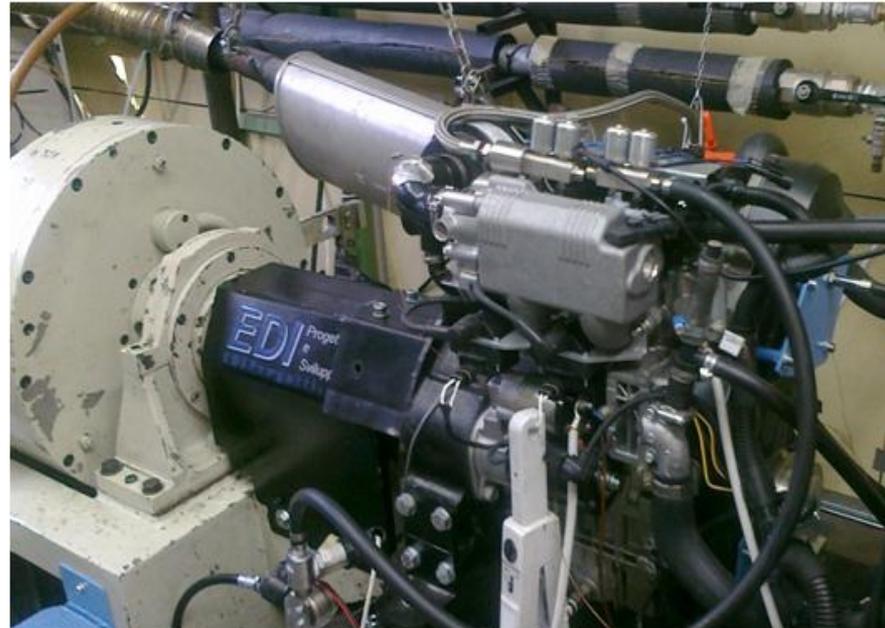
L'idrogeno è quello che dà i benefici migliori, essendo contraddistinto da alta velocità di fiamma e bassa energia di innesco, caratteristiche opposte e quindi complementari rispetto a quelle dell'ammoniaca.



# Motore alimentato con miscela di ammoniaca e idrogeno : risultati sperimentali

Le prove al banco hanno confermato la necessità di aggiungere idrogeno all'ammoniaca in una percentuale minima, che in energia varia da circa il 7% a pieno carico al 10% a medio carico, per garantire un comportamento regolare del motore (bassa dispersione ciclica, facilità di avviamenti a freddo).

A pieno carico, il motore ha erogato una potenza, rispetto a quella del motore alimentato a benzina, inferiore di circa il 10% ai bassi regimi di rotazione e di circa il 25% agli alti regimi.





# Motore alimentato con miscela di ammoniaca e idrogeno : risultati sperimentali

