



Realtà e prospettive per la generazione e l'utilizzo dell'idrogeno

27 novembre 2020

Motori sperimentali ad idrogeno e ad ammoniaca, il più conveniente vettore dell'idrogeno

In collaborazione con:



Regione Toscana



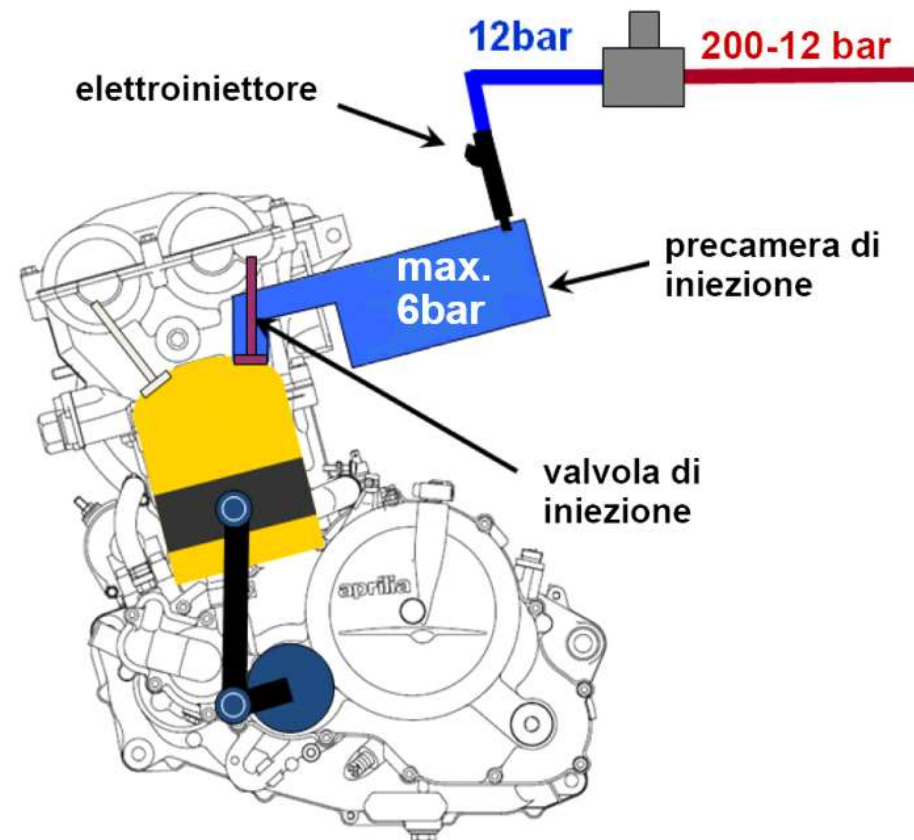
Roberto Gentili
Università di Pisa

Sistema di iniezione diretta di H₂ a due stadi (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)

Ricerca finanziata dalla Regione Toscana e svolta in collaborazione tra Università di Pisa ed EDI S.r.l.

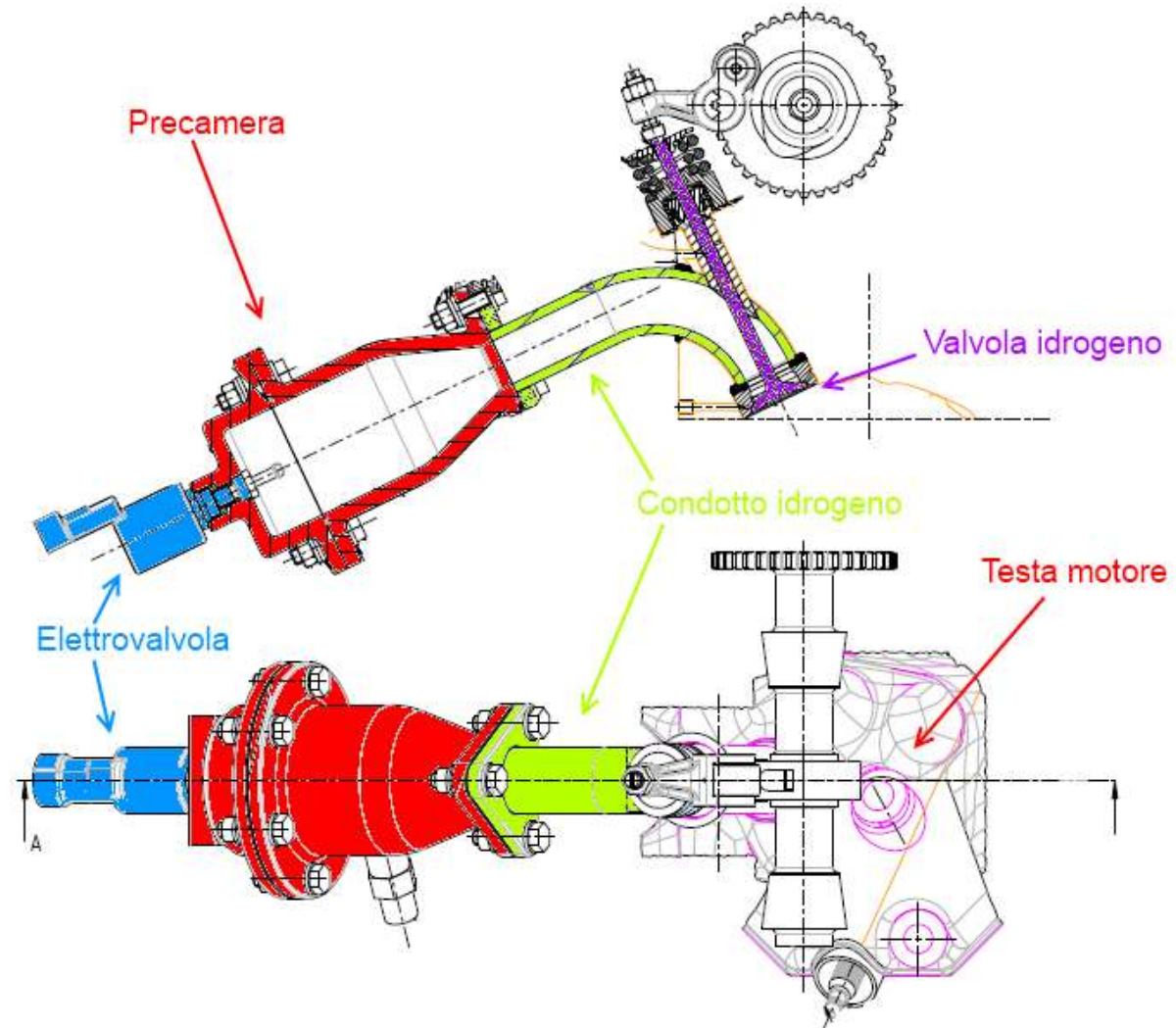
Primo stadio: l'H₂ fluisce in piccolo serbatoio d'accumulo (precamera d'iniezione) attraverso un normale elettroiniettore per iniezione indiretta di metano (efflusso sonico; durata apertura lunga, al limite fino 720° manovella).

Secondo stadio: dopo la chiusura delle valvole aspirazione l'H₂ viene addotto al cilindro attraverso una valvola a fungo attuata meccanicamente (sezione di efflusso ampia; durata di apertura poche decine di gradi di angolo di manovella).

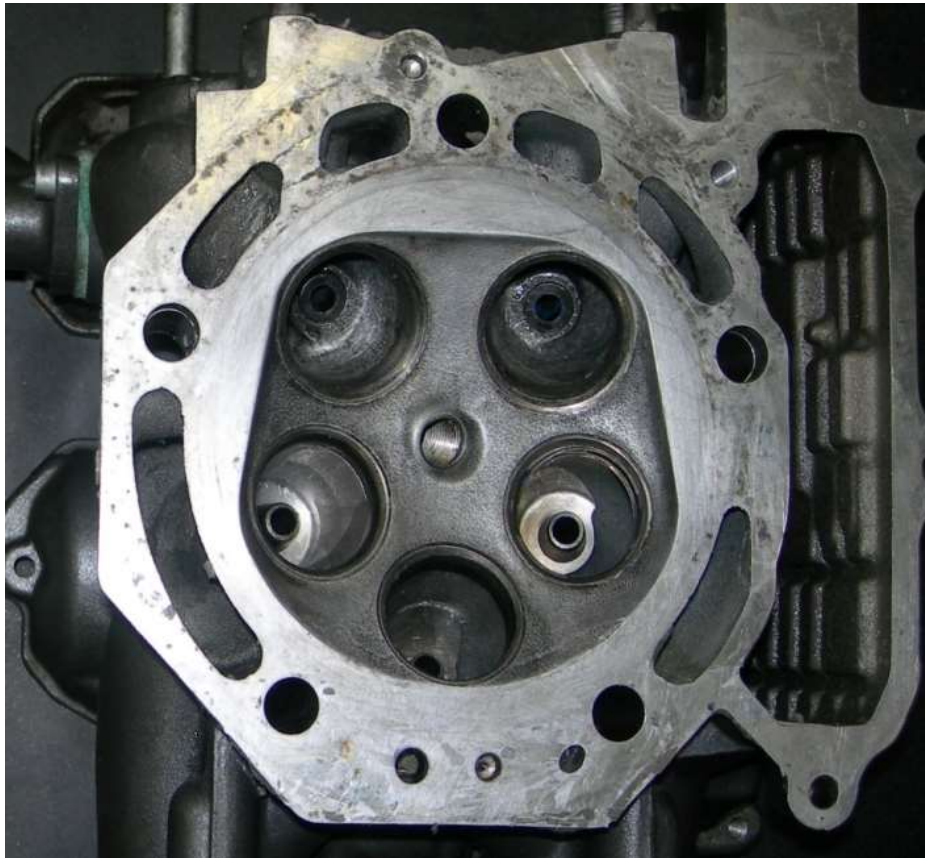


Sistema di iniezione diretta di H₂ a due stadi (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)

Il sistema è adatto a motori prestazionali. Unisce i vantaggi dell'iniezione diretta (alta potenza specifica, nessun ritorno di fiamma nel collettore di aspirazione) con quelli dell'iniezione indiretta (massimo sfruttamento della pressione residua nel serbatoio, fino a ~ 12 bar).

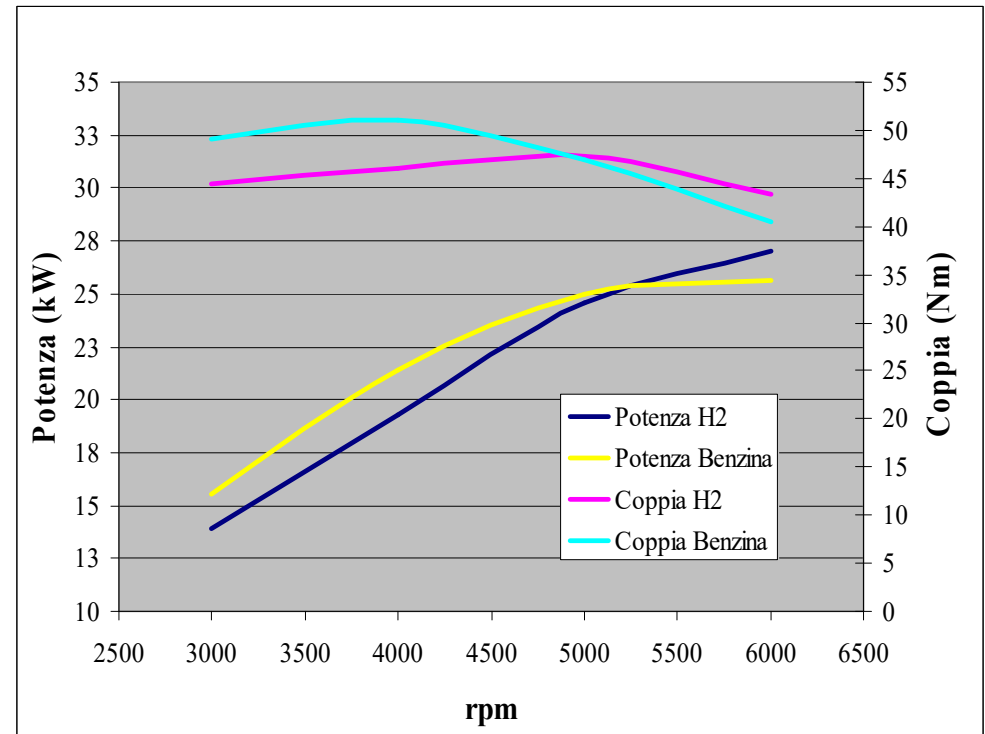
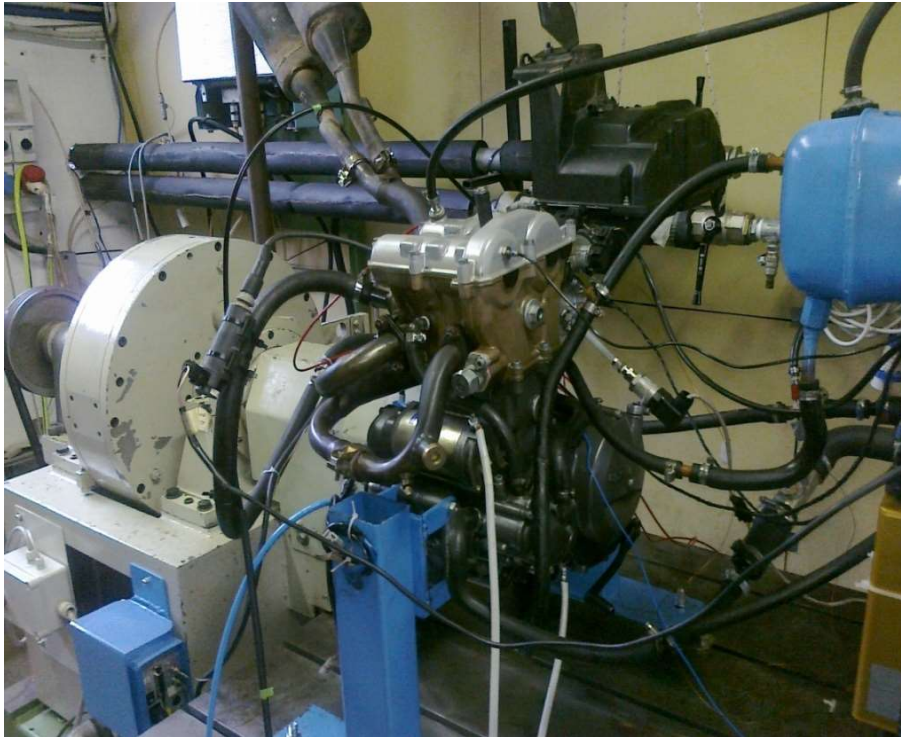


Sistema di iniezione diretta di H₂ a due stadi (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)



Il motore sperimentale è stato allestito modificando un motore motociclistico Aprilia-Rotax 650 cm³.

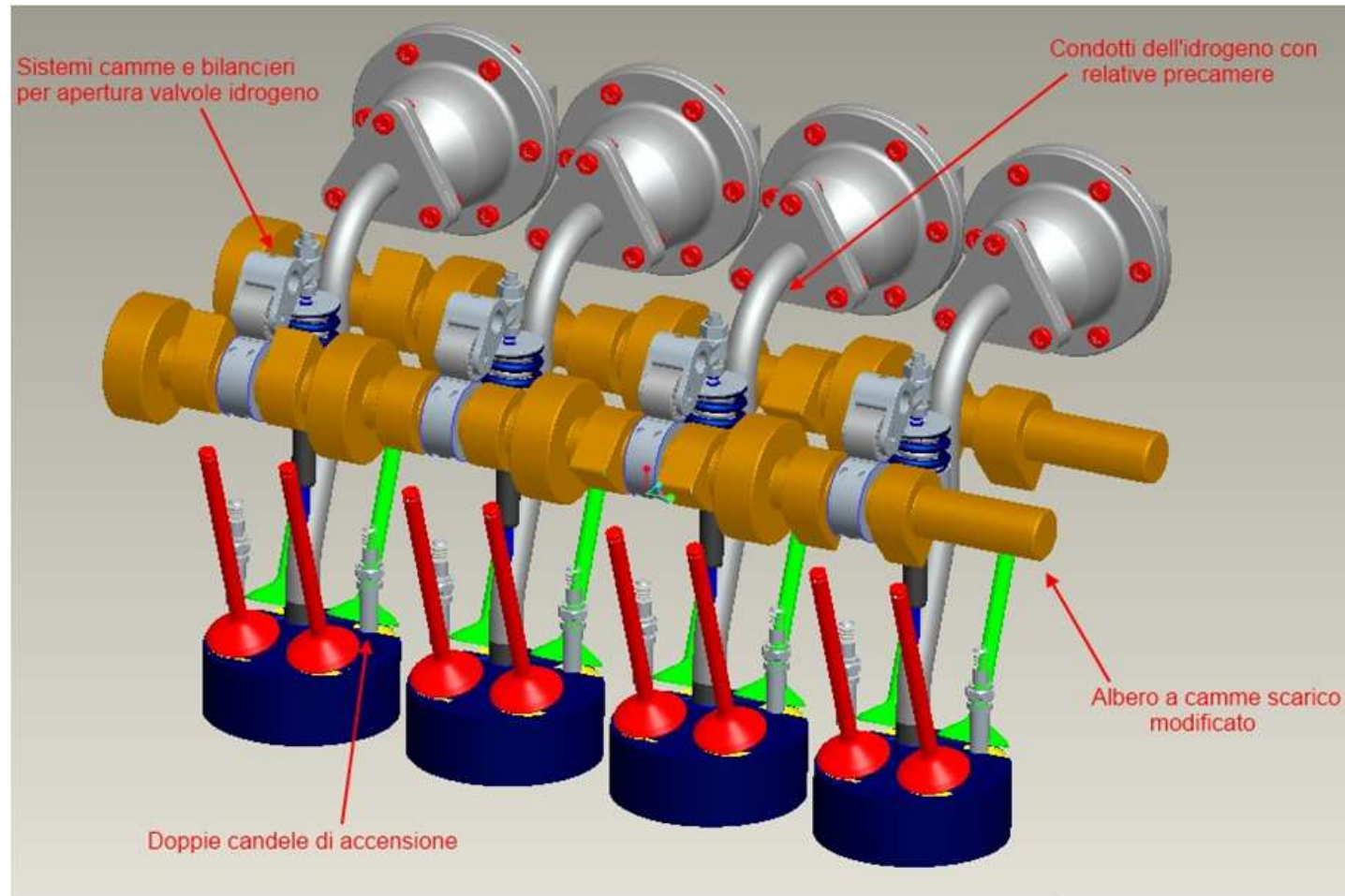
Sistema di iniezione diretta di H₂ a due stadi (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)



La sperimentazione al banco ha dimostrato un ottimo funzionamento del motore, che ha fornito una potenza massima superiore a quella ottenuta con alimentazione a benzina e, anche grazie alla possibilità di operare correttamente con miscela molto povera, un rendimento massimo molto alto (all'uscita del cambio 36% con $\lambda = 2,2$).

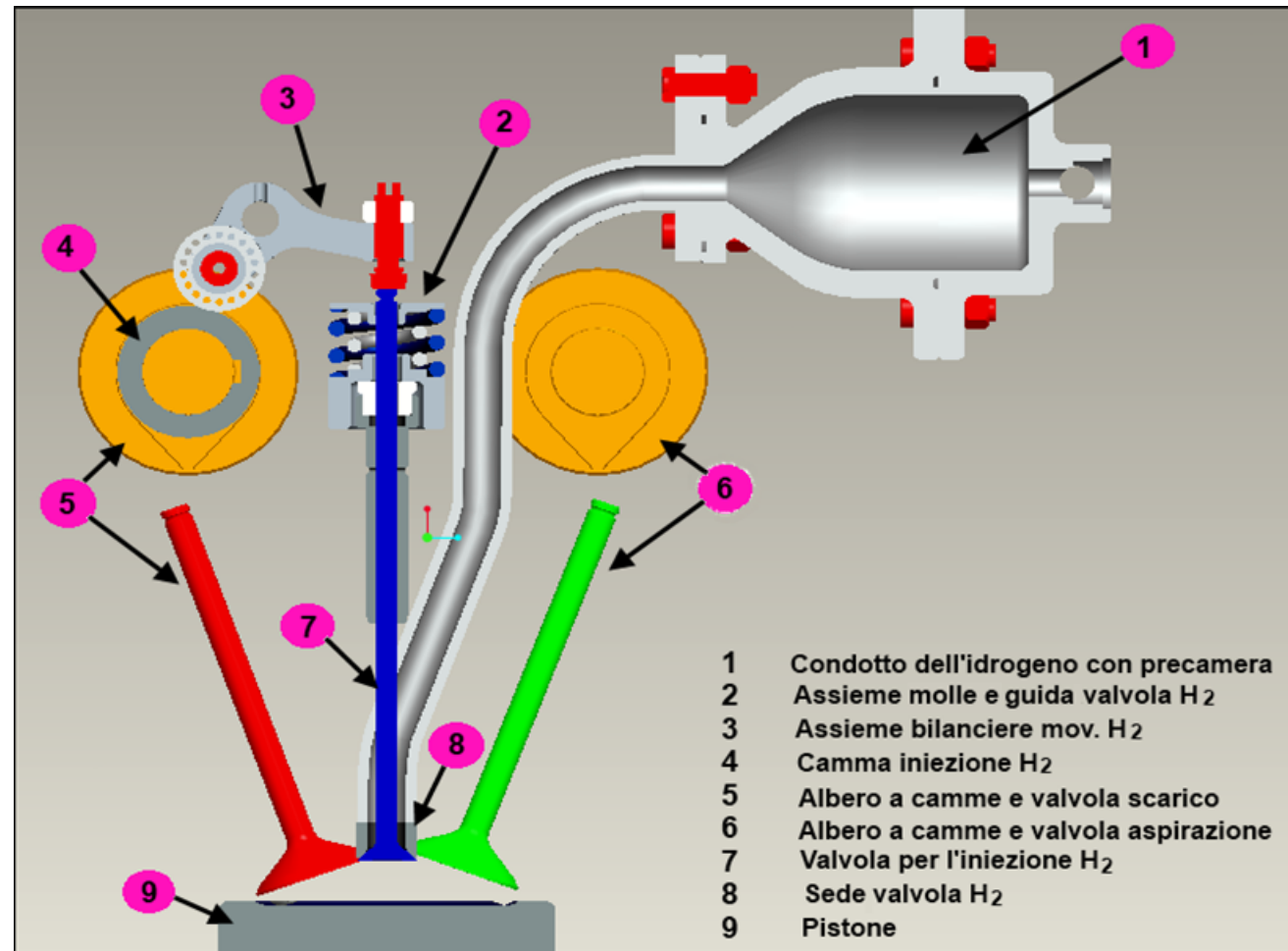
Sistema di iniezione diretta di H₂ a due stadi (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)

È stata inoltre studiata una soluzione per motore pluri-cilindrico.



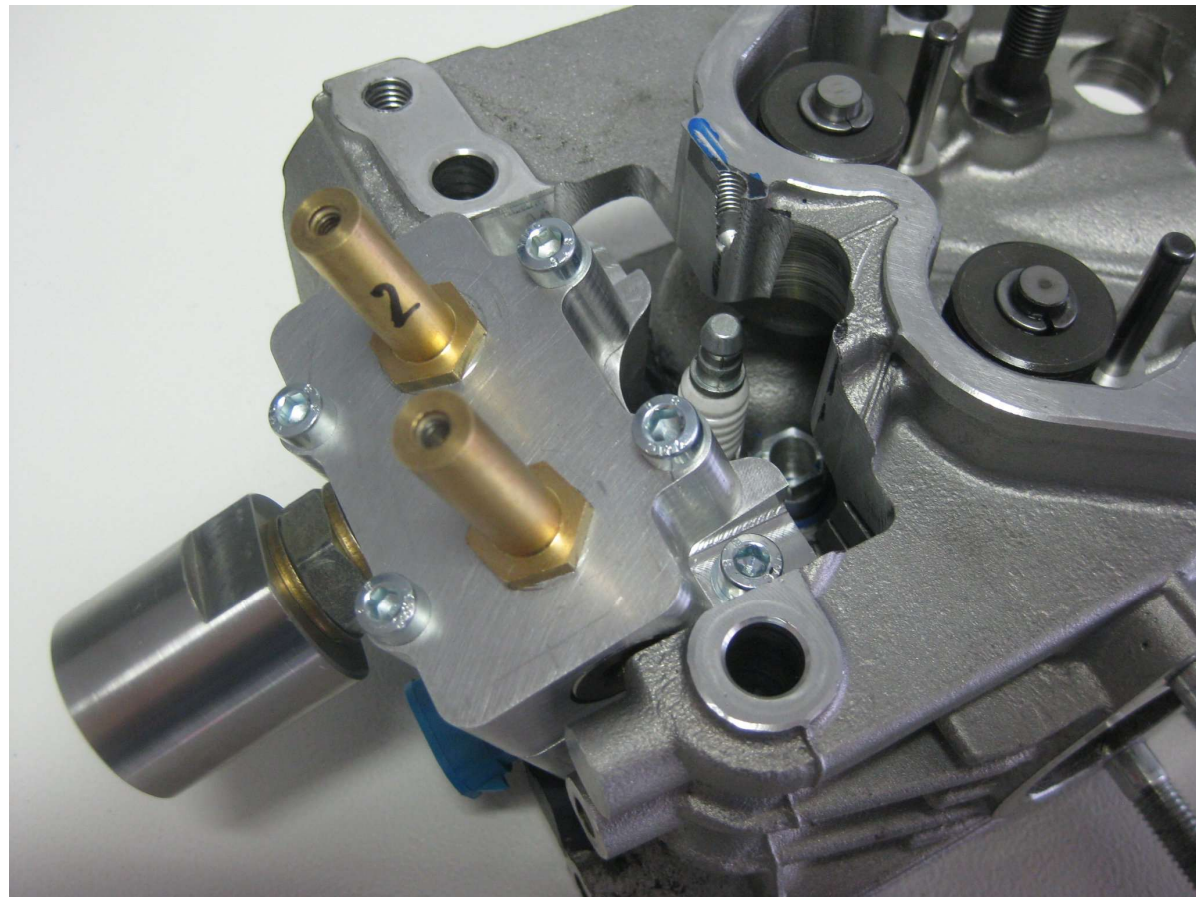
Sistema di iniezione diretta di H₂ a due stadi (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)

La soluzione non comporta alterazioni eccessive della configurazione originale del motore.



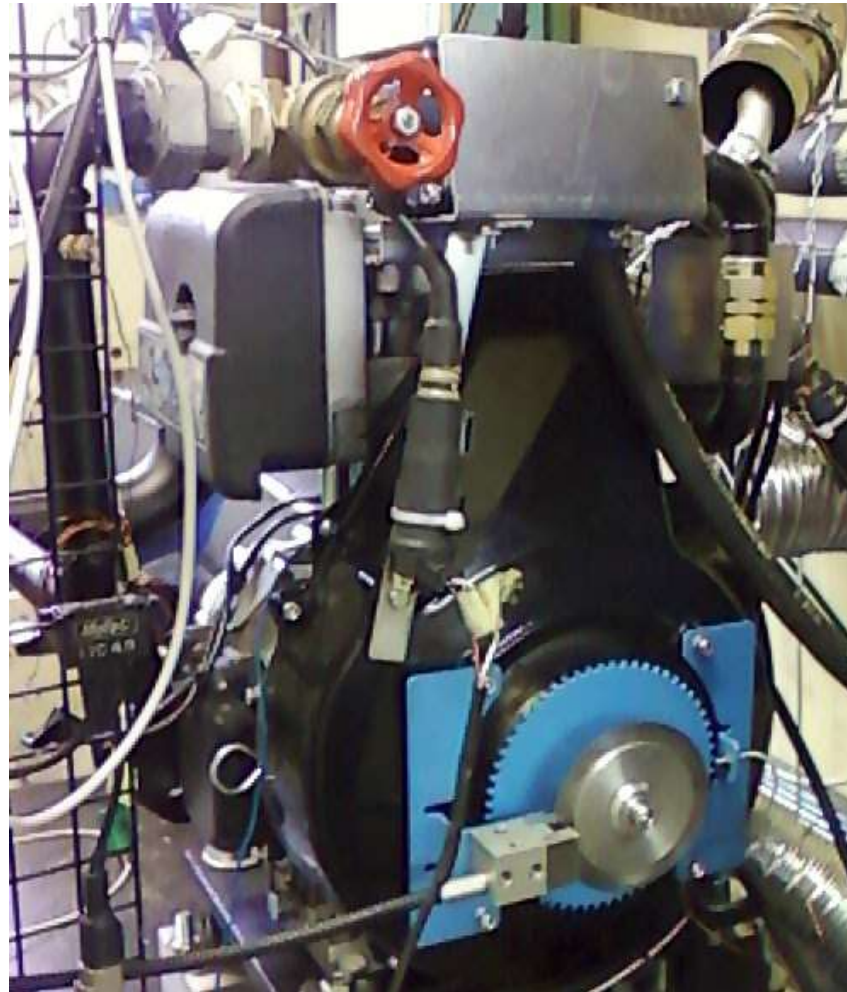
Sistema di iniezione diretta di H₂ ad un solo stadio (Progetto H₂ Filiera Idrogeno 2007-2012)

Per motori meno prestazionali è stato studiato un sistema d'iniezione diretta a bassa pressione ad un solo stadio. Sono stati impiegati elettroiniettori ad elevata portata destinati in origine all'iniezione diretta "air assisted" di benzina. Per l'Università di Pisa ha partecipato alla ricerca il gruppo del Prof. Martorano.



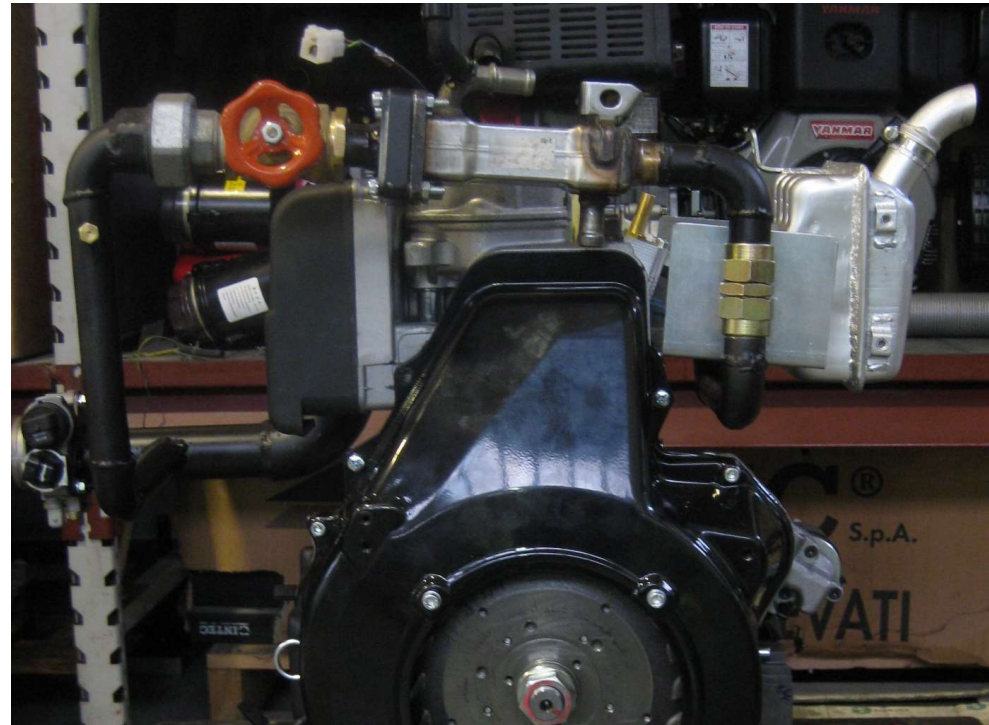
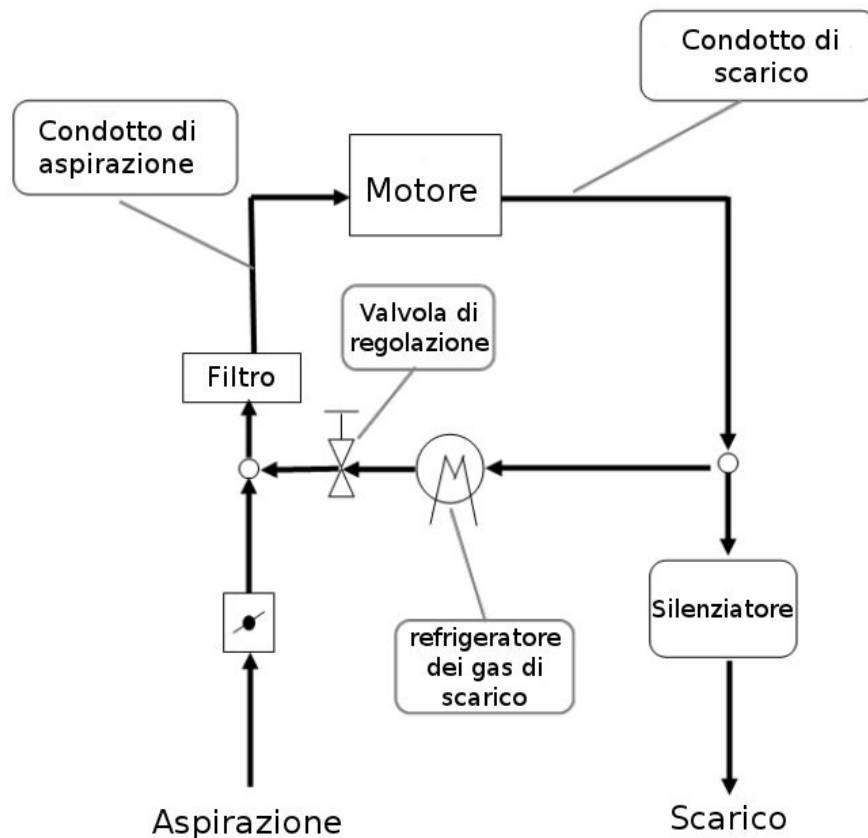
Sistema di iniezione diretta di H_2 ad un solo stadio (Progetto H_2 Filiera Idrogeno 2007-2012)

Il motore sperimentale è stato realizzato modificando un monocilindrico Lombardini di 500 cm³.



Sistema di iniezione diretta di H_2 ad un solo stadio (Progetto H_2 Filiera Idrogeno 2007-2012)

Grazie al ricircolo di gas combusti raffreddati si è ridotta fino al 98% la produzione di NO_x , confermando che un motore a combustione interna ad idrogeno può dar luogo ad emissioni inquinanti prossime a zero.



L'ammoniaca, il più conveniente vettore dell'idrogeno

Generalità

Stoccare l'idrogeno a bordo del veicolo è un problema di non semplice ed economica soluzione dati l'elevato volume specifico dell'idrogeno gassoso o la bassa temperatura dell'idrogeno liquido.

Un'alternativa è usare l'ammoniaca, che a soli ~ 9 bar è liquida a temperatura ambiente e contiene più idrogeno (1,7 volte) dello stesso idrogeno liquido a pari volume, consentendo serbatoi relativamente piccoli, leggeri e poco costosi, come quelli per il GPL. Rispetto a questo il volume di ammoniaca da stoccare è circa doppio a parità di autonomia.



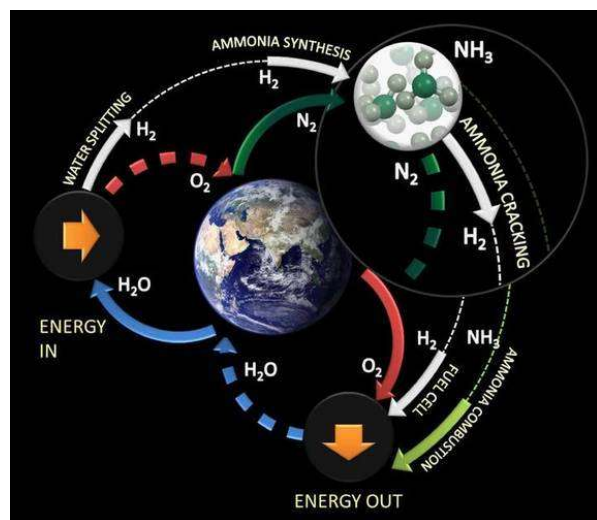
L'ammoniaca, il più conveniente vettore dell'idrogeno

Generalità

Dall'ammoniaca, mediante reforming catalitico, può essere estratto sul veicolo idrogeno da usare in celle a combustibile o in motori a combustione interna.

In questi ultimi conviene impiegare come combustibile direttamente l'ammoniaca, che però presenta bassa velocità di fiamma ed alta energia di innesco. Così, perché il motore possa funzionare regolarmente ed avviarsi a freddo occorre abbinare altri combustibili all'ammoniaca.

L'idrogeno è il più adatto, perché ha bassa energia d'innesco alta velocità di fiamma, proprietà opposte e complementari rispetto a quelle dell'ammoniaca.

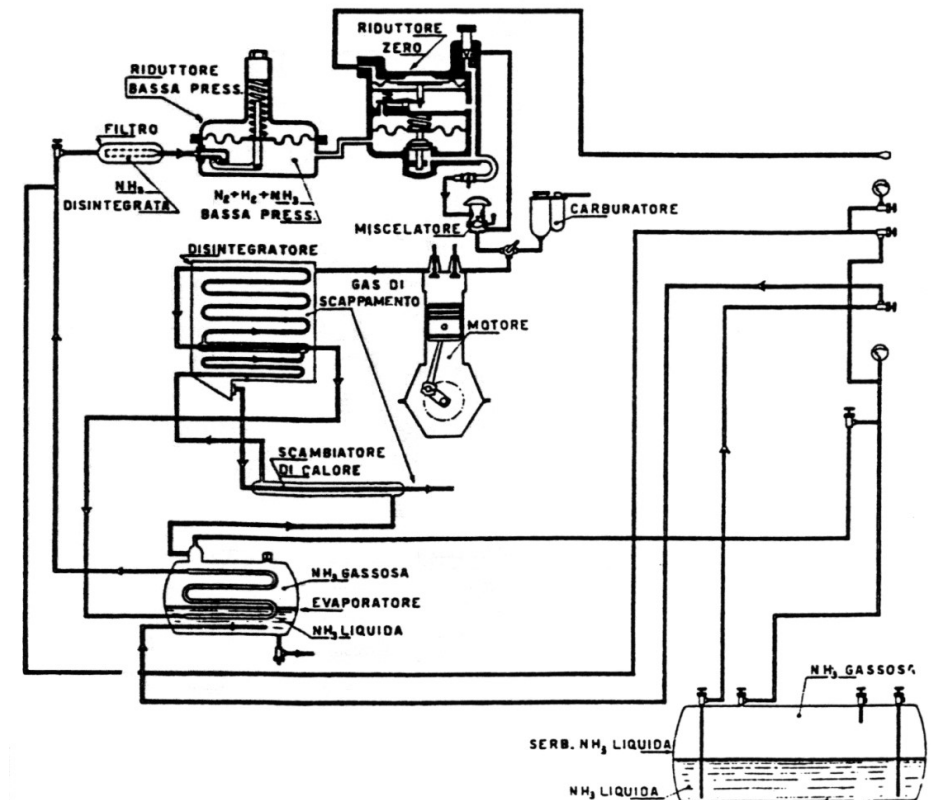


Proprietà		Ammoniaca	Idrogeno
Potere calorifico inferiore	[MJ/kg]	18,8	120
Limiti di infiammabilità (gas in aria)	[vol. %]	15-28	4-75
Velocità laminare di fiamma (gas in aria)	[m/s]	0,015	2,93
Temperatura di autoaccensione	[°C]	651	570
Energia di autoaccensione	[mJ]	8,0	0,02
Numero di ottano	[RON]	>130	130
Massa volumica (1 bar)	[g/dm ³]	0,703	0,089
Rapporto stechiom. massico (aria/comb.)		6,04	34,3
Contenuto energetico (miscela stechiom.)	[MJ/kg]	2,8	3,3

L'ammoniaca, il più conveniente vettore dell'idrogeno

Un po' di storia...

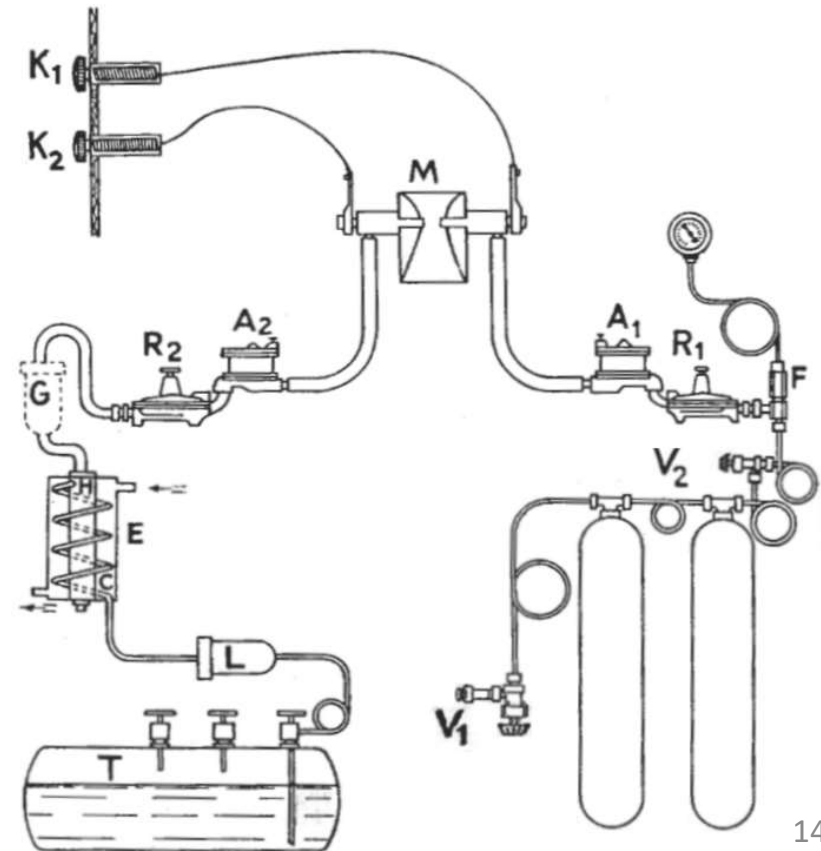
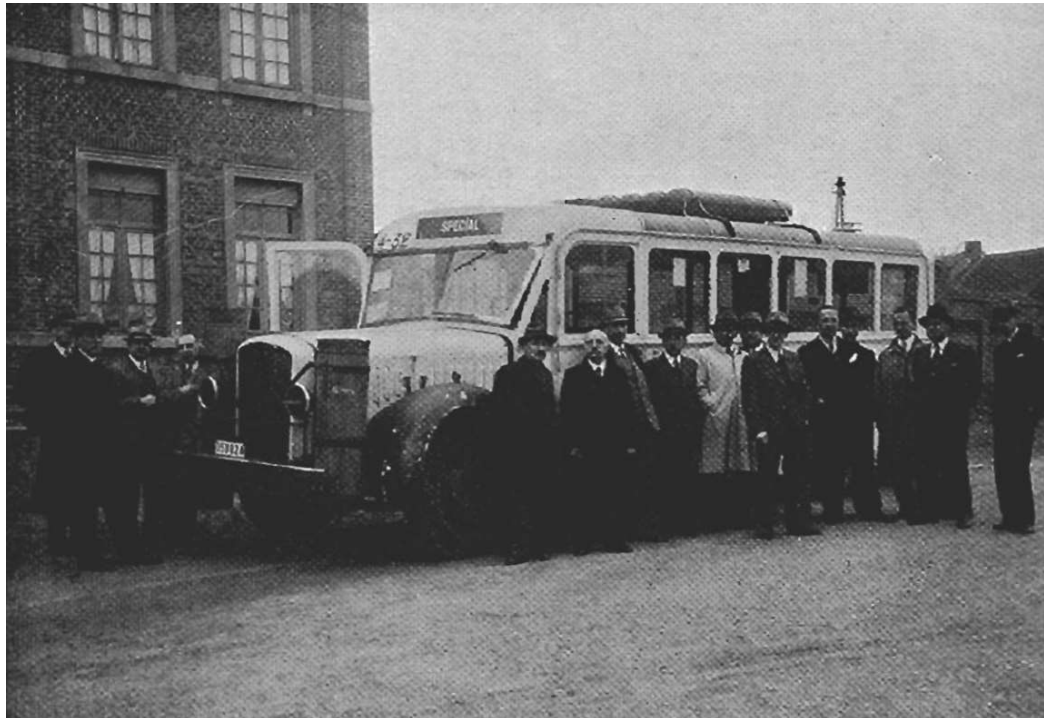
Nel 1935 il Dott. Mario Zavka della Società SIRI di Terni modificò una FIAT 509 per farla funzionare ad ammoniaca ed idrogeno, ottenuto dalla parziale decomposizione catalitica dell'ammoniaca mediante calore tratto dai gas di scarico del motore.



L'ammoniaca, il più conveniente vettore dell'idrogeno

Un po' di storia...

Nel 1942 In Belgio fu presentato il “processo Gazamo” per l'alimentazione dei motori a combustione interna con ammoniaca e gas illuminante (idrogeno > 50%), contenuto in serbatoi ad alta pressione. Venne impiegato senza problemi in oltre cento veicoli, tra cui nel 1943 una flotta di otto autobus che percorse molte decine di migliaia di chilometri.



Progetto SAVIA 2009-2012

“Sistema di Alimentazione di Veicoli a Idrogeno e Ammoniaca”

Il progetto SAVIA (Sistema di Alimentazione di Veicoli a Idrogeno e Ammoniaca), finanziato dalla Regione Toscana, è nato con il fine di realizzare un prototipo sperimentale di veicolo funzionante ad ammoniaca e piccole quantità d'idrogeno, ottenute per decomposizione termica dell'ammoniaca mediante catalizzatore.

Il progetto, a cui hanno partecipato Università di Pisa, Scuola Superiore Sant'Anna e un pool di imprese (EDI Progetti, ACTA e BIGAS), ha portato alla realizzazione di un “range extender” installato su un autocarro elettrico da 35 q.li di PTT con vasca portarifiuti e volta bidoni per la raccolta porta a porta.



Motore ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

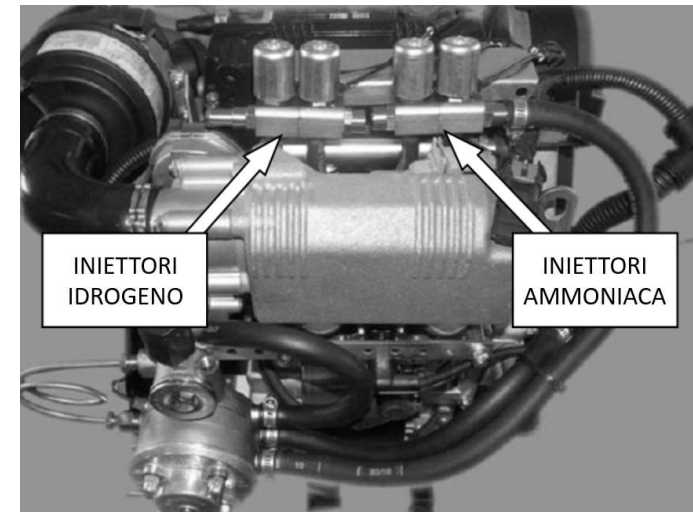
È stato utilizzato un motore ad A.C. bicilindrico Lombardini (mod. LGW-523 MPI) raffreddato a liquido. L'unica modifica meccanica è consistita negli alloggiamenti per gli iniettori dell'ammoniaca e dell'idrogeno nel collettore d'aspirazione. La centralina elettronica originale di controllo motore è stata rimpiazzata con una liberamente programmabile.

LGW 523 MPI

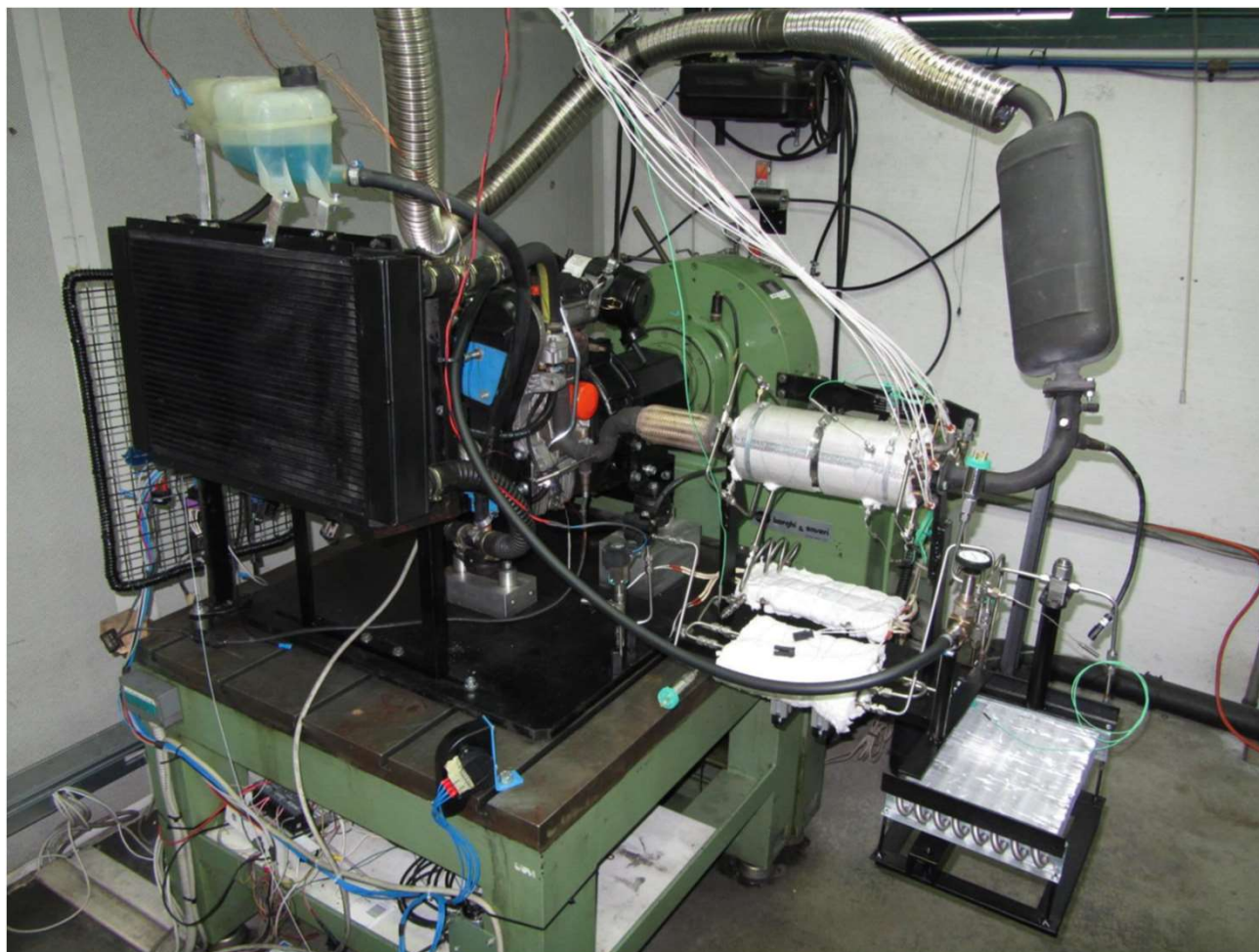
- 2 cilindri
- 505 cm³
- 15,0 kW/20,4 CV @ 5000 giri/min
- Nm 34,0@2150
- 21,0 kW/28,5 CV @ 6000 giri/min
- Nm 39,0@2200

Omologazioni disponibili

- EPA TIER II
- 2002/88/CE Stage 2



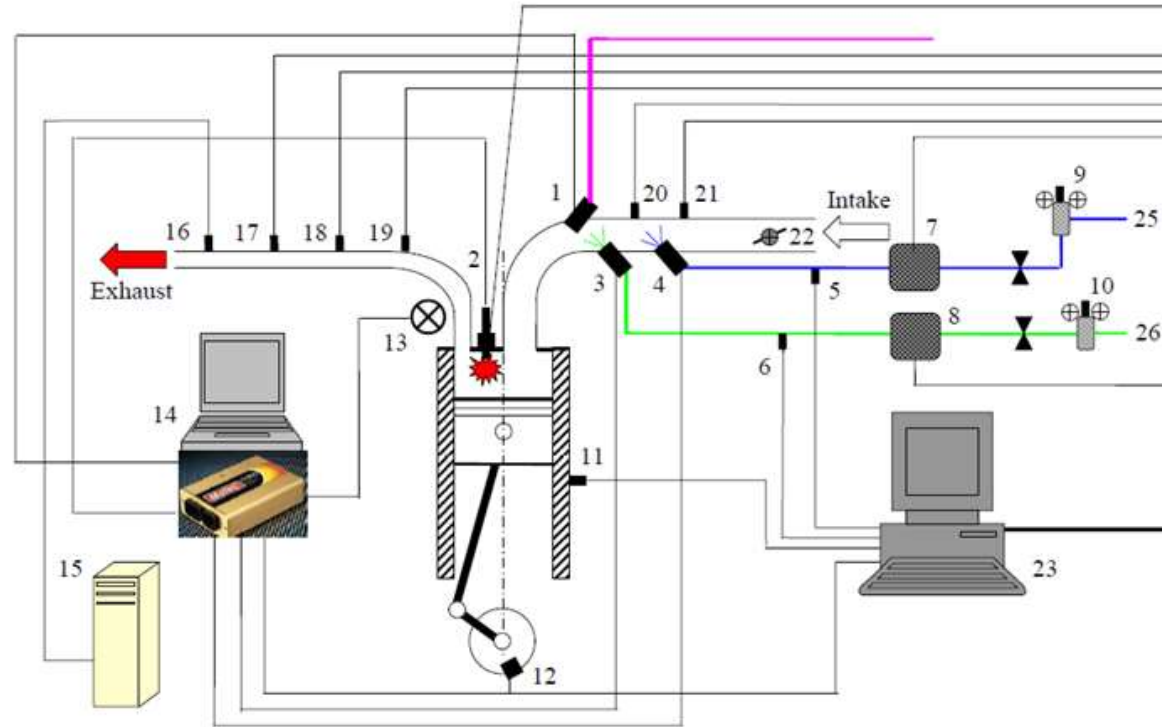
Motore ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)



Motore al banco prova

Motore ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

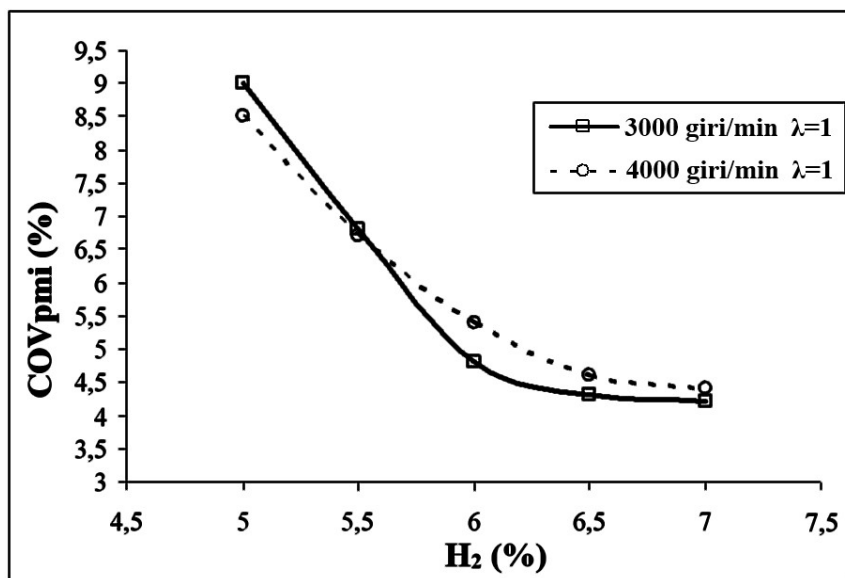
Schema del sistema di prova del motore al banco.



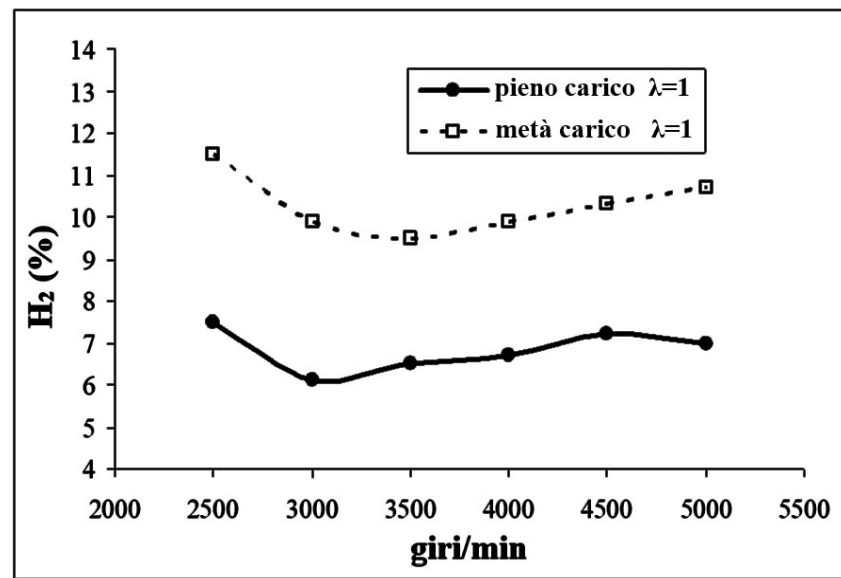
1) Iniettore benzina; 2) candela strumentata, 3) iniettore ammoniaca; 4) iniettore idrogeno; 5) sensore di pressione linea alimentazione idrogeno; 6) sensore di pressione linea alimentazione ammoniaca; 7) misuratore di portata termico dell'idrogeno; 8) misuratore di portata termico dell'ammoniaca; 9) regolatore di pressione della linea idrogeno; 10) regolatore di pressione della linea ammoniaca; 11) termocoppie per misura temperatura acqua e olio motore; 12) marcatore angolare; 13) sensore magnetico per la corretta fasatura della fase di iniezione ed accensione; 14) centralina elettronica di gestione motore; 15) analizzatore a chemiluminescenza per gli NOx; 16) sonda prelievo gas di scarico; 17) sensore di ossigeno UEGO; 18) sensore di pressione allo scarico; 19) termocoppia per misura temperatura scarico; 20) termocoppia per misura temperatura aspirazione; 21) sensore di pressione aspirazione; 22) valvola a farfalla motorizzata; 23) sistema di acquisizione ed analisi dati.

Motore ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

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 a poco più del 10% a medio carico, per ottenere un funzionamento regolare del motore (dispersione ciclica accettabile, ovvero $\max. COV_{pmi} \simeq 4,5\%$).



COV_{pmi} a pieno carico in funzione della percentuale di idrogeno in energia (H_2 %)

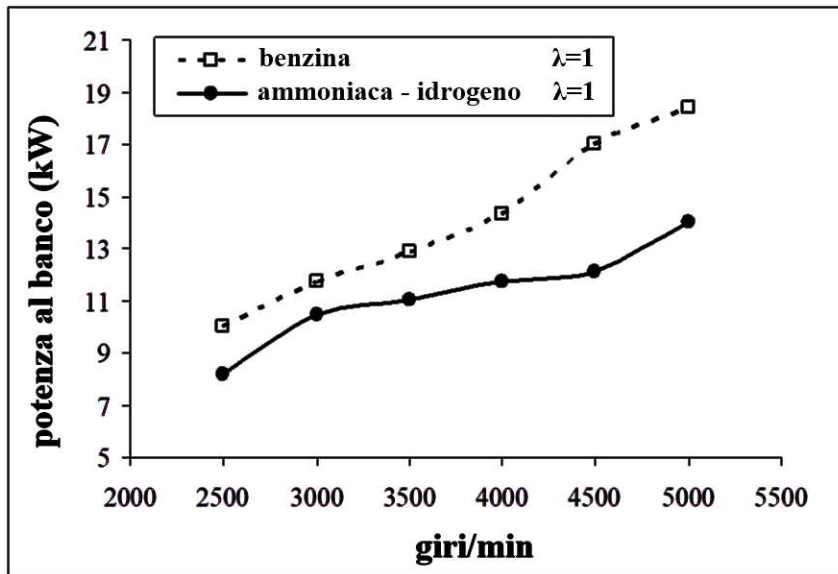


Minima percentuale di idrogeno in energia (H_2 %) necessaria per un funzionamento regolare a pieno e metà carico

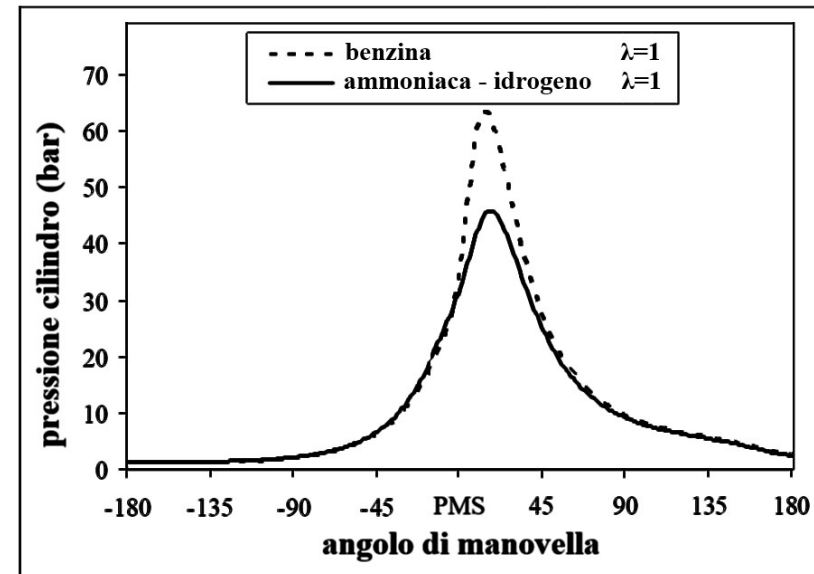
Motore ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

Con $\lambda=1$ e minima percentuale di idrogeno la potenza del motore a pieno carico è diminuita, rispetto all'alimentazione a benzina, tra quasi il 10% alle basse velocità di rotazione e quasi il 25% alle alte.

L'andamento della pressione nel cilindro è congruente con la diminuzione di potenza.



Potenza a pieno carico al banco con benzina e con ammoniaca e minima percentuale di idrogeno

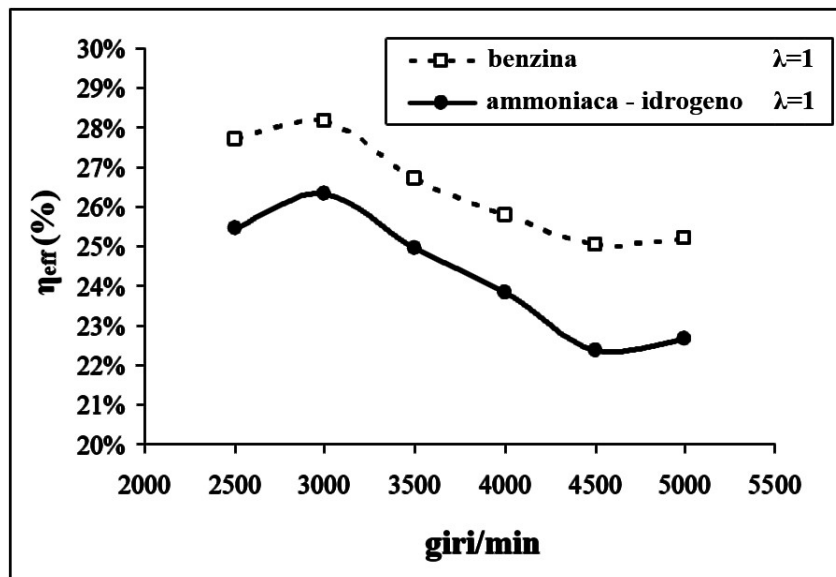


Pressione nel cilindro a 3000 giri/min a pieno carico con benzina e con ammoniaca e minima percentuale di idrogeno

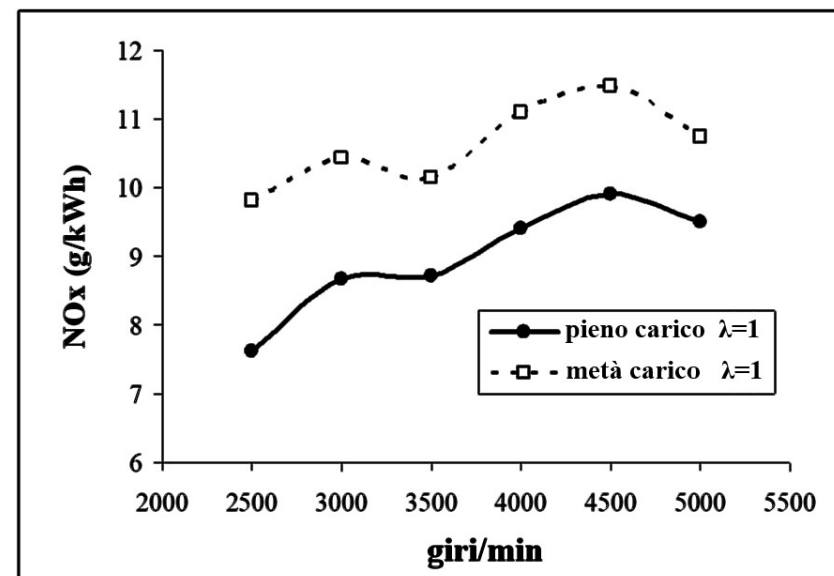
Motore ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

Con $\lambda=1$ e minima percentuale di idrogeno il rendimento è minore del 6% ÷ 10% rispetto al funzionamento a benzina soprattutto per le maggiori perdite termiche dovute alla minore velocità di combustione.

Le emissioni di NO_x , unico inquinante, non rappresentano un problema, potendo essere abbattute da un catalizzatore riducente se $\lambda=1$ o, nel caso di miscele povere, da un SCR che può giovare dalla presenza di ammoniaca a bordo.



Rendimento effettivo (η_{eff}) a pieno carico con benzina e con ammoniaca e minima percentuale di idrogeno



Emissioni di NO_x a pieno carico con benzina e con ammoniaca e minima percentuale di idrogeno

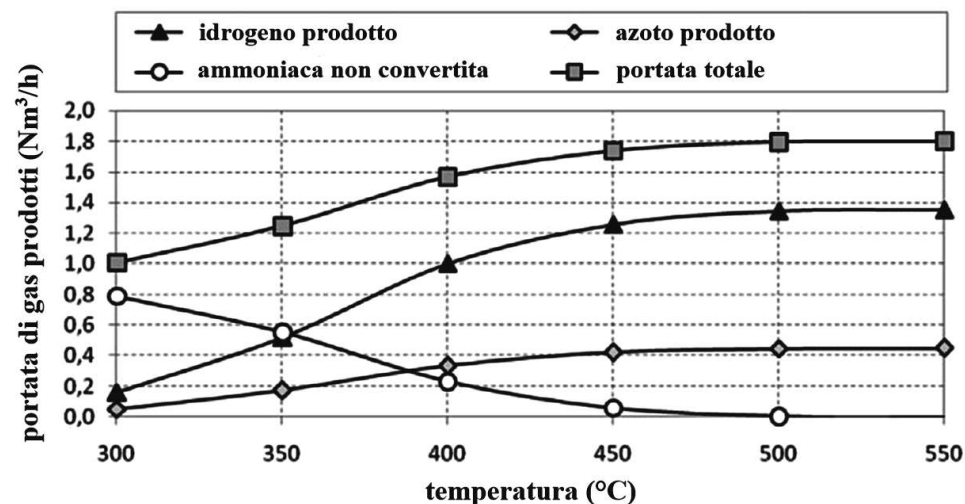
Veicolo ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

È stato studiato e realizzato un convertitore termo-catalitico per la produzione a bordo del veicolo dell'idrogeno necessario per il funzionamento del motore partendo dall'ammoniaca. L'energia termica richiesta dal convertitore proviene sia dai gas di scarico del motore, sia, quando necessario, da resistenze elettriche.

La sperimentazione ha provato la conversione completa dell'ammoniaca in idrogeno e azoto a partire da 500 °C. La portata d'idrogeno è maggiore della minima necessaria con positive conseguenze su rendimento e potenza del motore.



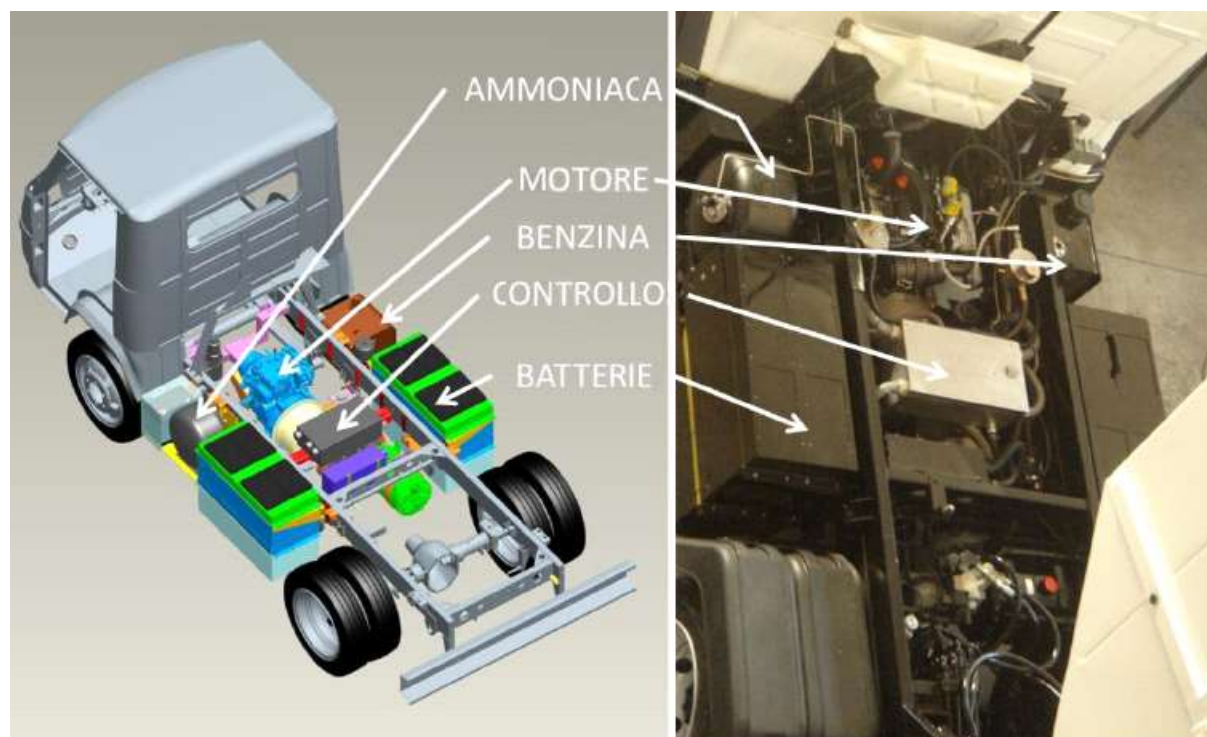
Convertitore termo-catalitico



Portata dei gas prodotti dal convertitore in funzione della temperatura

Veicolo ad ammoniaca ed idrogeno (Progetto SAVIA 2009-2012)

E finalmente..... ecco il veicolo realizzato!





Realtà e prospettive per la generazione e l'utilizzo dell'idrogeno

27 novembre 2020

Grazie per l'attenzione

In collaborazione con:



Regione Toscana



Roberto Gentili
Università di Pisa