



ISTITUTO MOTORI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Dipartimento Energia e Trasporti

Istituto Motori

Soluzioni e Tecnologie per una Mobilità Sostenibile

Ing. Paola Belardini
Direttore Istituto Motori



Motori Convenzionali

Acc. Comandata



PFI, SIDI

Diesel → CIDI

Risparmio Energetico**e Inquinamento Globale:** $\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}, \dots$ **Combustibili
Convenzionali
da fonti fossili****Motori innovativi**

- LTC: HCCI, CAI
- Ibridi
- Elettrochimica :
H₂ Fuel cell,
Batterie,
- MCI H₂

Qualità aria urbana**Inquinamento locale** $\text{NO}_x, \text{PM}, \text{HC}, \text{CO}, \dots$ **Combustibili Alternativi**

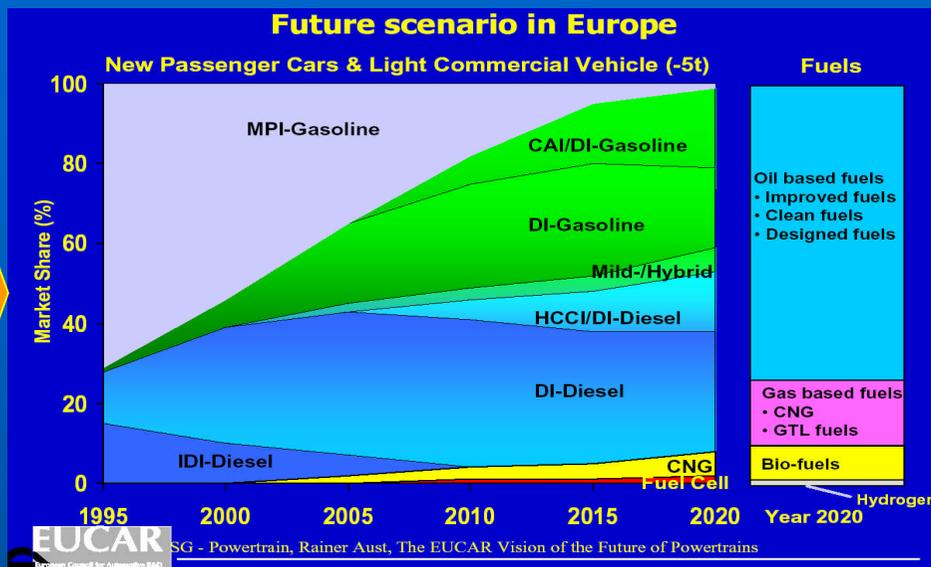
- Gas : CNG, LPG
- Fuels Ex GN : GTL,
DME, MeOH, H₂
- Fuels ex biomass
- Biofuels
- Biogas



ISTITUTO MOTORI

Previsioni di scenario per propulsori e propellenti

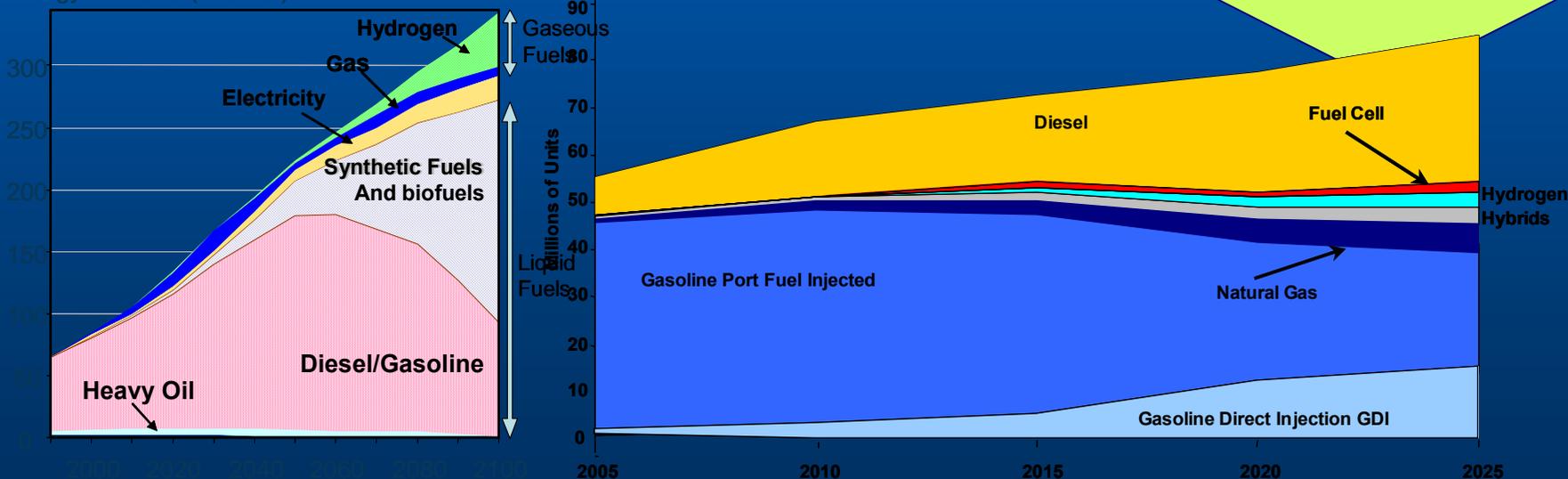
Previsione europea (Eucar)



Previsione worldwide

(J.D.Power and Associates, World Energy Council)

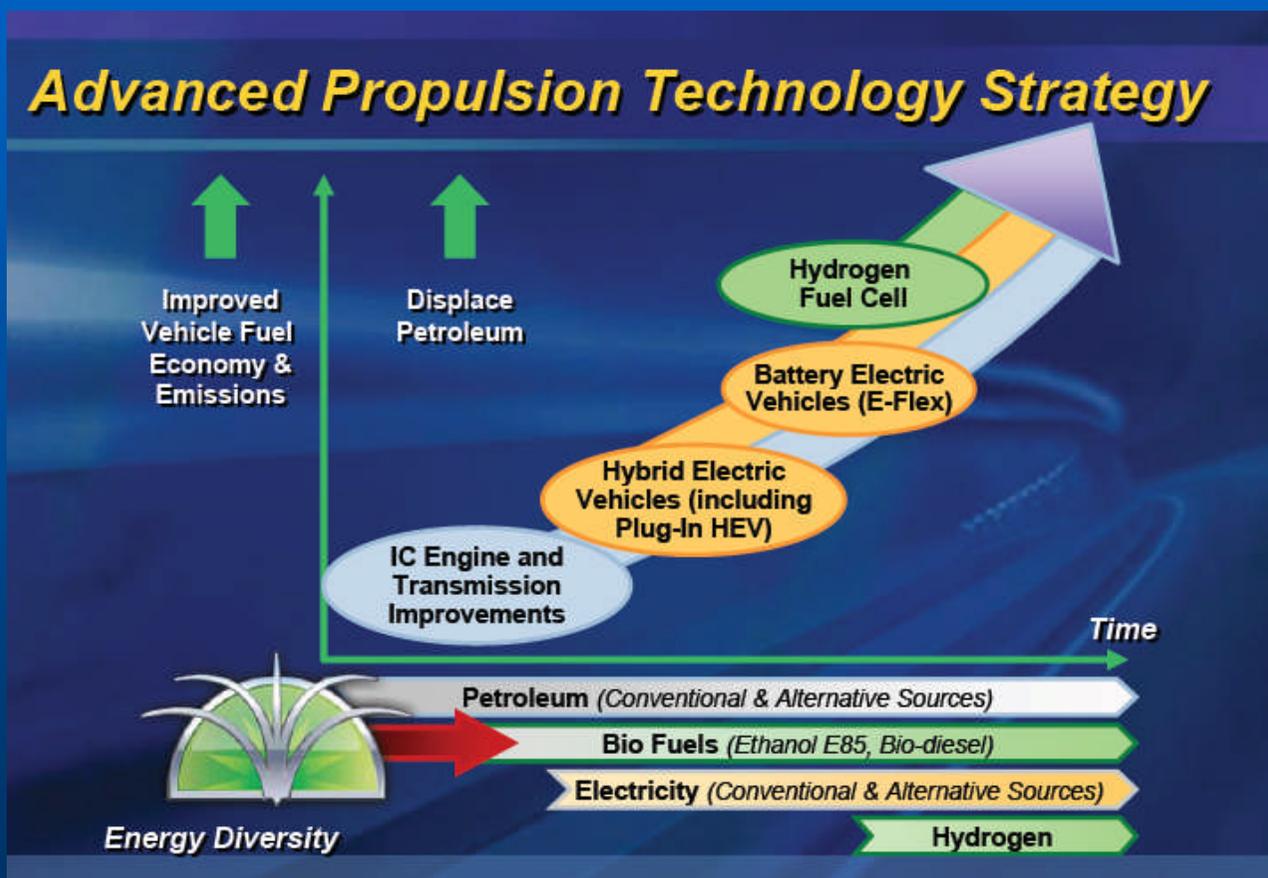
Energy Demand ($\times 10^{18}$ J)



DIVERSIFICAZIONE

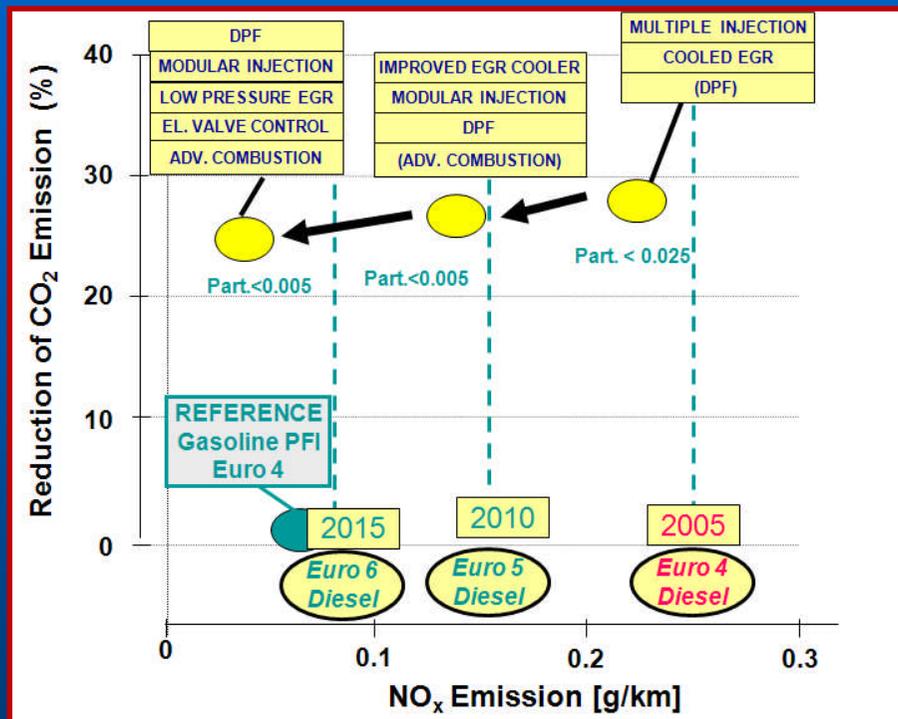
Motori

Combustibili

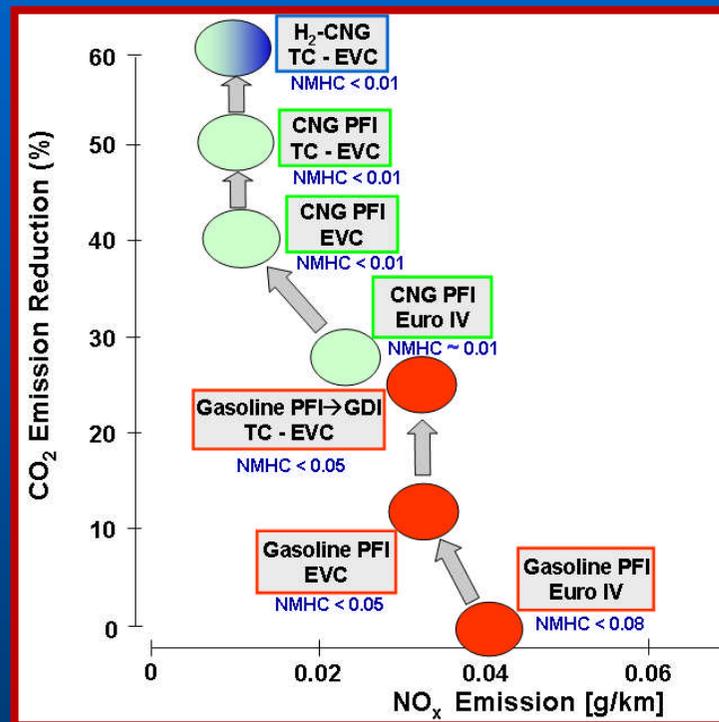


Fonte: General Motors

Diesel



Benzina

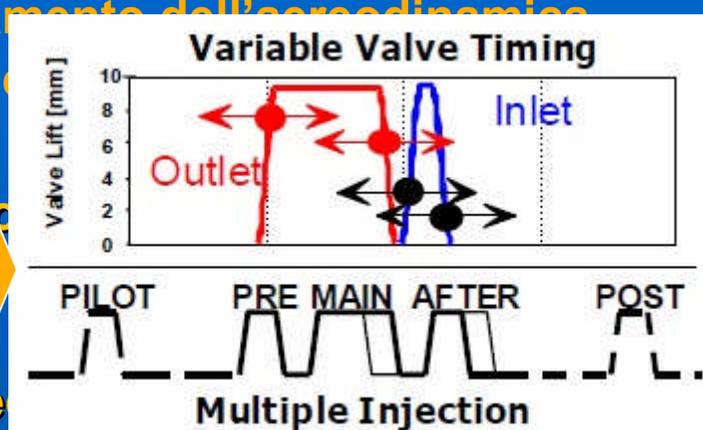
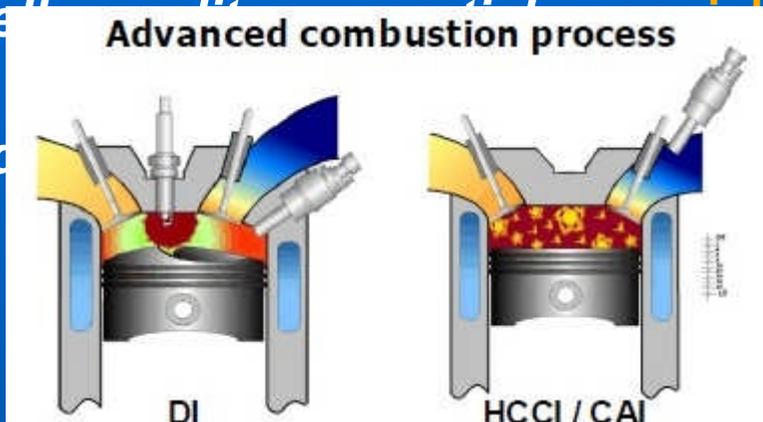


Evoluzione dei limiti di emissione del Soot/Nox trade off

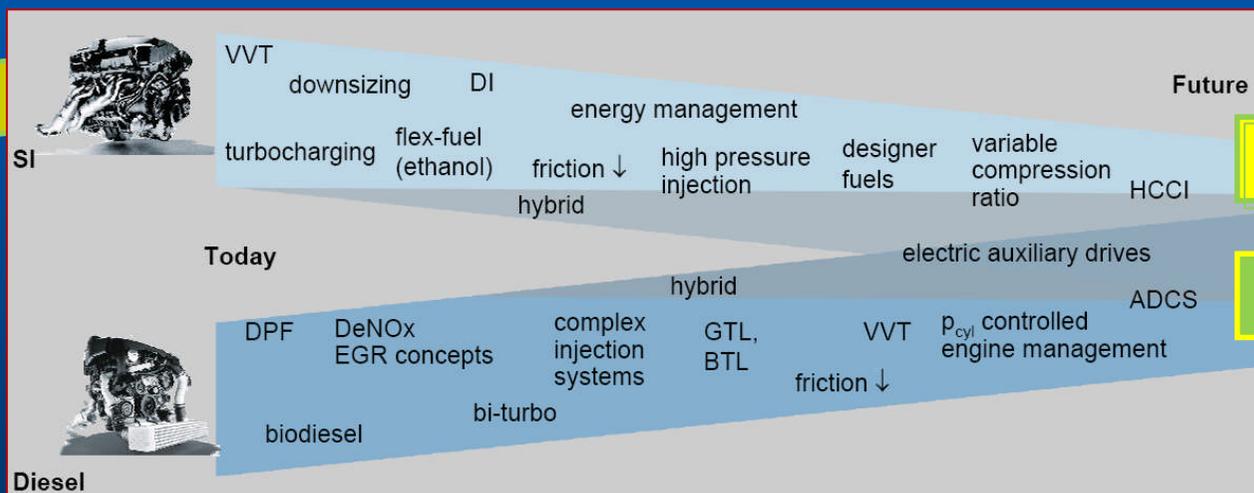
Nel breve termine: tecnologia dei motori

Riduzione dell'... Incremento d... *Incremento dell'efficienza e dell'economia, riduzione dell'operando dell'operando*

Incremento d...



- Sistemi di combustione in bassa temperatura.

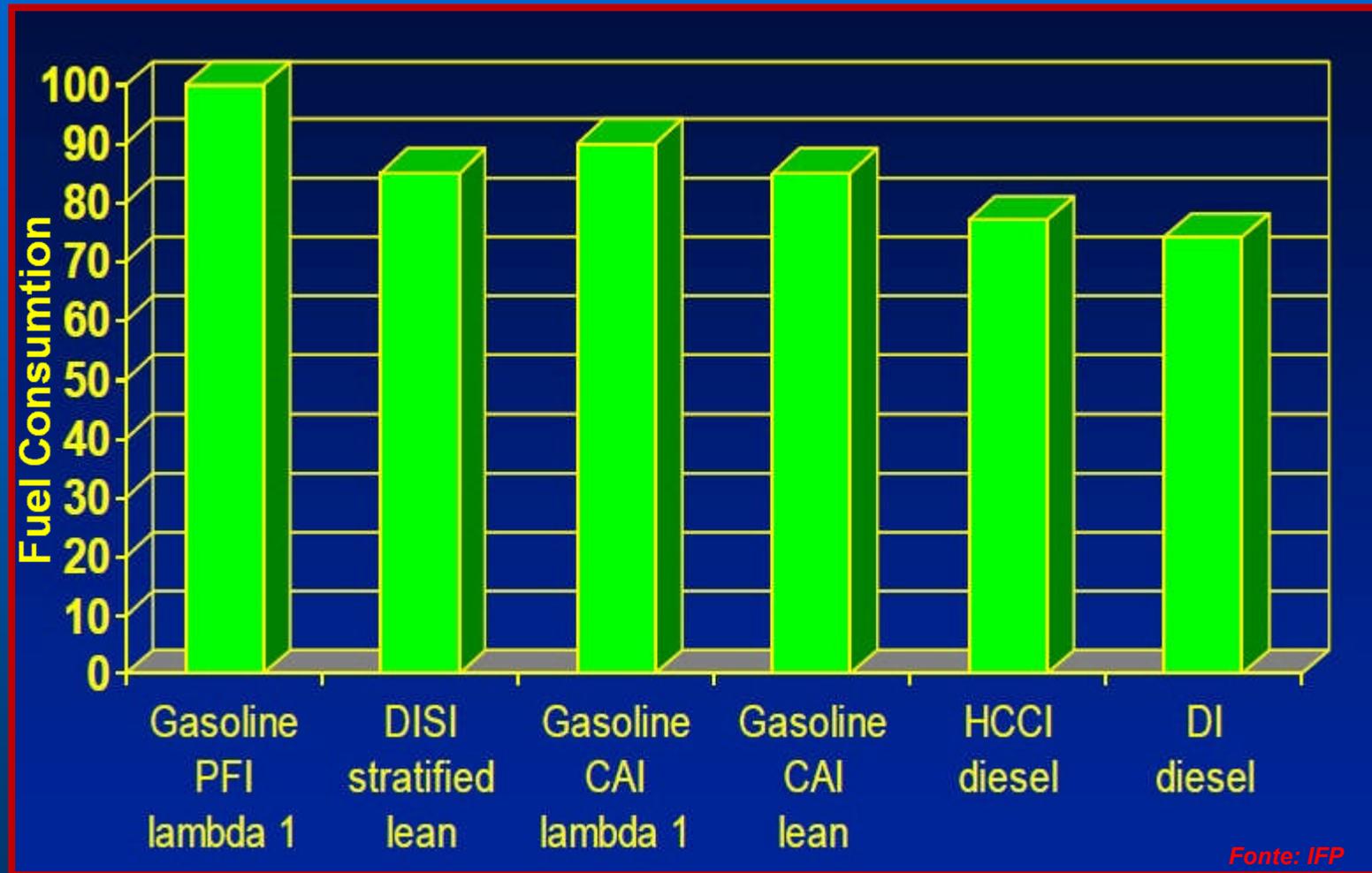


Homogenous Charge Compression Ignition

Advanced Diesel Combustion System

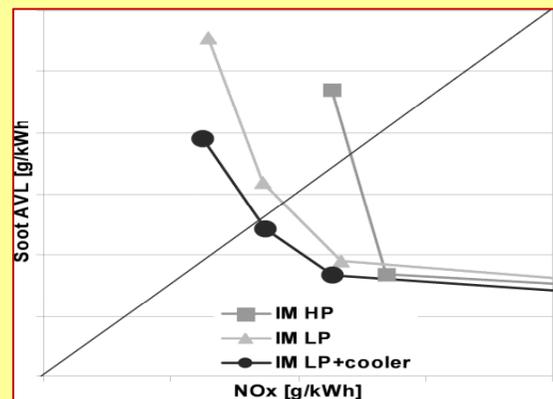
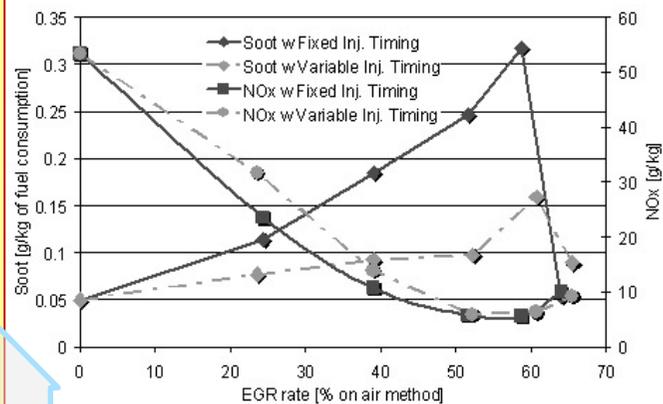
**Combustione in bassa temperatura,
Consequente riduzione degli NO_x,
Combustione completa del combustibile iniettato**

Nuovi tipi di combustione: effetto sui consumi



**Confronto di consumi di combustibili (%)
caratteristici di differenti tipi di processi di combustione**

Nel breve termine: tecnologia dei motori

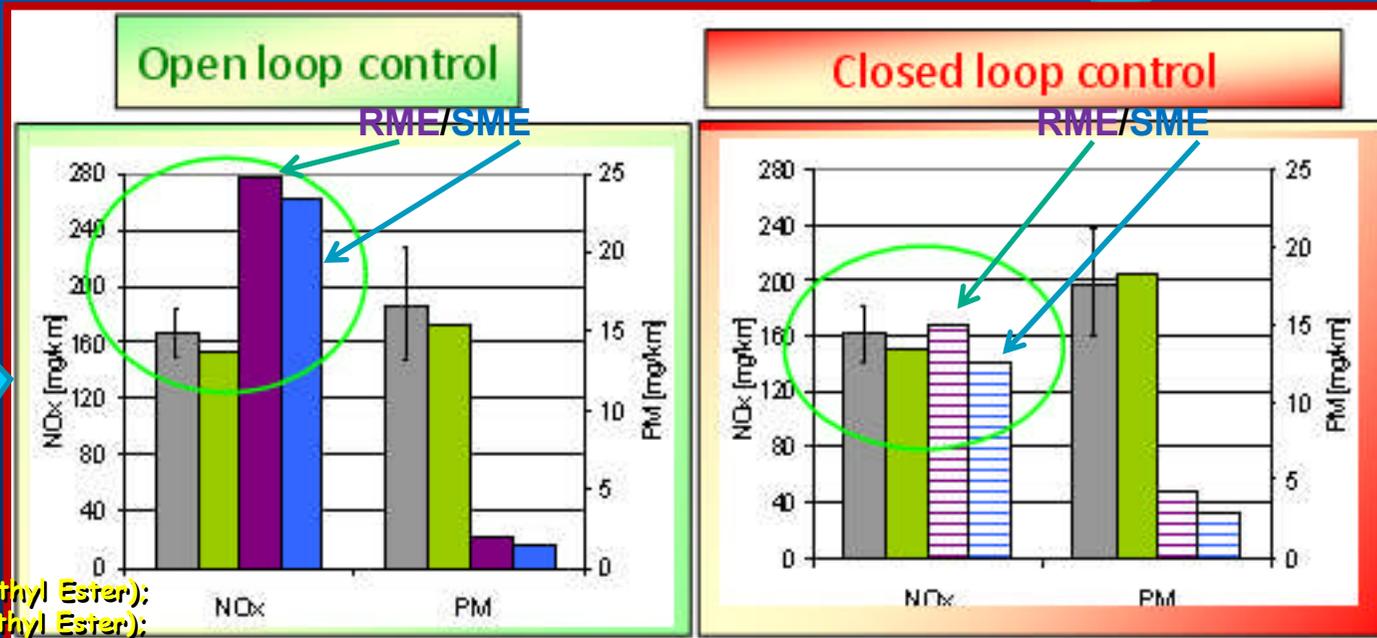


Tecnologia EGR: effetto sul soot

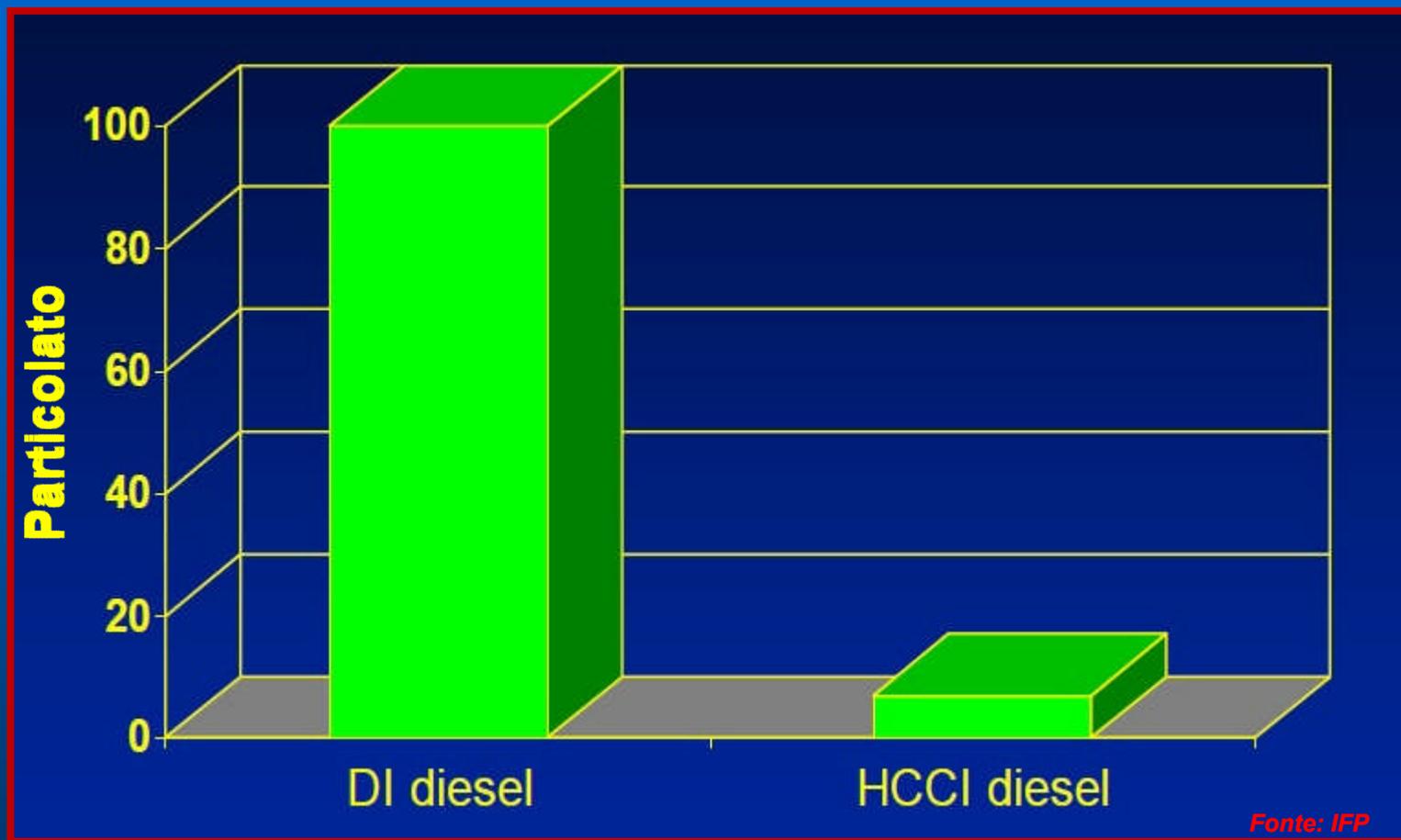
Combustione convenzionale (linee continue)

↑ ↑ EGR + injection timing → combustione PCCI → ↓ Nox con simili valori di soot

Effetto sul soot del controllo a ciclo chiuso dell'antico

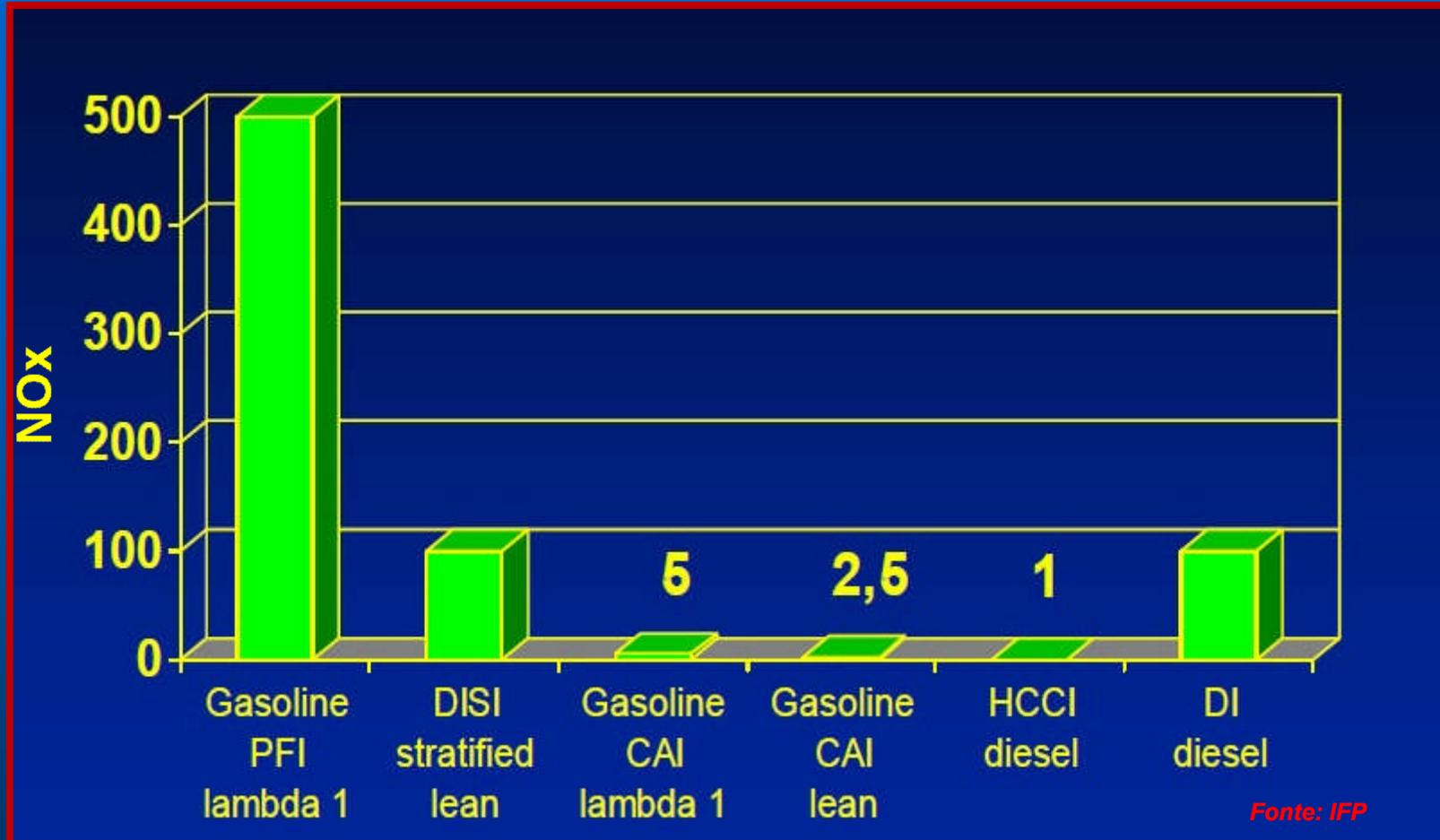


- Reference Diesel Fuel;
- FT fuel (2nd gen.): GTL;
- 1st gen. Biofuel RME (RapeSeed Methyl Ester);
- 1st gen. Biofuel SME (Soybean Methyl Ester);



**Confronto di emissioni di particolato (%)
caratteristiche di differenti tipi di processi di combustione**

Nuovi tipi di combustione: effetto su NOx



**Confronto di emissioni di NOx (%)
caratteristiche di differenti tipi di processi di combustione**

Compatibilità dei combustibili fossili

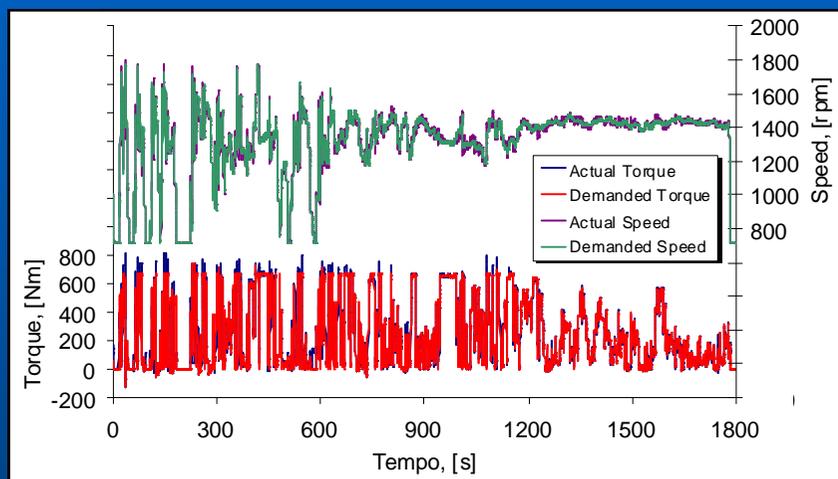
- Gas Naturale
- Derivati da combustibili gassosi (GTL), biocombustibili
- diffusione limitata dell'idrogeno.

Il Gas Naturale è il candidato più probabile per gestire la transizione verso le applicazioni dell'idrogeno

| Gas | | |
|---|--|---|
| Gas | Fuels Ex GN NaturalGas | Fuels ex biomass |
| CNG Compressed Natural Gas | GTL Gas To Liquid | EMHV Ester metilico Olio Vegetale |
| LPG Liquified Petroleum Gas Propano | DME Dimethylether CH ₃ OCH ₃ | EtOH Alcol Etilico Etanolo |
| LNG Liquified Natural Gas | Me MEOH Methyl Alcohol Metanolo | ETBE Ethyl Tertiary Butyl Ether |
| | GTL Gas To Liquid | BTL Biomass To Liquid |
| | H₂ | Biogas |

Alpha olefins Power Generation LPG Substitute Diesel Fuel Ethylene Glycol Alpha-olefins

Motori SI Heavy-Duty ad alta efficienza alimentati a gas metano



200 kW
@2000rpm
TWC
PFI

| EEV limits | [g/kWh] |
|------------|---------|
| PT | 0.02 |
| NOx | 2.0 |
| NMHC | 0.40 |
| CO | 3.0 |

Obtained values

| | |
|-------|------|
| - 50% | 0.01 |
| - 80% | 0.40 |
| - 95% | 0.02 |
| - 80% | 0.60 |

Utilizzo di biogas per la propulsione:

Biometano

- Pressure Swing Adsorption
- Scrubber technologies
- Chemical absorption
- Membrane separation

Vantaggi/Svantaggi rispetto a propulsione standard:

- A LIVELLO TECNICO COME CNG
- COSTO PIU' BASSO DEL COMBUSTIBILE;
- PER QUALUNQUE TIPO DI MOTORIZZAZIONE;
- MOTORE DEDICATO MONO O BI-FUEL (SI);
- MOTORE DUAL FUEL (CI);
- **COSTO PIU' ALTO DEL VEICOLO;**
- **APPROVIGIONAMENTO E STOCCAGGIO DEL COMBUSTIBILE;**

Confronto con benzina

- Riduce CO 90%-97%
- Riduce CO2 25%
- Riduce NOx 35%-60%
- Riduce non-methane HC 50%-75%
- Più basse emissioni tossiche cancerogene
- Poco o niente particolato

Effetto sulle emissioni

Confronto con Diesel

- Valori ridotti di particolato
- Riduce significativamente CO
 - Riduce NOx
 - Riduce CO2 25%
- Riduce significativamente emissioni tossiche cancerogene
- Più alti valori di emissioni di CH4

Emissioni di CNG/Biometano a confronto con Gasolio/Benzina

Table 1.5 Average emission factors for the Swedish passenger car fleet in 2007 (*Vägverket, 2009*).

| | CO g/km | CO ₂ emission kg/km | CO ₂ wtw ^b kg/km | HC g/km | NO _x g/km | PM g/km | SO ₂ g/km |
|----------------------|-----------------|--------------------------------------|--|-----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Rural driving | | | | | | | |
| Gasoline | 1.7 | 0.17 | 0.2 | 0.31 | 0.32 | 0.0012 ^a | 0.0011 |
| Diesel | ↓ 0.17 | ↓ 0.15 | ↓ 0.18 | ↓ 0.03 | ↓ 0.52 | ↓ 0.030 ^a | 0.0002 |
| E85 | ↓ 0.55 | ↓ 0.04 ^d | ↓ 0.06 | ↓ 0.13 | ↓ 0.11 | ↓ 0.0012 ^a | 0.00022 |
| CNG | ↓ 0.56 | ↓ 0.07 | ↓ 0.1 | ↓ 0.04 | ↓ 0.024 | ↓ 0.0012 | 0.00031 |
| Biogas | -- ^c | 0 ^d | 0.04^c | -- ^c | -- ^c | -- ^c | -- ^c |
| Urban driving | | | | | | | |
| Gasoline | 4.4 | 0.23 | 0.27 | 0.85 | 0.45 | 0.0047* | 0.0014 |
| Diesel | ↓ 0.48 | ↓ 0.2 | ↓ 0.24 | ↓ 0.06 | ↓ 0.64 | ↓ 0.03 | 0.00026 |
| E85 | ↓ 2.2 | ↓ 0.05 | ↓ 0.07 | ↓ 0.45 | ↓ 0.19 | ↓ 0.0047* | 0.00026 |
| CNG | ↓ 0.99 | ↓ 0.09 | ↓ 0.13 | ↓ 0.1 | ↓ 0.04 | ↓ 0.0047* | 0.0004 |
| Biogas | -- ^c | 0 ^d | 0.05^c | -- ^c | -- ^c | -- ^c | -- ^c |

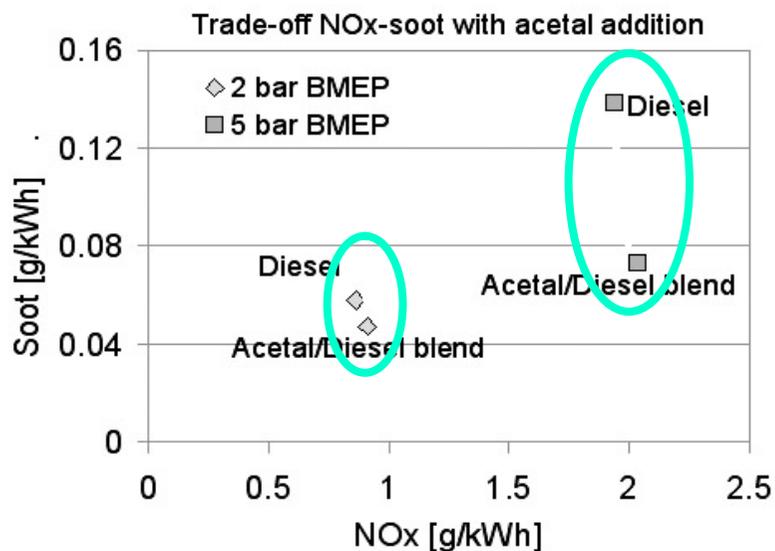
^a Emissions factors according to the EMV-model,

^b wtw = well to wheel, i.e. LCI emission factor

^c no data specifically for biogas; should be very similar to data for CNG. For CO₂ wtw, data for biogas are derived from Directive 2009/28/EC

^d Biomass fuel components are assigned zero CO₂ emissions. For E85, the contribution originates from the fossil part only

Nel breve termine: i bio-combustibili



Additivo ossigenato,
ricavato dal bio-etanolo
al 20% con combustibile diesel

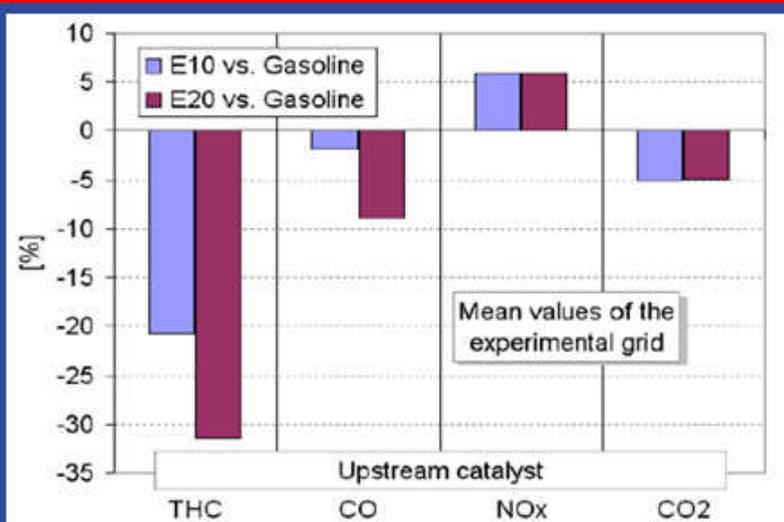
Motori Diesel

Motori Benzina

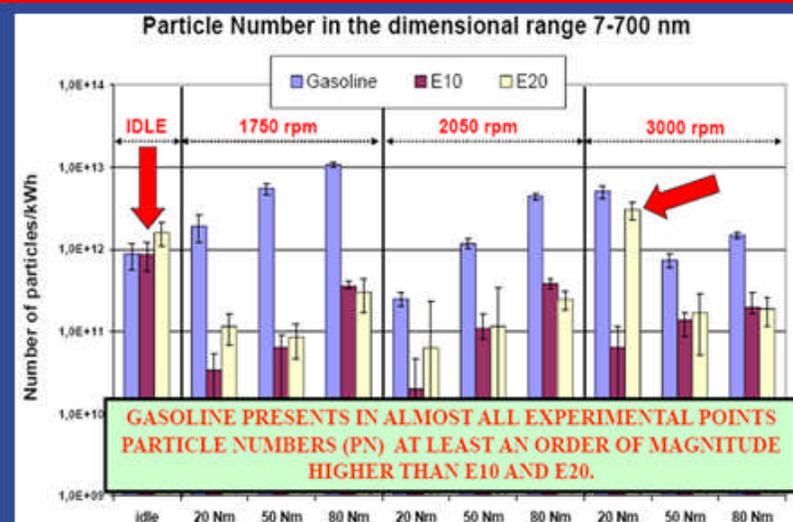
Motore light-Duty alimentato
con miscela na/Etanolo

Miscela di Benzina

ed Etanolo al 10%, 20%

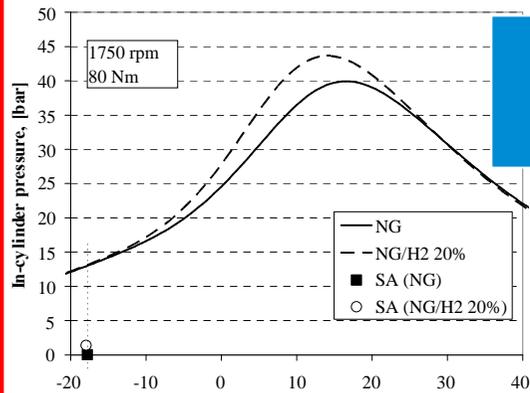


Gasoline-E10-E20 comparison
emission upstream catalyst



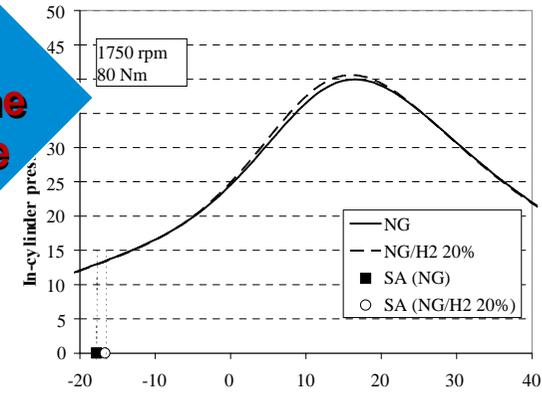
Gasoline-E10-E20 comparison
Particle number

Motore SI Light-Duty con EGR alimentato con miscele Metano/Idrogeno

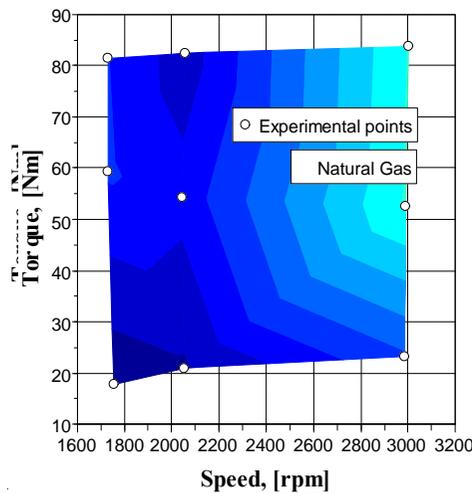


Miscela ng/h2:
Anticipo ritardato a compensazione della maggiore velocita' di reazione di H2

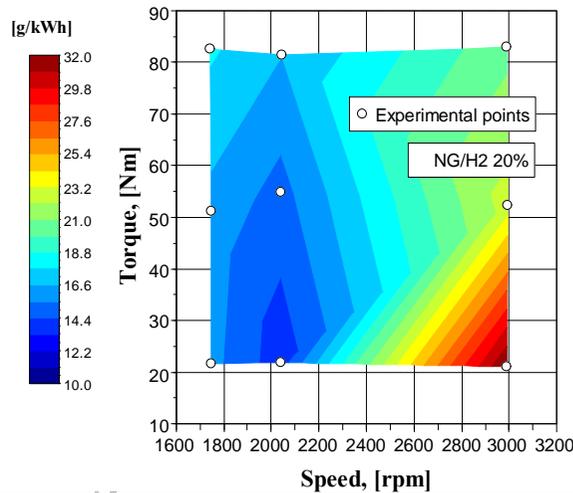
$\downarrow \downarrow$
 \downarrow
NOx \uparrow più rapido processo di accensione implica più alti NOx a parità di SA



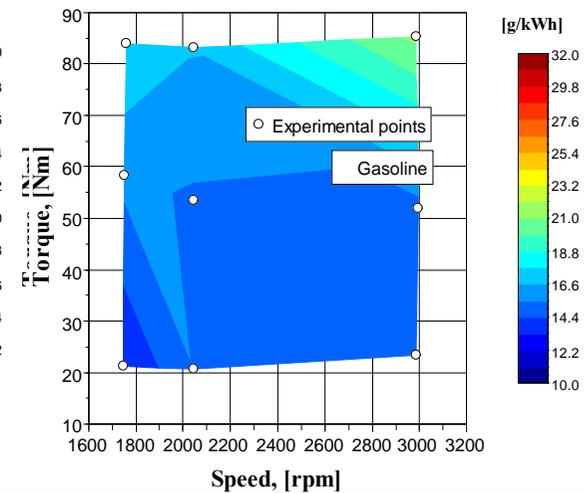
NOx, upstream catalyst, [g/kWh]



NOx, upstream catalyst, [g/kWh]



NOx, upstream catalyst, [g/kWh]

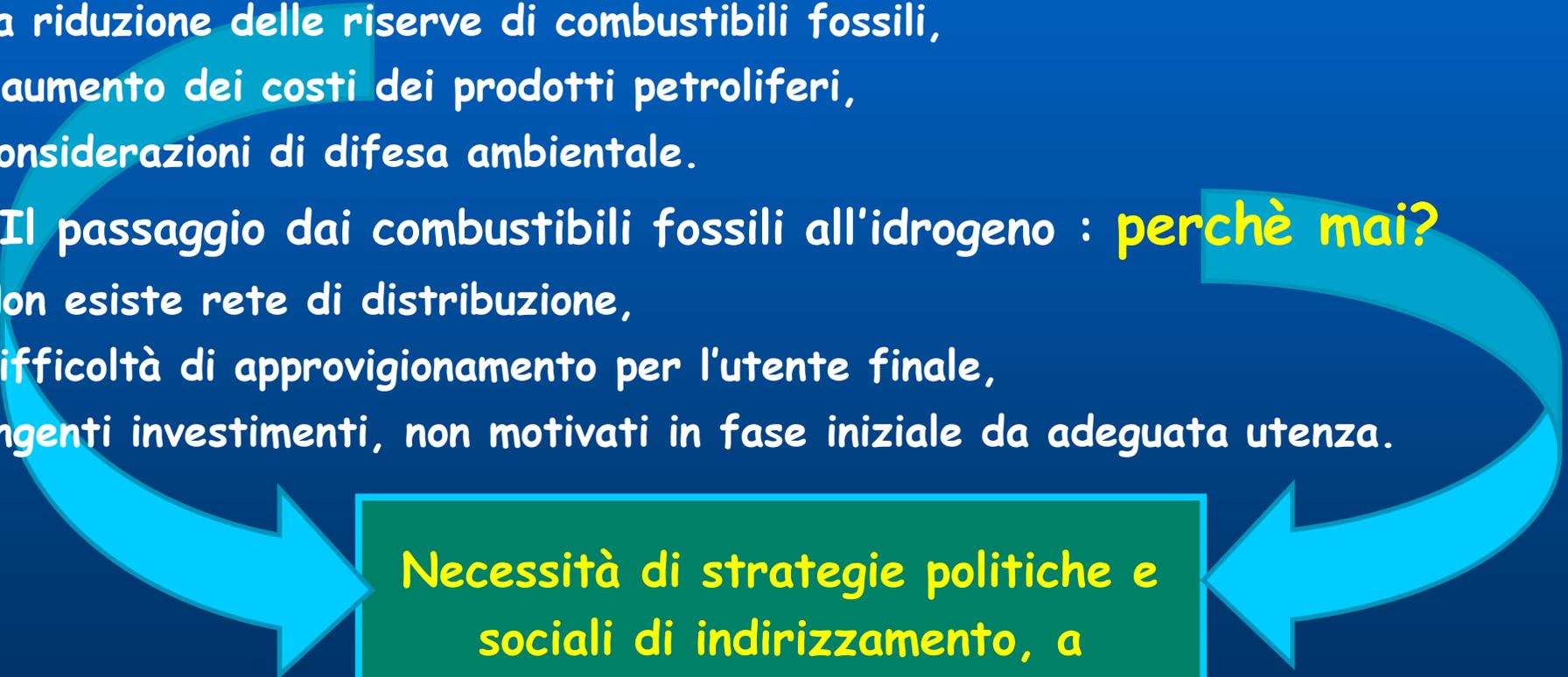


Metano

Metano/Idrogeno 20%

Benzina

- ✓ L'Idrogeno come combustibile del futuro.
 - L'utilizzo dell'idrogeno sarà propizio ai fini dell'immissione di CO₂ in atmosfera purchè prodotto da fonte rinnovabile.
- ✓ Il passaggio dai combustibili fossili all'idrogeno : **perchè?**
 - La riduzione delle riserve di combustibili fossili,
 - L'aumento dei costi dei prodotti petroliferi,
 - Considerazioni di difesa ambientale.
- ✓ Il passaggio dai combustibili fossili all'idrogeno : **perchè mai?**
 - Non esiste rete di distribuzione,
 - Difficoltà di approvvigionamento per l'utente finale,
 - Ingenti investimenti, non motivati in fase iniziale da adeguata utenza.



Necessità di strategie politiche e sociali di indirizzamento, a sostegno del necessario sviluppo tecnologico

Combustione di H_2 per applicazioni motoristiche

Laboratorio DHARMA*

*Camera ad alta pressione
per lo studio di H_2 (puro o in miscele)
in condizioni tipiche dei motori a c.i.*



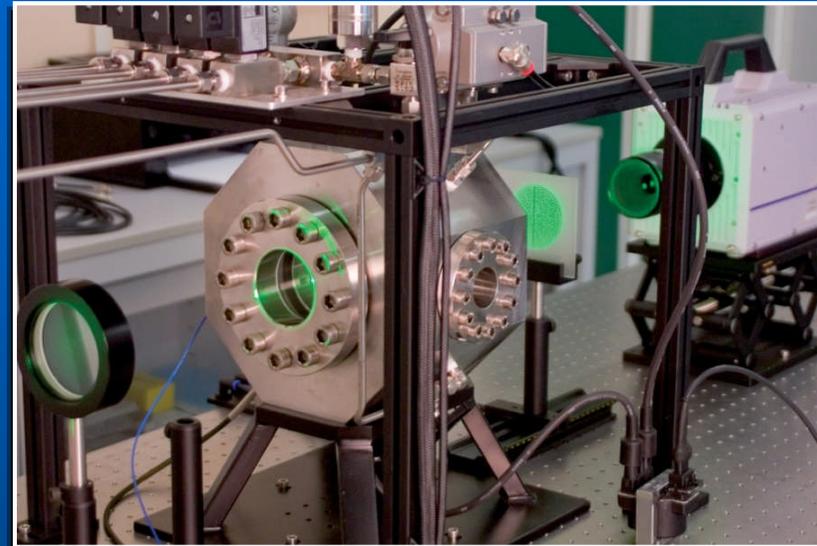
*Caratteristiche di combustione di
 H_2*



Sviluppo di propulsori dedicati

- ◆ *Riduzione emissioni*
- ◆ *Aumento efficienza*

* **Device for Hydrogen-Air Reaction Mode Analysis**

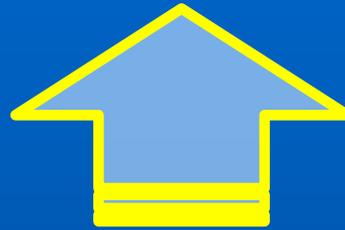


Propagazione di fiamma di H_2

- **Pressione 3 e 6 bar**
- **$\lambda = 1$ (motori con catalizzatore)**

Nel medio termine: Ibrido → Auto elettrica

Il veicolo ibrido può gestire i tempi della transizione a tecnologie alternative di trasporto per raggiungere bassi valori di consumi e tipologie di veicolo EZEV (Equivalent Zero Emission Vehicle).



Necessità di strategie politiche e sociali per sostenere il costo della transizione e per convogliare gli investimenti industriali finalizzati all' "electrificazione del motore".

✓ Vari tipi di veicolo ibrido:

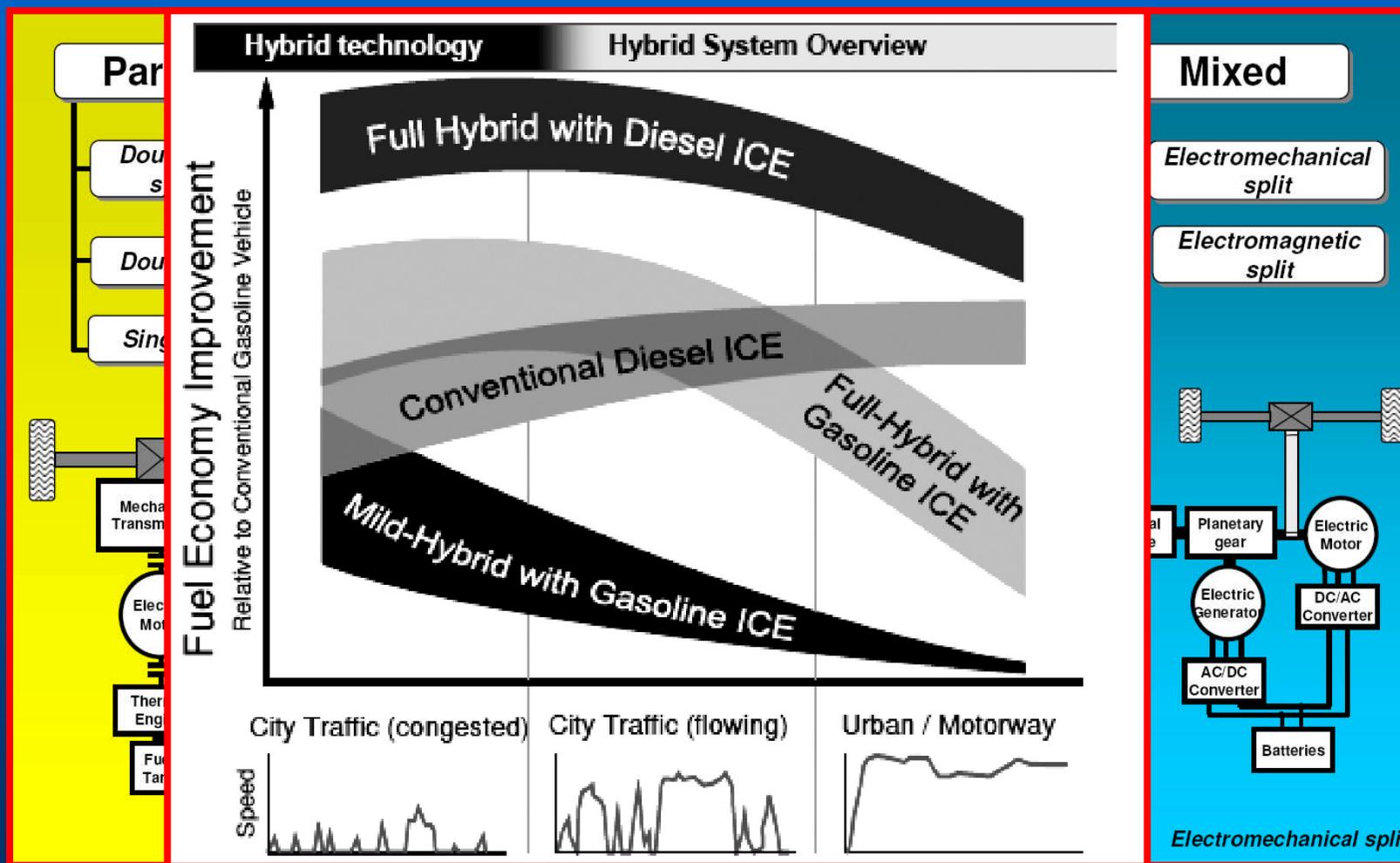
- Ibrido termico,
- Ibrido a fuel cell,
- Range Extender Auto Elettrica

✓ Configurazioni diverse in funzione di:

- Autonomia di percorrenza,
- Localizzazione dell'utilizzo,
- Tipologia d'utenza.

Nel medio termine: Ibrido → Auto elettrica

Configurazione in funzione della specifica applicazione:
non esiste una scelta jolly !!!!!



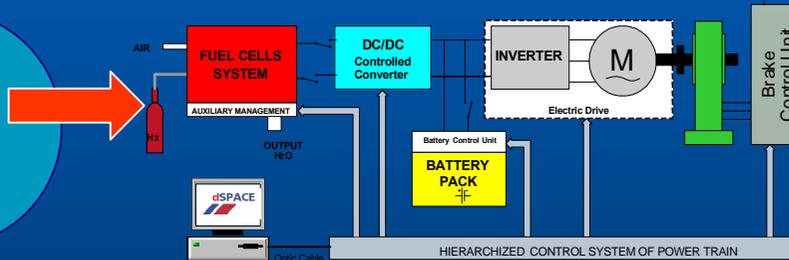
(Source: Ricardo and Daimler)

Ibrido a Fuel Cell ad idrogeno (PEM) Alta Densità di Potenza - Alta efficienza

Progetto e realizz. Di sistemi di fuel cells basati su stacks di fuel cell ad idrogeno



Attività sperimentale su fuel cell power trains per ottimizzare efficienza e prestazioni



Test benches per sistemi a fuel cells ad H2 fino a 30kW e sist di propulsione fino a 120kW

Realizzazione di prototipi in cooperatione con produttori di veicoli elettrici, di fuel cells, di componenti elettronici e di hydrogen suppliers



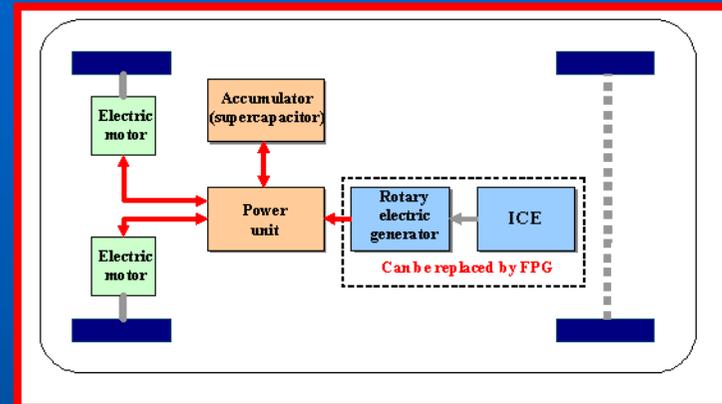
Sistemi innovativi di automotive powertrain 10 Kwe Ra-Ex (Range Extender)

Applicazioni

City car ibride serie e
vetture Plug-in elettriche

Risultati conseguibili

- Riduzione significativa delle dimensioni e dei relativi costi del pacco batterie
- Conferimento al veicolo di una autonomia dipendente solo dalla capacità del serbatoio (@ 90 km/h constant speed)
- Elevata efficienza complessiva (motore monocilindrico ottimizzato)
- Elevata compattezza e agevole inseribilità all'interno di un moderno veicolo
- Immediata fattibilità industriale e ridotti costi di produzione.



✓ Il trasporto su strada  motore a combustione interna.

Tecnologia dominante per i prossimi decenni

*Tecniche ottimizzate di combustione,
Combustibili sia alternativi che convenzionali*

*Componentistica avanzata,
Sistemi di after-treatment*

✓ Diversificazione di motore /combustibile in funzione dell'applicazione:

- Auto per uso privato
- Flotte di veicoli in ambito municipale,
- Flotte di veicoli per car sharing,
- Veicoli per accesso a città d'arte.

✓ L'attuale sistema di trasporto è il risultato di un'evoluzione spontanea compiutasi nell'arco di un secolo.

✓ L'entità e la rapidità del cambiamento impone pianificazione e strategie politiche ad indirizzamento degli investimenti industriali.



Ricerca ---- Soggetti Politici ---- Industria
Esperimenti su scala reale per
Sviluppo di prototipi sperimentali per applicazioni di nicchia



ISTITUTO MOTORI

Istituto Motori -CNR

Grazi
e