



Giornata di studio “Giorgio Minelli” sui Motori a Combustione Interna



Le prospettive future
dei motori a combustion interna

**L'attività di ricerca
nel settore motori a combustione interna
presso l'Università della Calabria**

sergio.bova@unical.it

**AIM
SEA**

Associazione Italiana
delle Macchine a fluido
e dei Sistemi per
l'Energia e l'Ambiente

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA MECCANICA,
ENERGETICA E GESTIONALE
DIMEG



Gruppo di ricerca sui mci



Sergio Bova, Prof. Ordinario



Angelo Algieri, Prof. Associato



Pietropaolo Morrone, RTD 'B'

Gruppo di ricerca sui mci



Teresa Castiglione, RTD 'A'



Diego Perrone, Assegnista di Ricerca



Francesco Rovense, dottorando

Linee di ricerca

- Applicazioni del Model Predictive Control al Sistema di Raffreddamento
- Analisi numerico-sperimentali dei sistemi di aspirazione e scarico

Applicazioni del Model Predictive Control al Sistema di Raffreddamento



Obiettivo

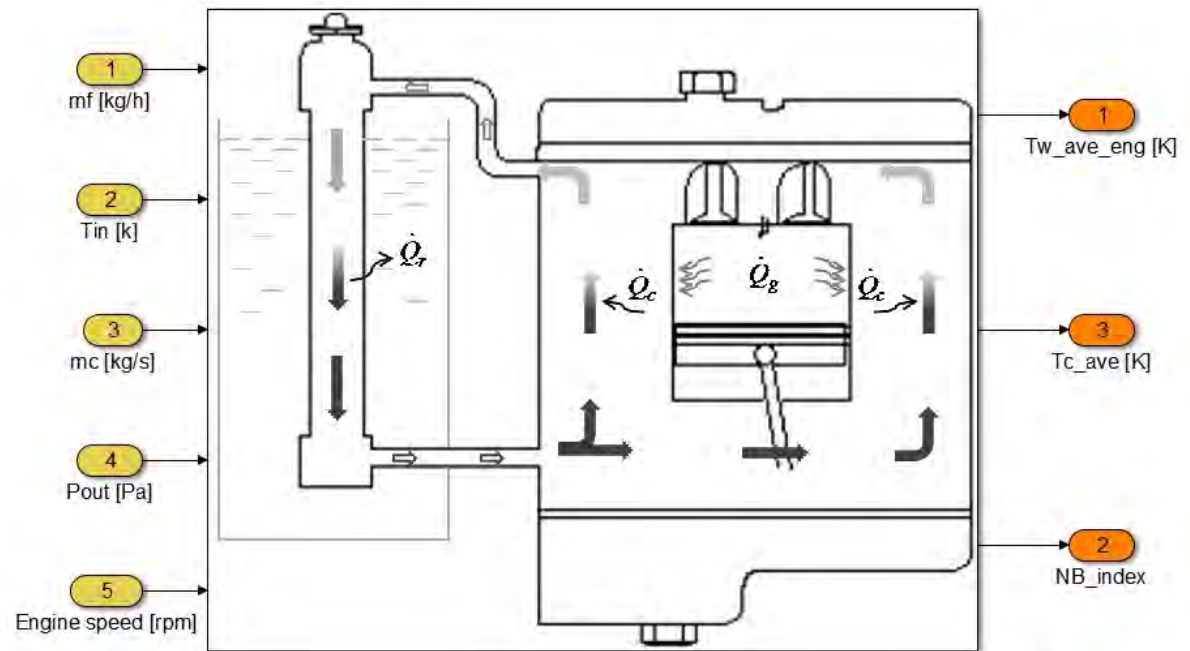
Sviluppo di un sistema di raffreddamento
con pompa elettrica e basse portate di refrigerante
(regime di ebollizione nucleata)

Recenti risultati

1. Riduzione consumi in fase di warm-up;
2. Portate di refrigerante ridotta in condizioni fully-warmed;
3. Eliminazione rischio di after-boiling;

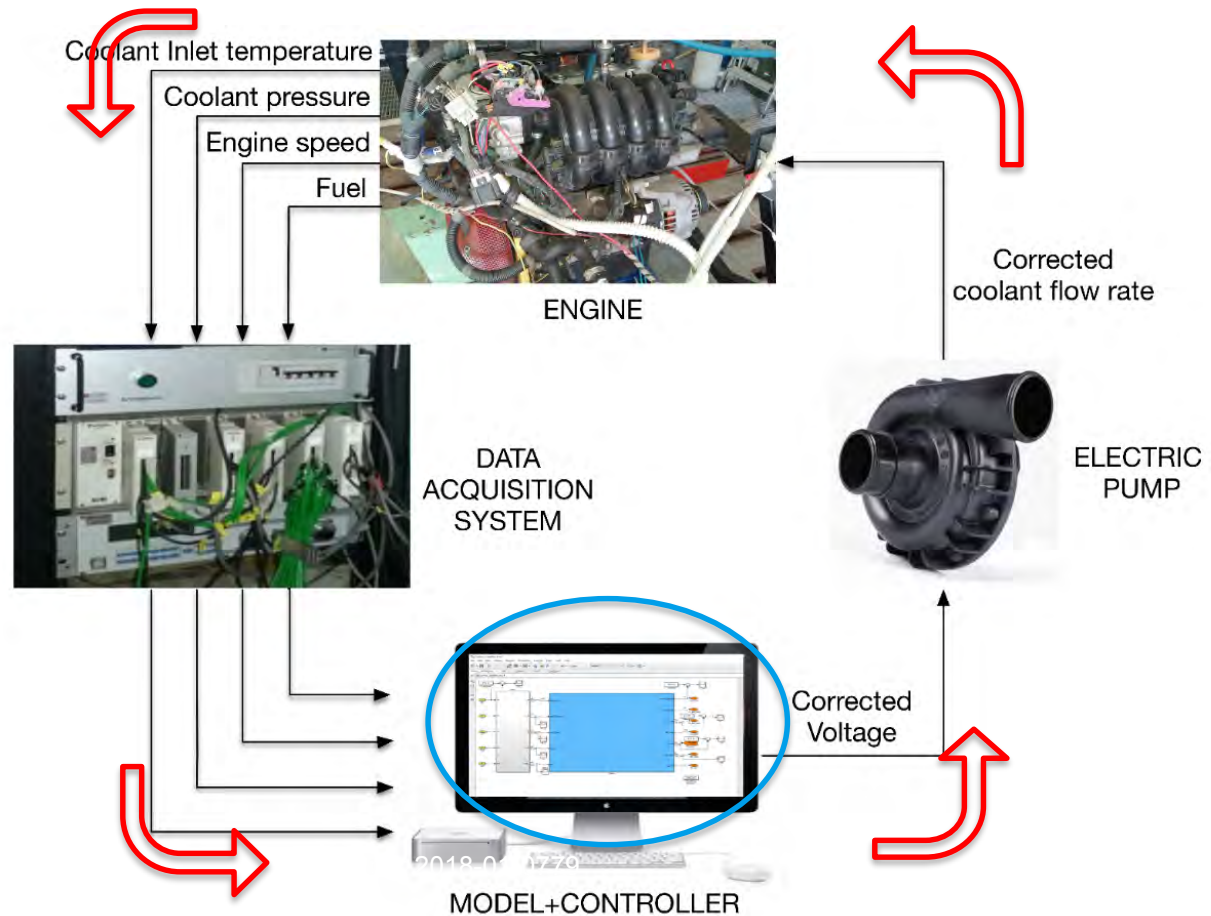
Metodo: numerico-sperimentale

- Modello a parametri concentrati;
- 2 capacità termiche(C_w , C_c);
- 2 variabili di stato: T_w , T_c
- Metrica della presenza di ebollizione nucleata



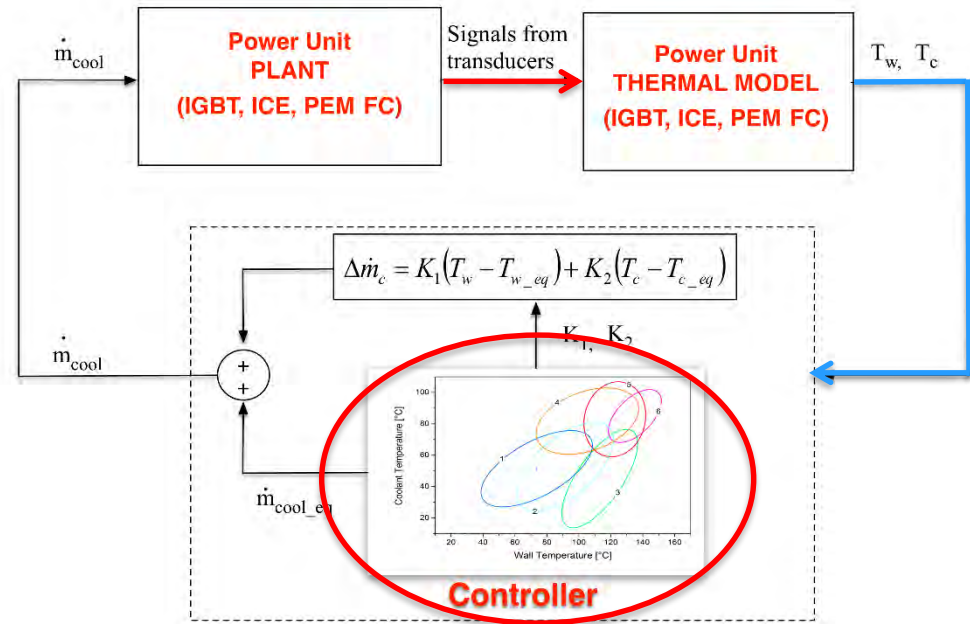
Controllore

On-line



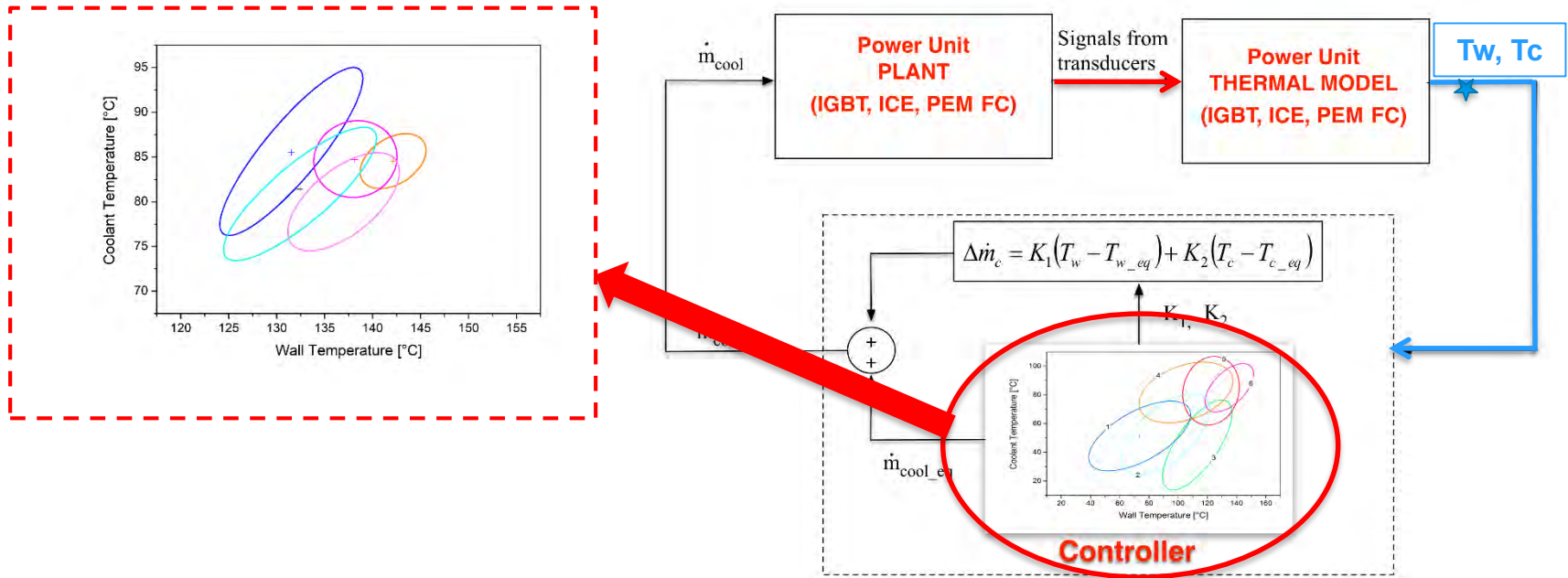
Controllore

On-line



Controllore

On-line



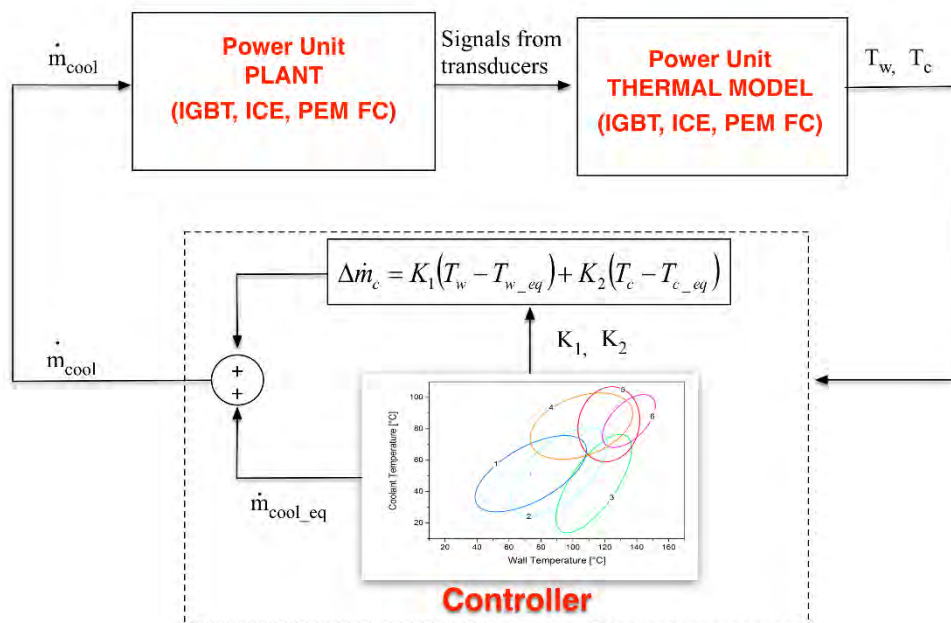
Controllore

On-line

Calcolate dal modello

$$\Delta \dot{m}_c = K_1 (T_w - T_{w_eq}) + K_2 (T_c - T_{c_eq})$$

prelevate dalla
look-up table



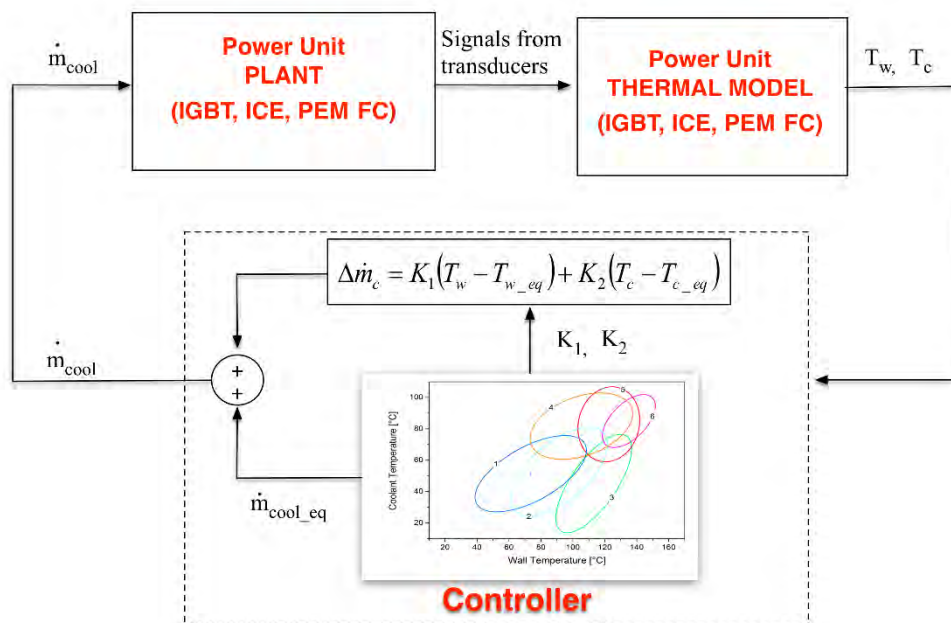
Controllore

On-line

Calcolate dal modello

$$\Delta \dot{m}_c = K_1 (T_w - T_{w_eq}) + K_2 (T_c - T_{c_eq})$$

prelevate dalla
look-up table



Come sono ottenute le K_1 , K_2 , T_{w_eq} , T_{c_eq} ?

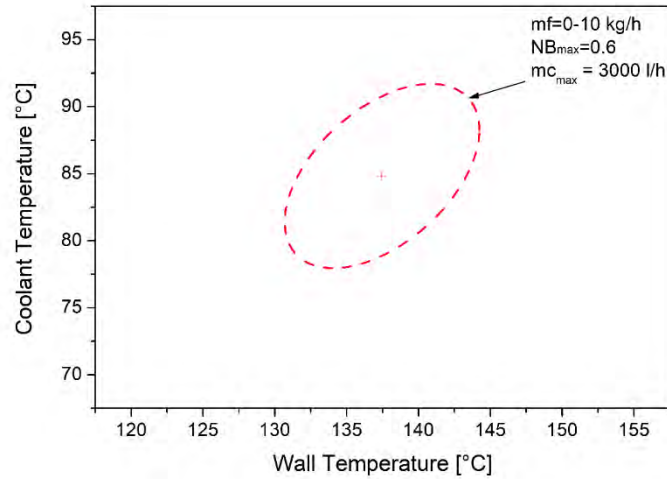
Controllore

Off-line

- Linearizzazione modello
- Definizione dei vincoli sulle variabili di ingresso e di uscita (in particolare sull'NB_Index per definire il livello di ebollizione ritenuto accettabile)
- Risoluzione del problema di ottimizzazione

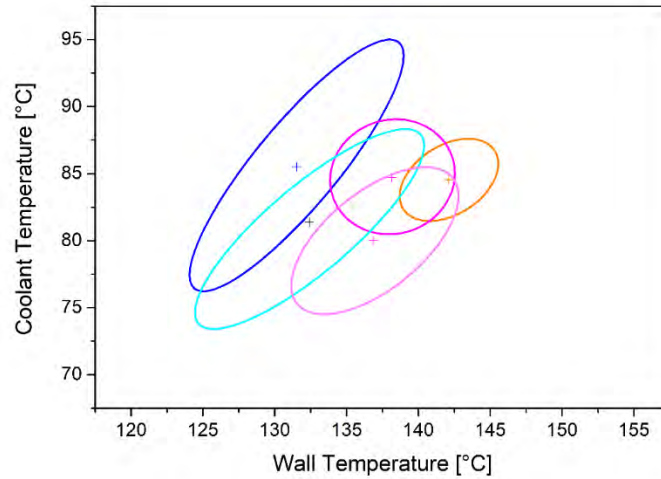
Controllore

Off-line



Controllore

Off-line



Risultati

1. Riduzione consumi in fase di warm-up;

Condizioni operative:

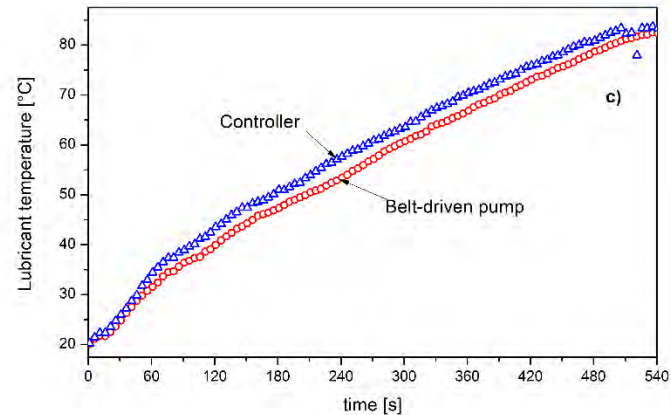
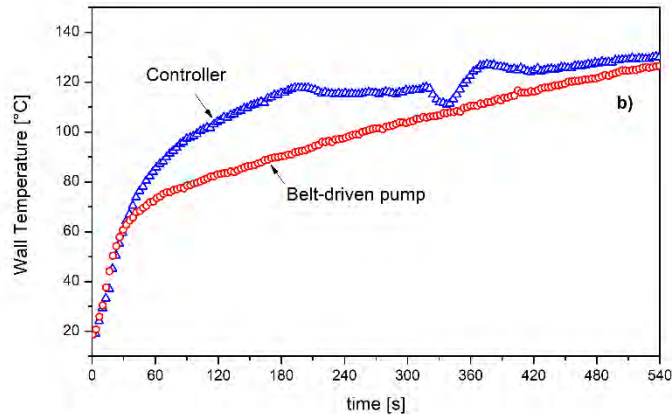
Pompa meccanica:

Controllore + pompa elettrica:

2 bar bmep x 2000rpm, cold start

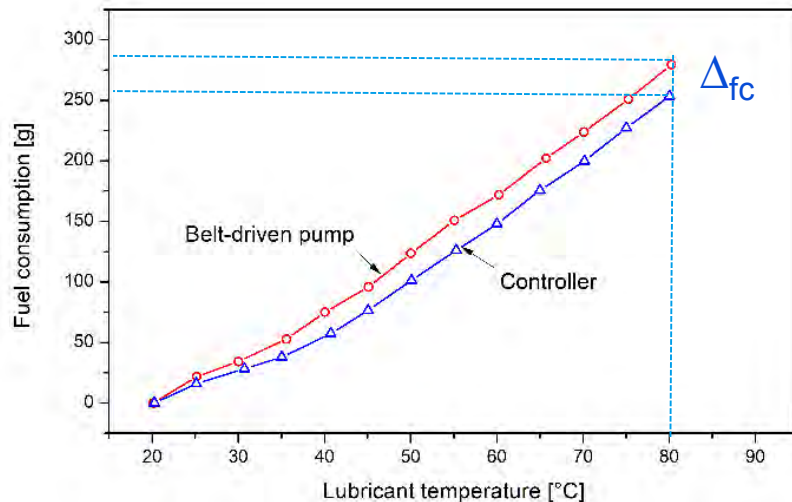
2000 dm³/h

250 dm³/h



Risultati

1. Riduzione consumi in fase di warm-up;



Target temp. lubrificante 80° C

$t_{\text{mech-pump}} = 480\text{s}$

$t_{\text{controller}} = 450\text{s}$

$\Delta_{fc} \sim 10\%$

Funzionamento per 300 s da $T=30^\circ \text{ C}$

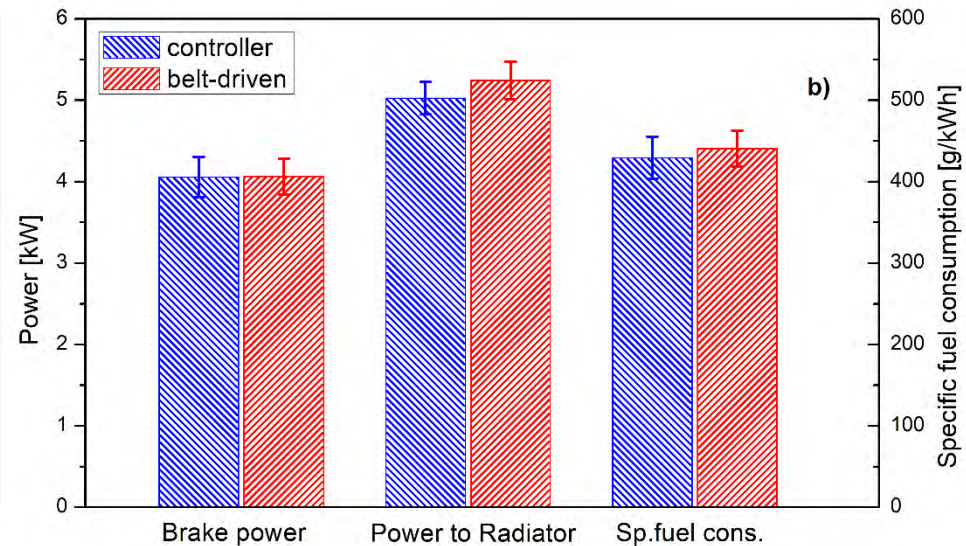
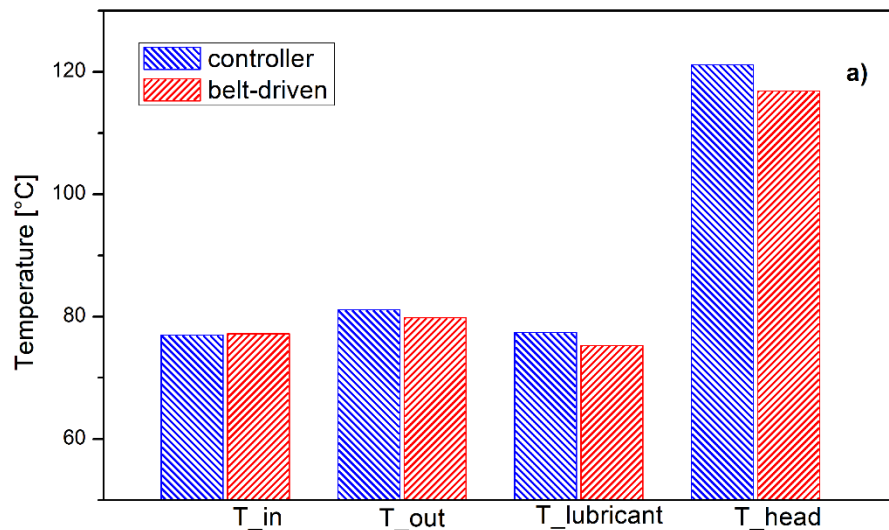
Controller:

Cons orario - 2%

Cons specifico - 7%

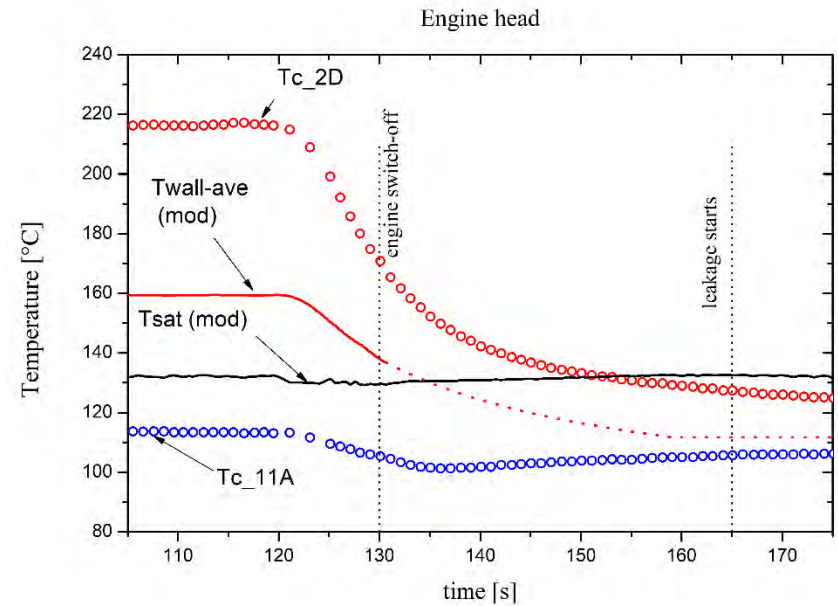
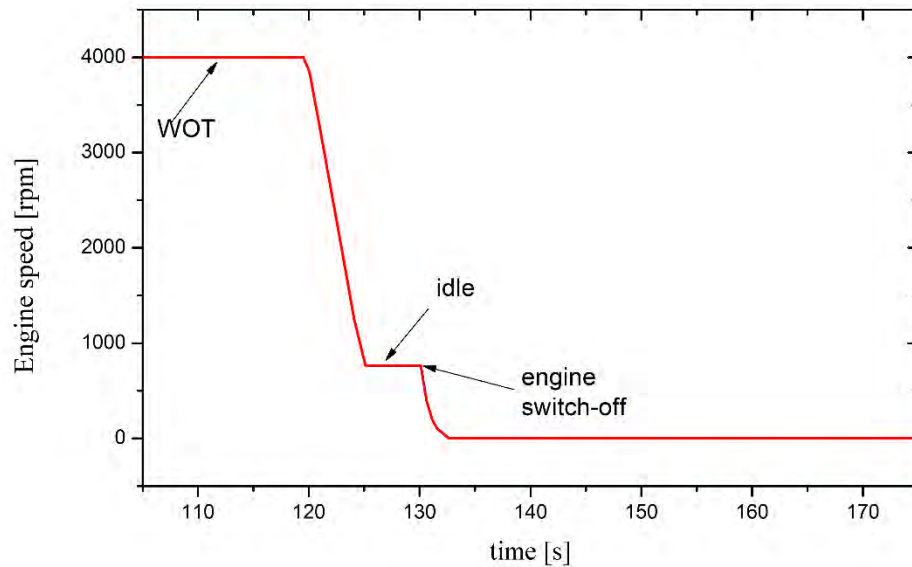
Risultati

2. Portate di refrigerante ridotta in condizioni fully-warmed;
Controller: consumo specifico – 3%



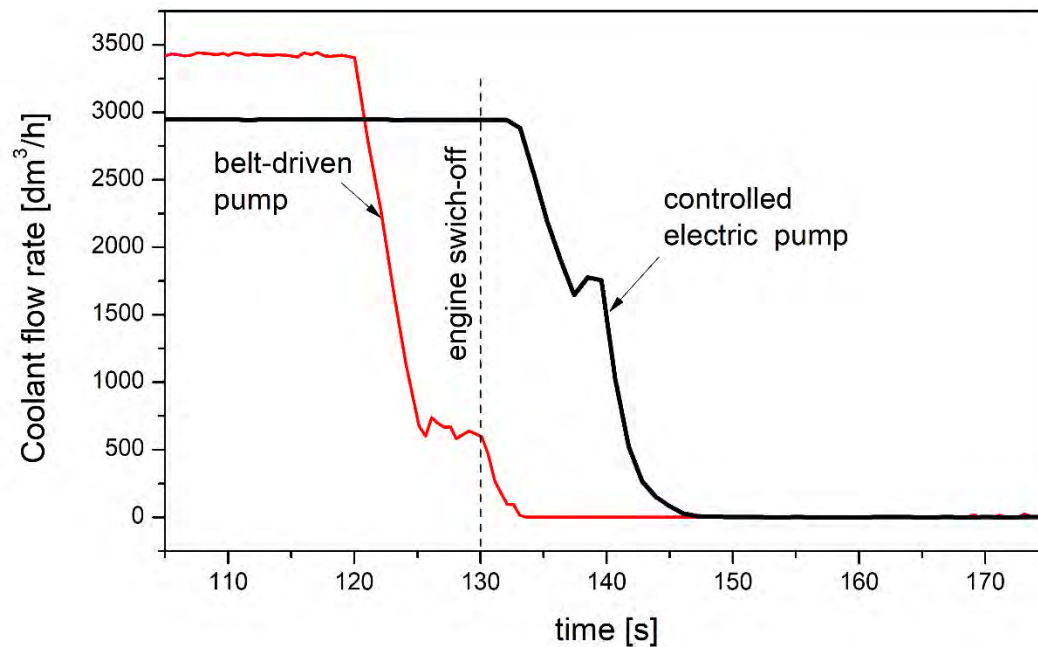
Risultati

3. Eliminazione rischio di after-boiling



Risultati

3. Eliminazione rischio di after-boiling



Analisi numerico-sperimentali dei sistemi di aspirazione e scarico

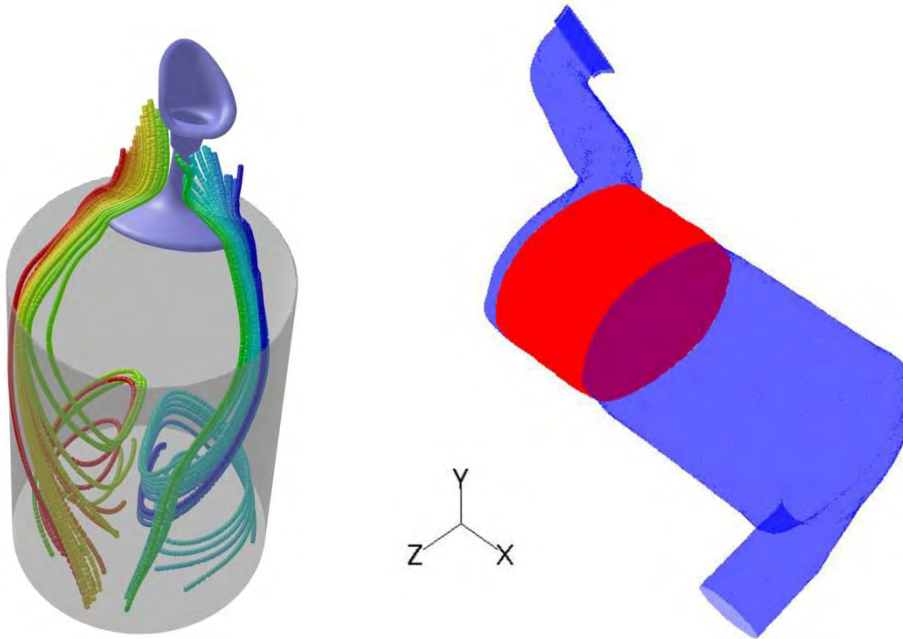


Obiettivi

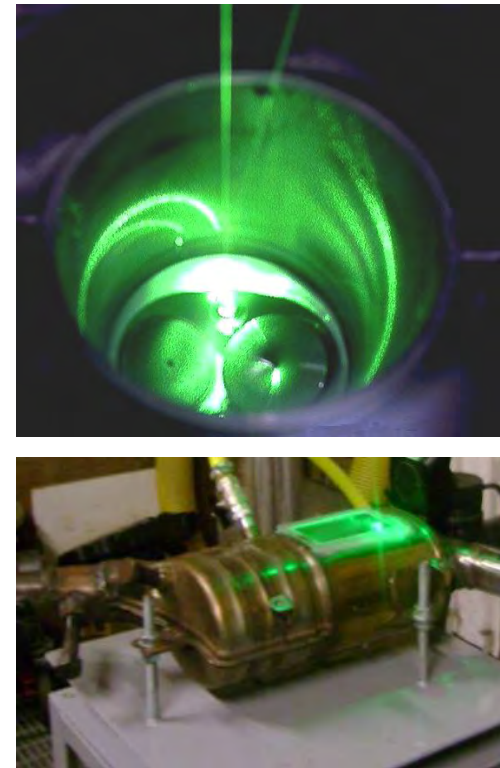
- ✓ **Caratterizzazione sistemi aspirazione e scarico**
 - Valutazione influenza dei vari componenti
 - Individuazione possibili condizioni funzionamento alternative
- ✓ **Più accurato controllo dei flussi**

Metodologia

Analisi Numeriche
0D, 1D e 3D

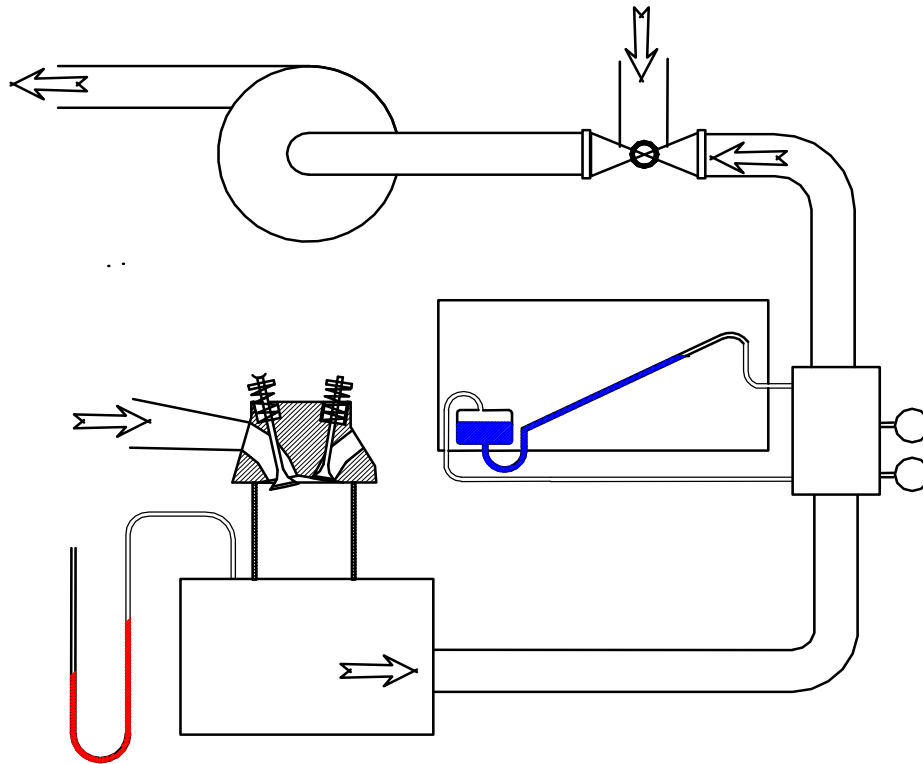


Indagini Sperimentali

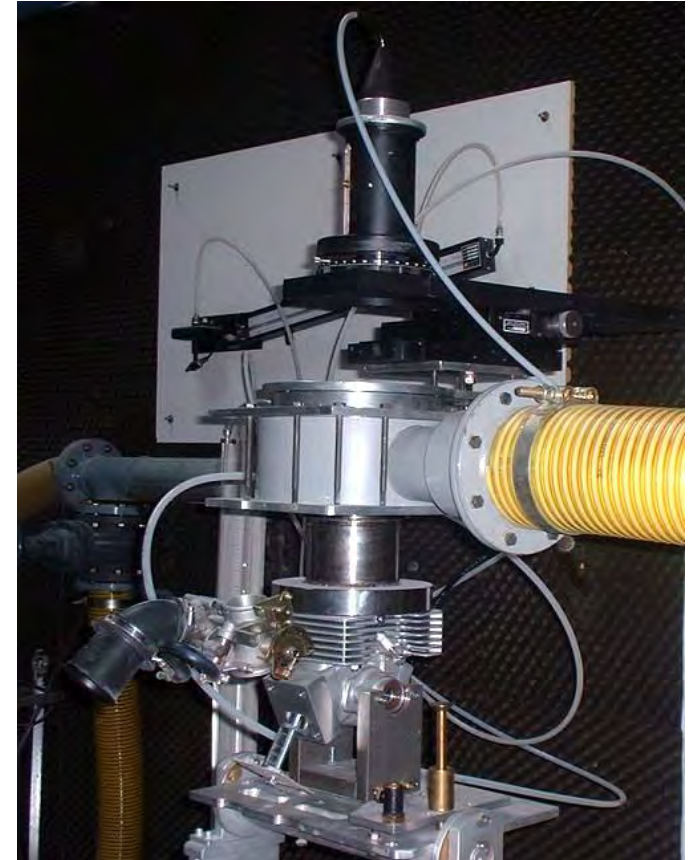


Duplice approccio: caratterizzazione globale e locale

Apparato Sperimentale



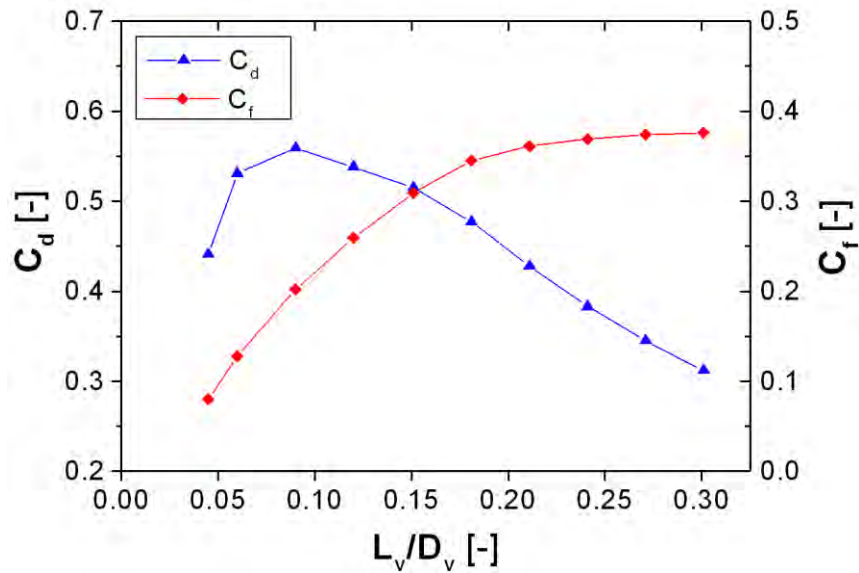
Banco di flussaggio



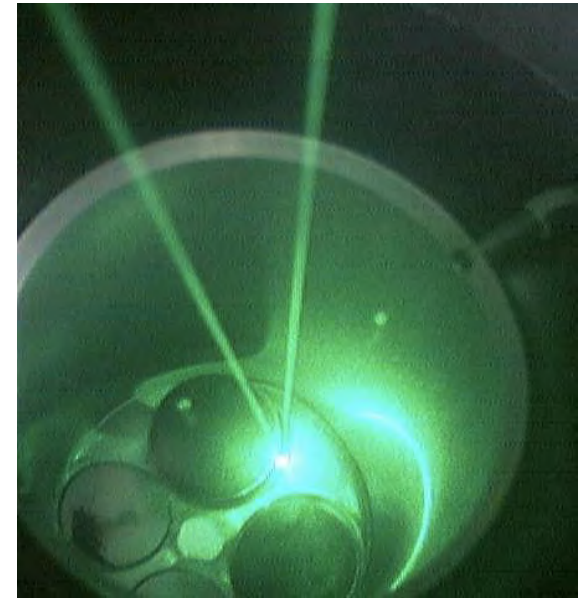
Sistema LDA

Metodologia

Analisi Globale: *Coefficienti d'efflusso*



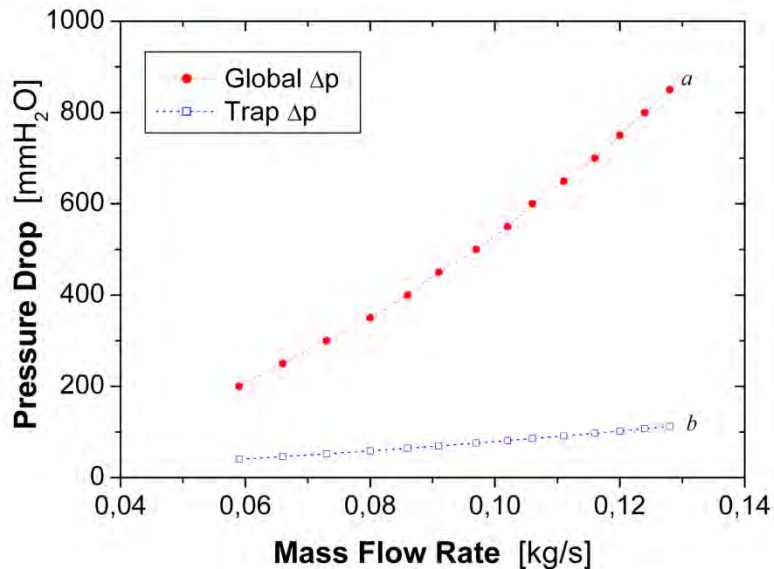
Analisi Locale: Rilievi Velocità



Efficienza fluidodinamica componenti sistema di aspirazione
Campo di moto in camera di combustione

Metodologia

Analisi Globale: *Portate e Perdite di carico*



Analisi Locale: *Rilievi Velocità*

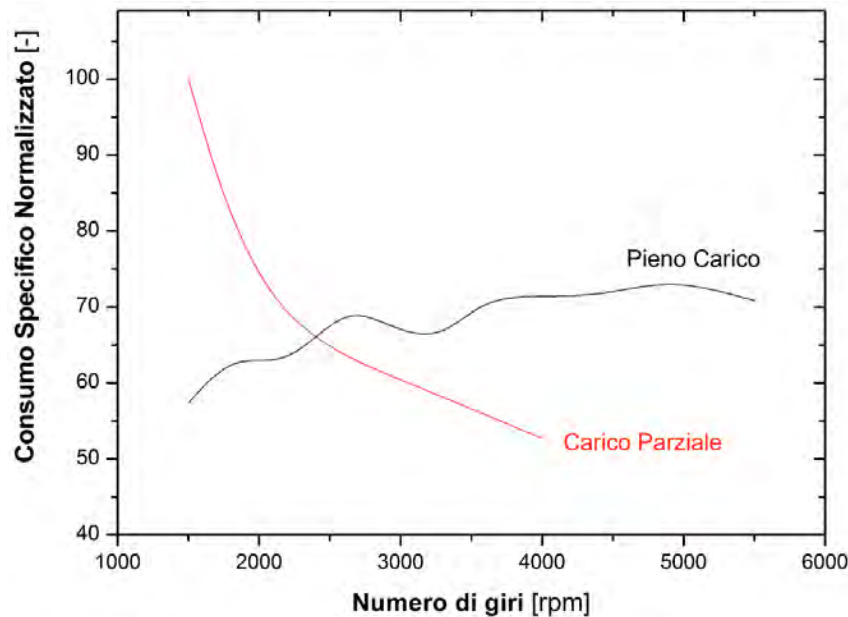


Efficienza fluidodinamica componenti sistema aftertreatment
Campo di moto a valle mezzo poroso

Sistema di aspirazione



- *Motore ad accensione comandata*
- *Numero di cilindri: 2*
- *Cilindrata: $\sim 1000 \text{ cm}^3$*
- *Valvole di aspirazione per cilindro: 2*



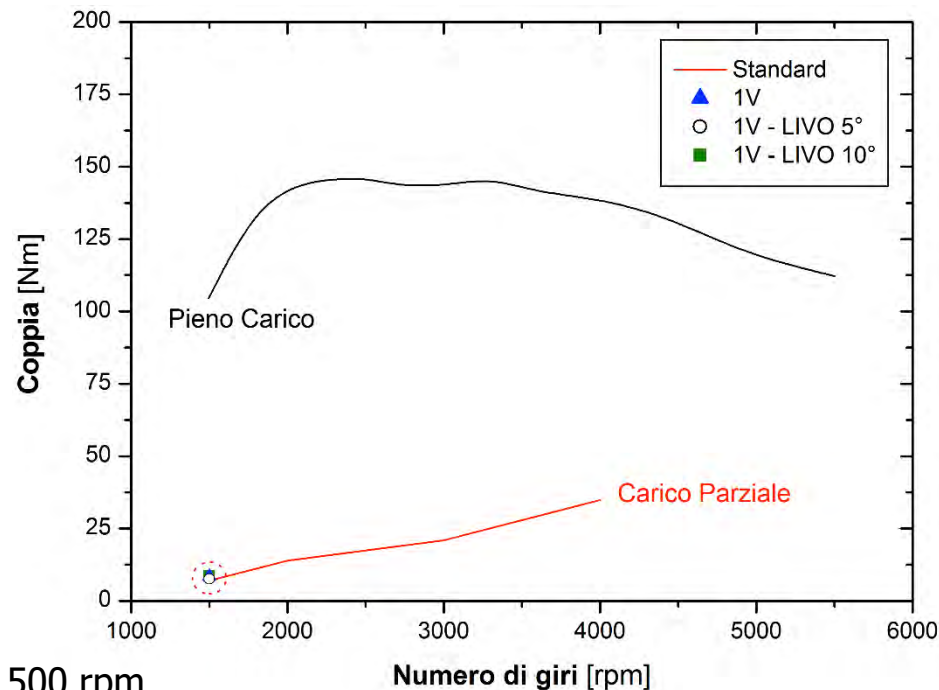
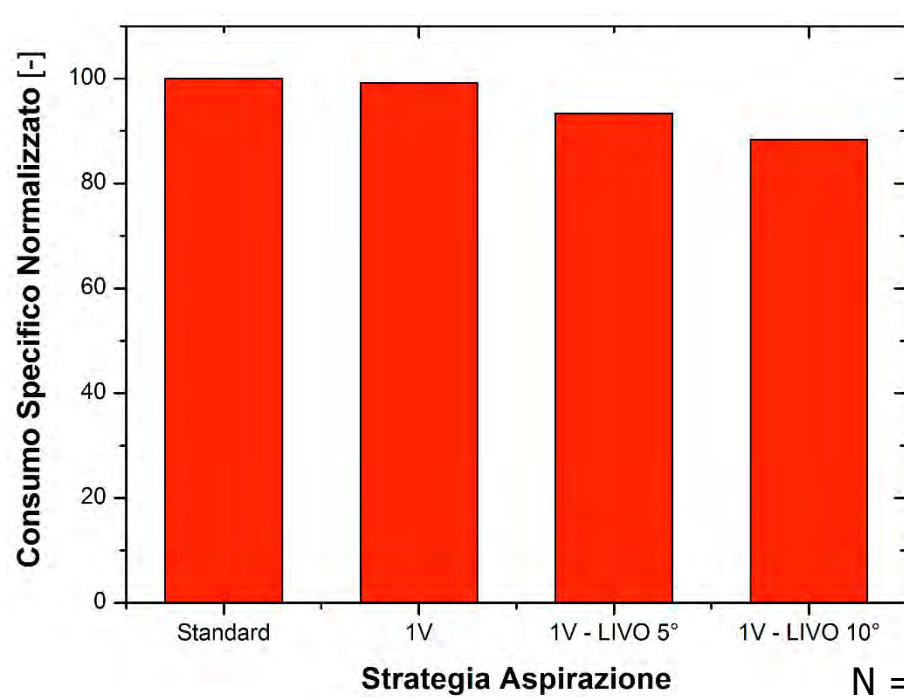
Carico Parziale

Elevati consumi specifici

Strategie alternative

- ✓ Deattivazione valvola
- ✓ Apertura asimmetrica

Strategie alternative



Apertura asimmetrica valvole aspirazione:

- ✓ Possibile riduzione consumi
- ✓ Controllo della fase di aspirazione
- ✓ Creazione di strutture macroscopiche desiderate

Sistemi di post-trattamento

- ✓ Basse temperature gas scarico: combustibile supplementare
➡ Effetto negativo sull'efficienza energetica del propulsore
- ✓ Sviluppo di sistemi aftertreatment più efficienti

Sistemi di post-trattamento

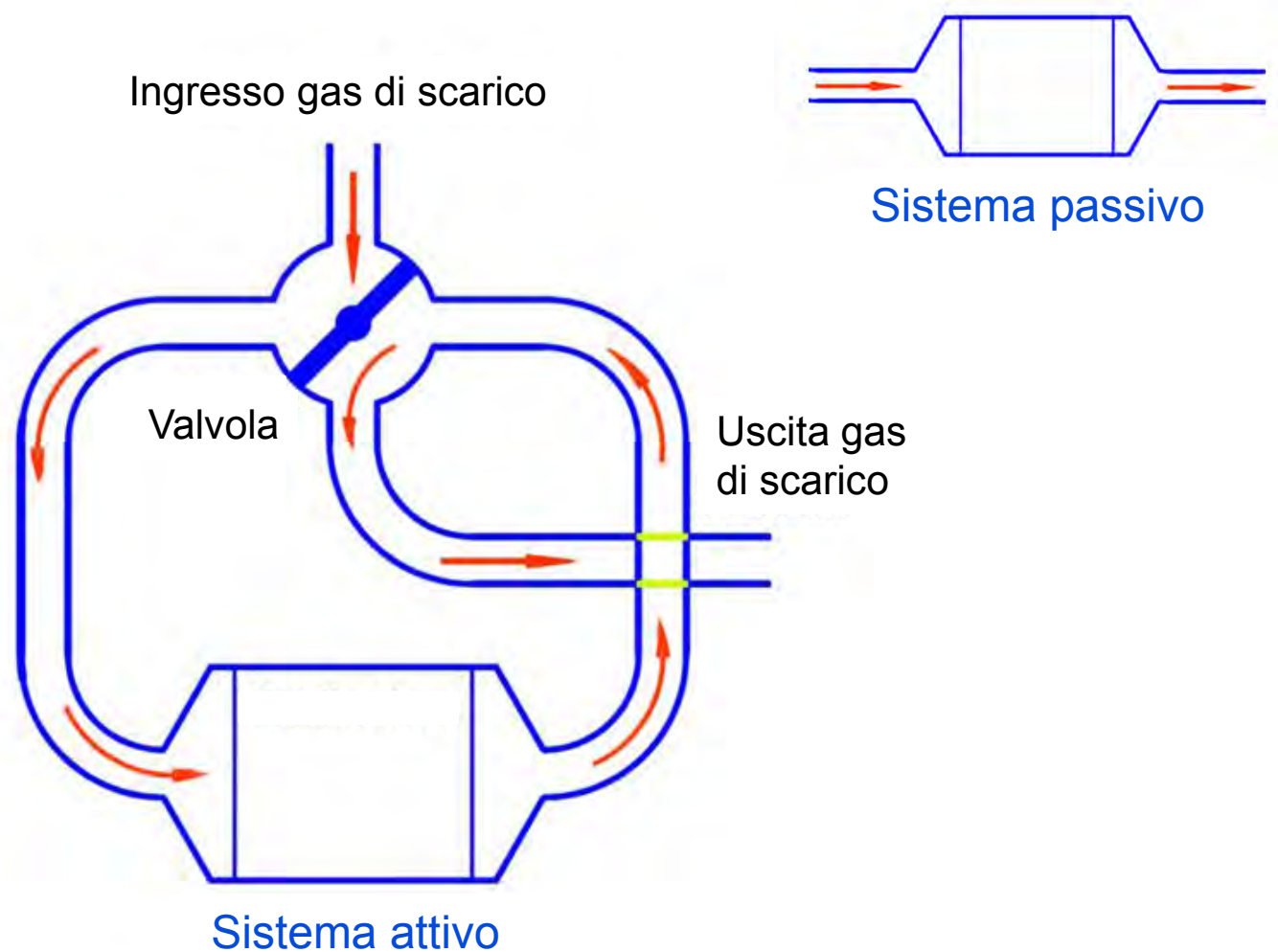
- ✓ Basse temperature gas scarico: combustibile supplementare
➡ Effetto negativo sull'efficienza energetica del propulsore
- ✓ Sviluppo di sistemi aftertreatment più efficienti



Sistemi attivi

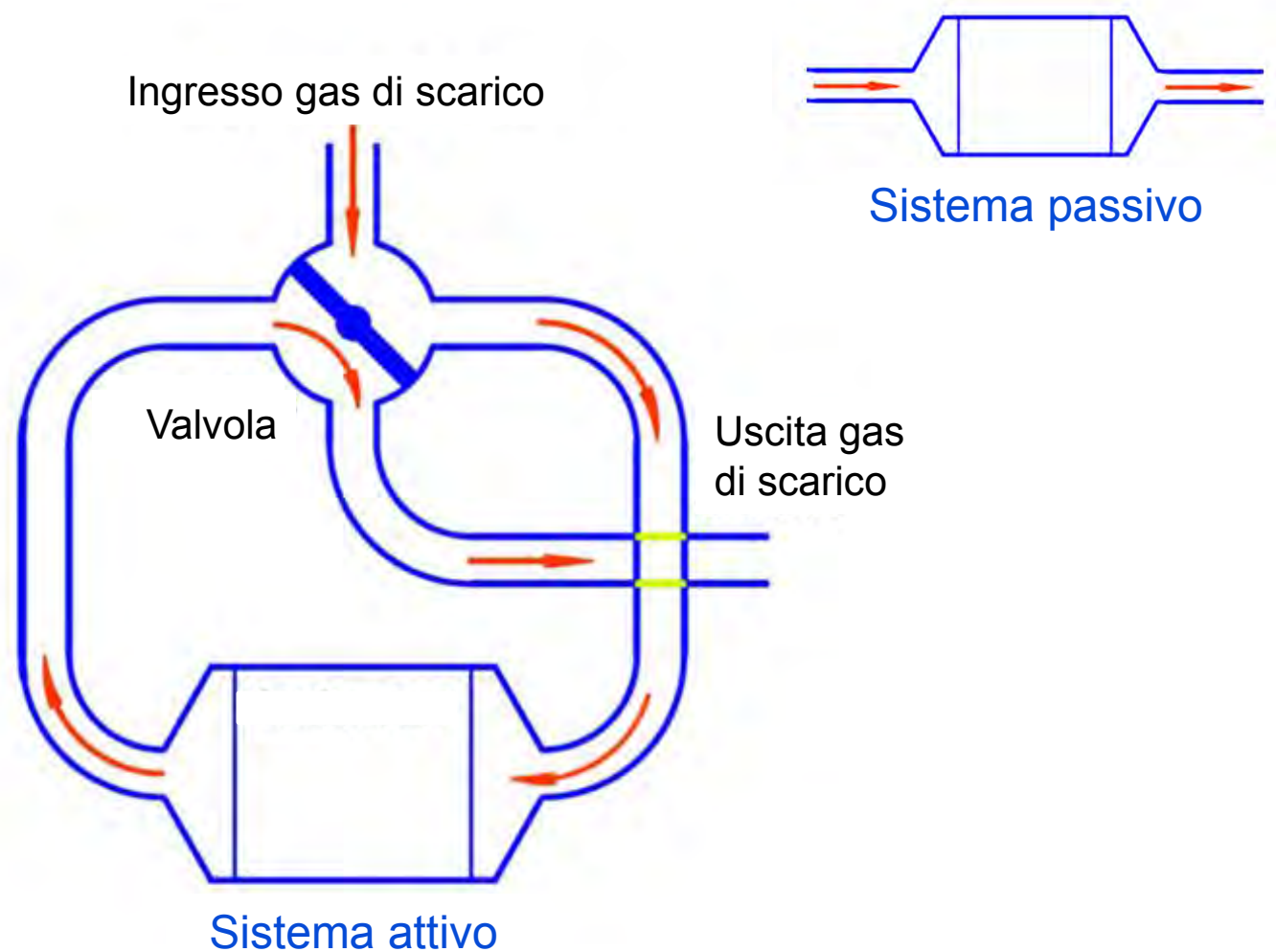
per ottenere un maggiore controllo sui livelli termici

Sistemi di post-trattamento



Flusso diretto

Sistemi di post-trattamento



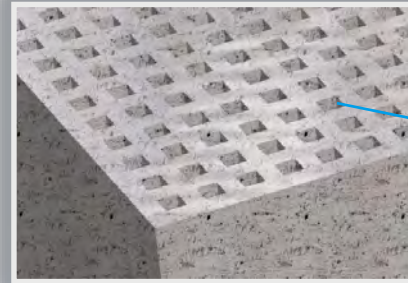
Inversione flusso

Applicazione al caso dei convertitori ossidanti: Modello numerico

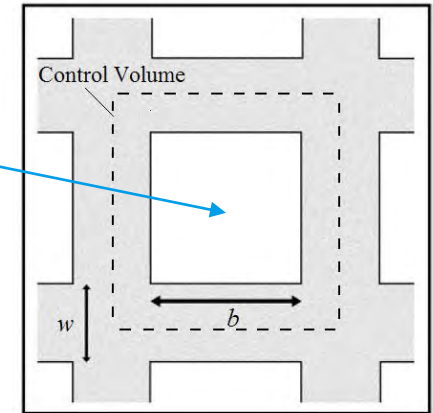
Dynamic single Channel 1D Model

Model assumptions

- Working fluid as ideal mixture;
- One-dimensional transient flow;
- Constant mass flow rate;
- Negligible conductive and radiative exchange;
- Adiabatic systems towards the surroundings
- 2 chemical species: CH₄ and CO

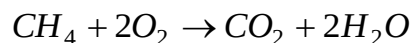
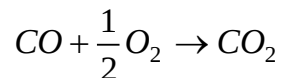


Monolith



Control volume

Chemical reactions



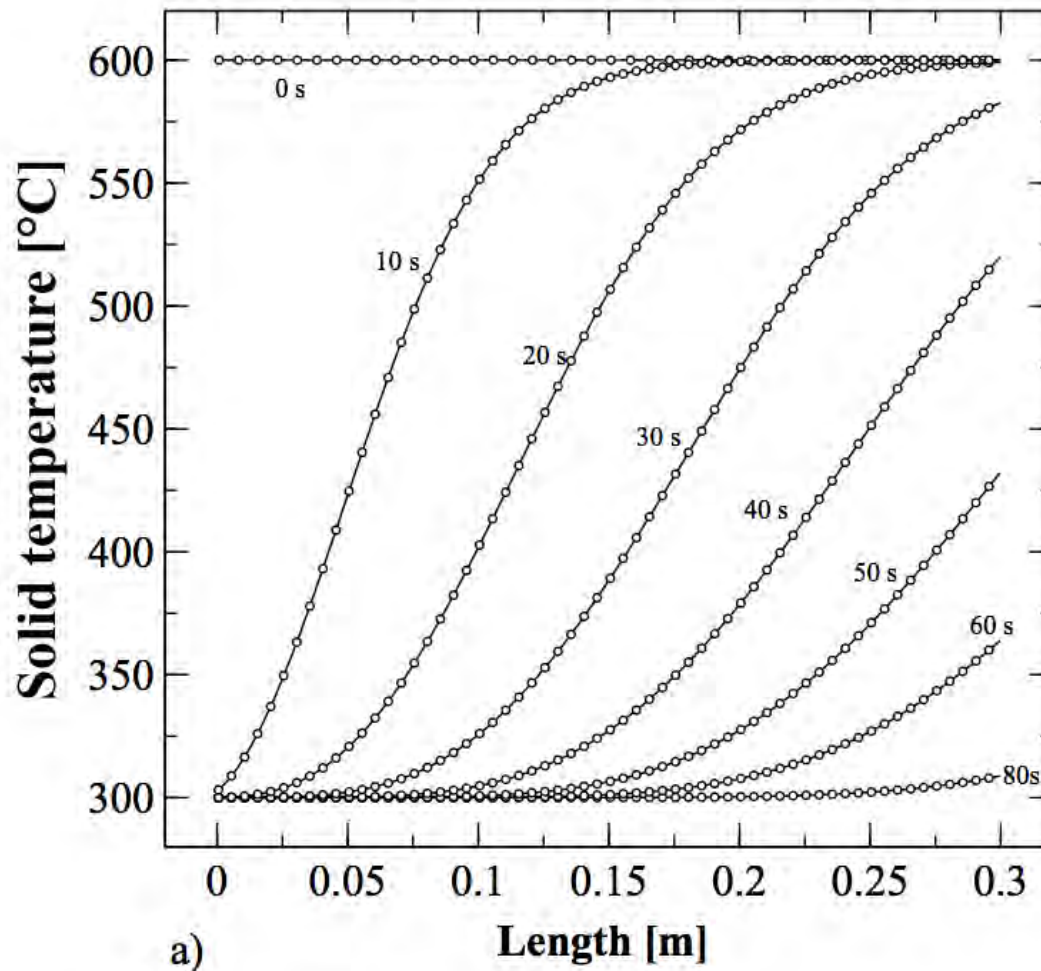
Reference equations

- Gas:
$$\frac{d}{dx} \left(\alpha_I \frac{\partial T}{\partial x} \right) - v \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{4}{D_H} \frac{h}{\rho \cdot c_p} \cdot (T_s - T) = 0$$

- Solid:
$$\frac{d}{dx} \left(k_w \delta_w \frac{\partial T_s}{\partial x} \right) - h \cdot (T_s - T) - \sum_{i=1}^2 \eta_i (\Delta H_R)_i (-R_i)_S = \delta_w \rho_w C_{p,w} \frac{\partial T_s}{\partial t}$$

Sistemi di post-trattamento

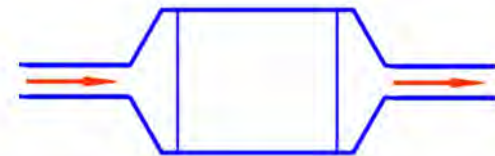
Profili temperatura – Fase solida



Raffreddamento:

$$T_{\text{exh}} = 300 \text{ } ^\circ \text{C}$$

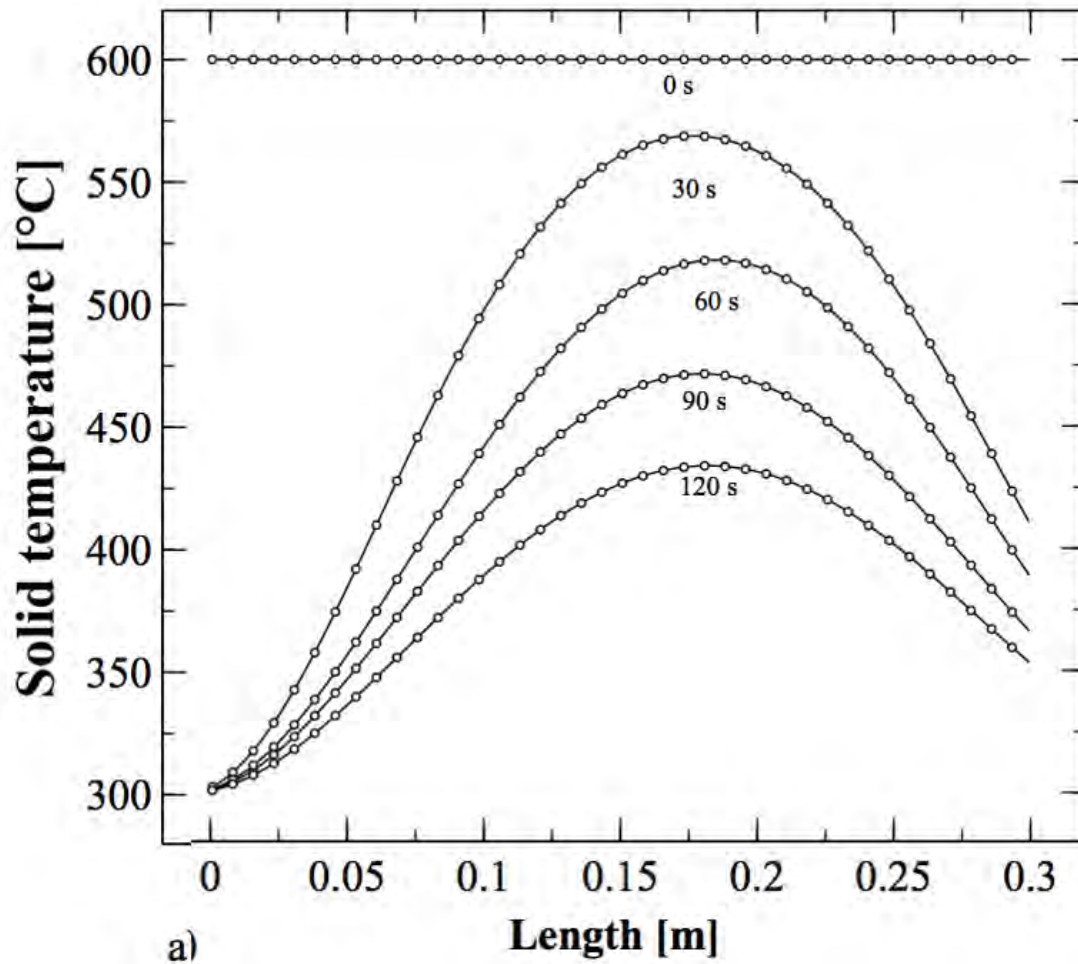
$$T_{\text{sol}} = 600 \text{ } ^\circ \text{C}$$



Sistema passivo

Sistemi di post-trattamento

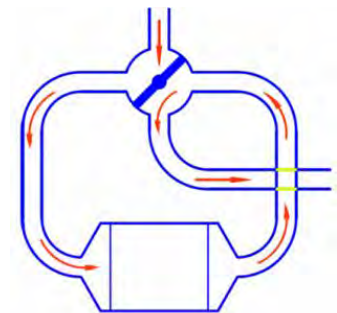
Profili temperatura – Fase solida



Raffreddamento:

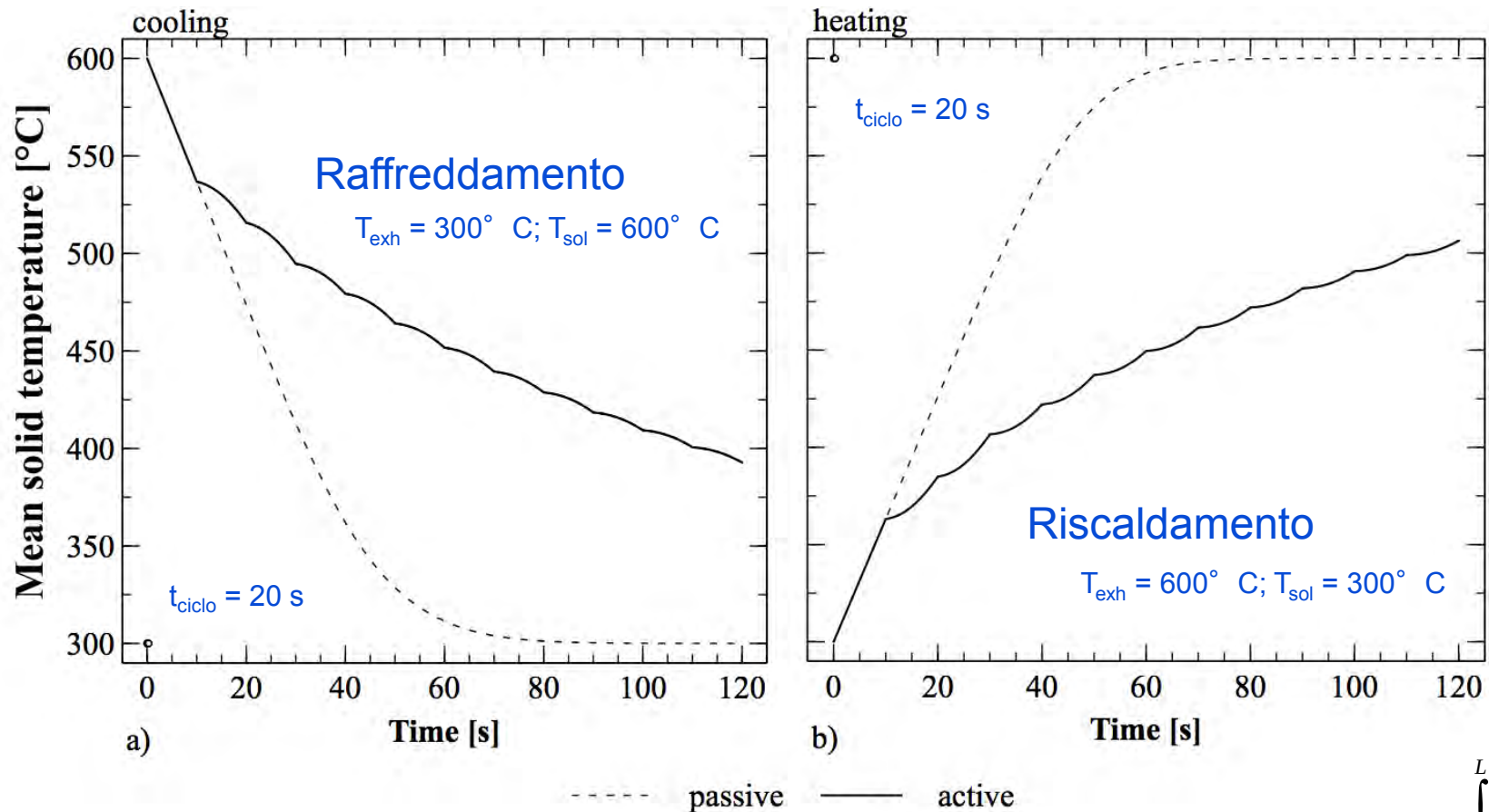
$$T_{\text{exh}} = 300^{\circ} \text{C}$$

$$T_{\text{sol}} = 600^{\circ} \text{C}$$



Sistema attivo

Temperature medie



- ✓ Riscaldamento più rapido sistema passivo
- ✓ Maggiore inerzia termica controllo attivo

$$T_{\text{mean}}(t) = \frac{\int_0^L T(x,t) dx}{L}$$

Emissioni: Conversioni

$$T_{\text{exh}} = 300^{\circ} \text{ C}; T_{\text{sol}} = 600^{\circ} \text{ C}$$

Motore diesel

Conversioni Sistema Passivo

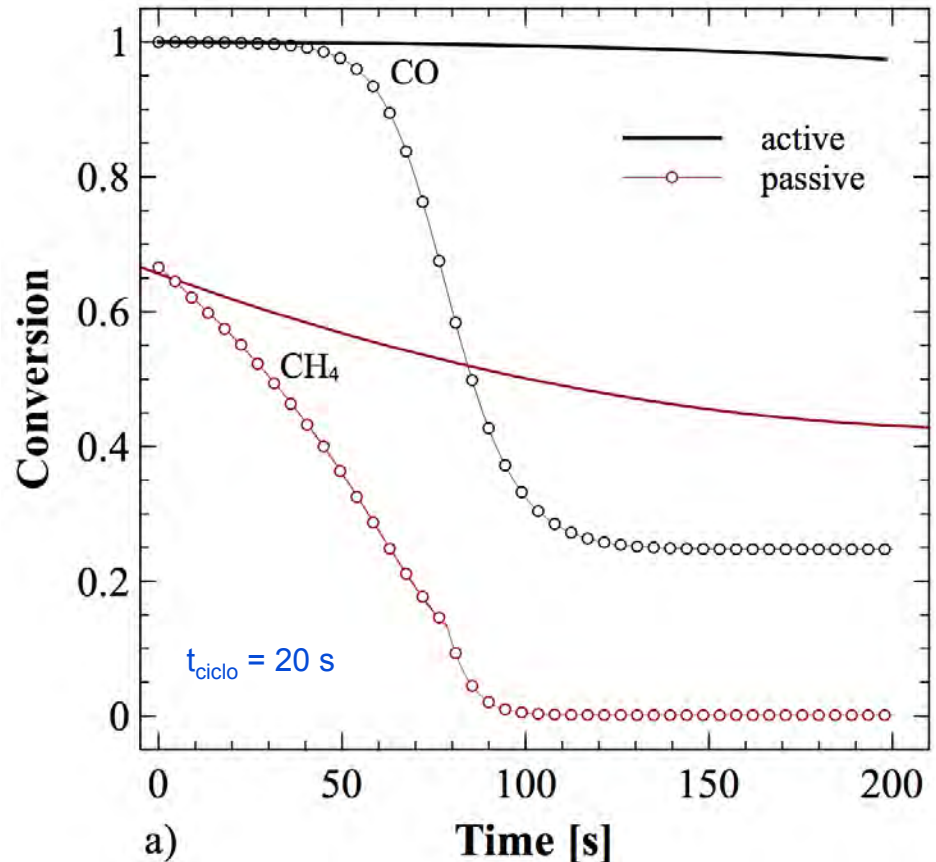
HC = 0 dopo 100s

CO = 25% dopo 100s

Conversioni Sistema Attivo

HC $\approx$ 50% dopo 100s

CO $\approx$ 98% dopo 100s



✓ Efficienze di conversione maggiori per controllo attivo

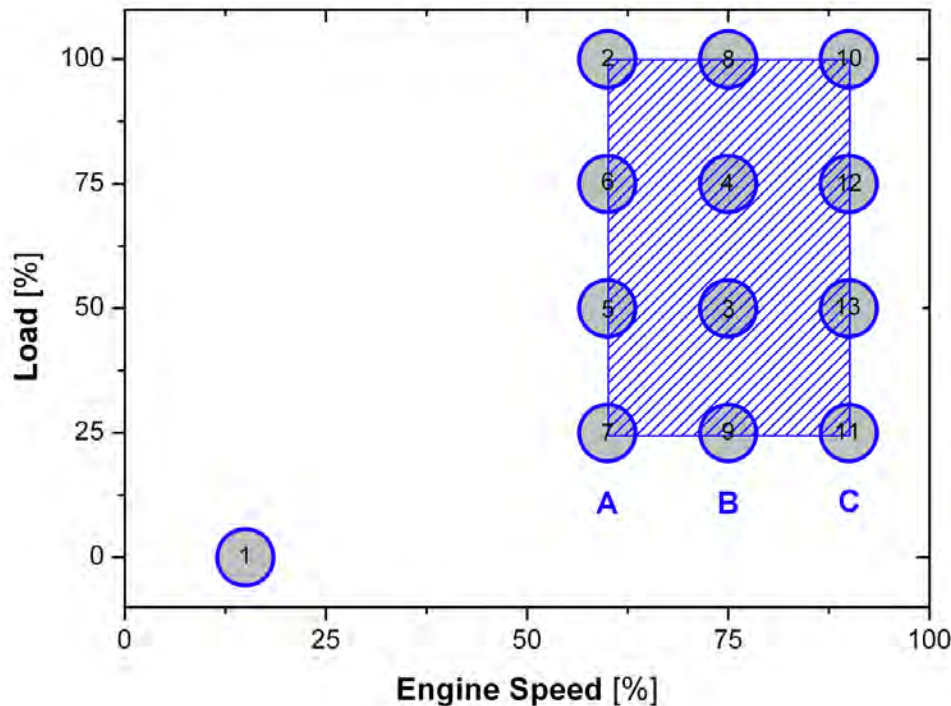


Confronto Strategie

Controllo Passivo
VS
Controllo Attivo



Controllo Misto
(Attivo e passivo)



Cicli standard di prova (ESC)

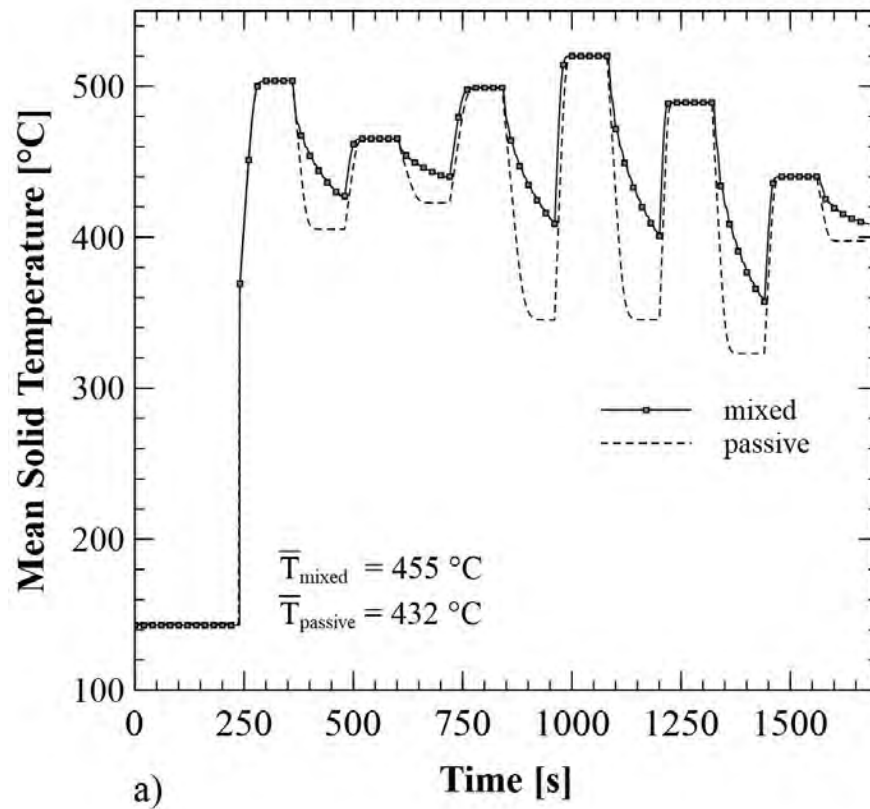
- ✓ *Lean burn engine*
- ✓ *Numero di cilindri: 6*
- ✓ *Cilindrata: $\sim 7700 \text{ cm}^3$*
- ✓ *Potenza max: $\sim 162 \text{ kW}$*



Confronto Strategie

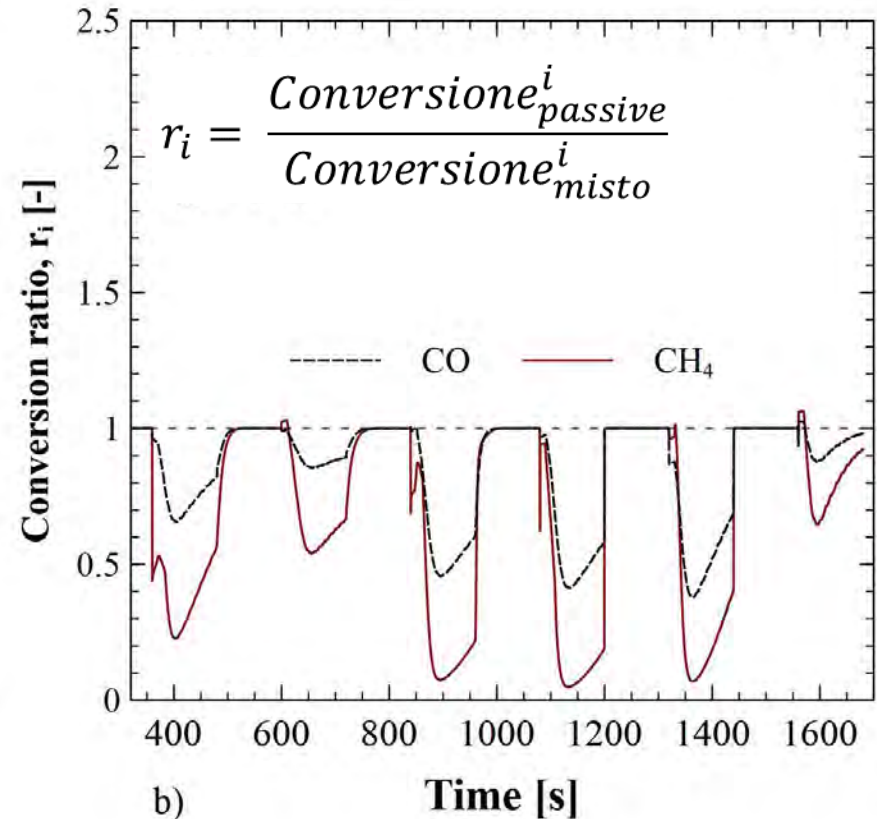
Controllo Misto vs Attivo

$t_{\text{ciclo}} = 20 \text{ s}$



Incremento temperatura media:

$$\Delta T_{\text{solido}} = +5.2\%$$



Incremento conversioni:

$$DC_{\text{HC}} = +39\% \quad DC_{\text{CO}} = +16\%$$





Giornata di studio “Giorgio Minelli” sui Motori a Combustione Interna



Le prospettive future
dei motori a combustion interna

L'attività di ricerca
nel settore motori a combustione interna
presso l'Università della Calabria

sergio.bova@unical.it

**AIM
SEA**

Associazione Italiana
delle Macchine a fluido
e dei Sistemi per
l'Energia e l'Ambiente

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA MECCANICA,
ENERGETICA E GESTIONALE
DIMEG

