



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccanica
Percorso Propulsione dei Veicoli Terrestri
A.a. 2021/2022
Sessione di Laurea Dicembre 2022

Sviluppo strategia di avviamento di motori Diesel ad iniezione meccanica diretta per applicazioni off-road

Relatore:

Ezio Spessa

Candidato:

Denis Poma

Tutor aziendale:

Francesca Torricelli

Sommario

Abstract	6
Introduzione.....	7
1 Allestimento della strumentazione	8
1.1 PEMS.....	9
1.1.1 Componenti.....	9
1.1.2 Funzionamento	10
1.2 Opacimetro	11
1.2.1 Legge di Beer-Lambert.....	11
1.2.2 Funzionamento	11
2 Allestimento del motore.....	13
2.1 Pompa rotativa di iniezione Stanadyne DB4	13
2.1.1 Solenoid actuated Cold Start Advance (CSA).....	14
2.2 'Grid Heater'	15
2.3 'Block Heater'	15
3 KDI 1903 M	16
3.1 Scopo delle prove.....	16
3.2 Elenco prove.....	16
3.2.1 Avviamenti a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico	17
3.2.2 Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42	22
3.2.3 Avviamenti a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42	27
3.2.4 Avviamento a +20°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42, un avviamento (freddo)	31
3.3 Conclusioni prove motore KDI 1903 M	36
4 KDI 2504 TM	37
4.1 Scopo delle prove.....	37
4.2 Elenco prove.....	37
4.2.1 Avviamenti a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico	38
4.2.2 Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.	43
4.2.3 Avviamento a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.	48
4.2.4 Avviamento a +25°C senza Grid Heater e cetano 42	53
4.3 Conclusioni prove motore KDI 2504 TM	57
5 KDI 2504 M	58
5.1 Scopo delle prove.....	58
5.2 Elenco prove.....	58
5.2.1 Avviamento a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico.....	59
5.2.2 Avviamento a -15°C senza Grid Heater e gasolio cetano 42	64

5.2.3 Avviamento a +5°C senza Grid Heater e gasolio cetano 42.....	69
5.2.4 Avviamento a +20°C con Grid Heater e gasolio cetano 42.	74
5.3 Conclusioni prove KDI 2504 M	78
6 KDI 3404 TM	79
6.1 Scopo delle prove.....	79
6.2 Elenco prove.....	79
6.2.1 Avviamenti a -15°C con Block Heater e gasolio Cetano 42.....	80
6.2.2 Avviamento a +5°C con Block Heater e gasolio Cetano 42.....	85
6.2.3 Avviamenti a +20°C senza Block Heater e gasolio Cetano 42	90
6.3 Conclusioni KDI 3404 TM	94
7 Conclusioni	95
Ringraziamenti	96

Indice delle figure

Figura 1: Allestimento della linea di scarico con PEMS, opacimetro e aspiratore.	8
Figura 2: Dettaglio collegamento PEMS e opacimetro a linea di scarico.	9
Figura 3: Sensor unit.	9
Figura 4: Sonda riscaldata (191 °C).	10
Figura 5: schema funzionamento opacimetro.	11
Figura 6: spaccato pompa iniezione Stanadyne DB4.	13
Figura 7: schema Cold Start Advance (CSA).	14
Figura 8: Grid Heater.	15
Figura 9: confronto T_amb a -25°C con gasolio artico.	17
Figura 10: confronto T_H2O e T_manifold a -25°C con gasolio artico.	18
Figura 11: confronto giri motore a -25°C con gasolio artico.	18
Figura 12: confronto THC a -25°C con gasolio artico.	19
Figura 13: confronto NOx a -25°C con gasolio artico.	19
Figura 14: confronto opacità a -25°C con gasolio artico.	20
Figura 15: confronto DTgs a -25°C con gasolio artico.	20
Figura 16: confronto T_amb a -15°C con gasolio cetano 42.	22
Figura 17: confronto T_H2O e T_manifold a -15°C con gasolio cetano 42.	23
Figura 18: confronto giri motore a -15°C con gasolio cetano 42.	23
Figura 19: confronto THC a -15°C con gasolio cetano 42.	24
Figura 20: confronto NOx a -15°C con gasolio cetano 42.	24
Figura 21: confronto opacità a -15°C con gasolio cetano 42.	25
Figura 22: confronto DTgs a -15°C con gasolio cetano 42.	25
Figura 23: confronto T_amb a +5°C con gasolio cetano 42.	27
Figura 24: confronto T_H2O e T_manifold +5°C con gasolio cetano 42.	28
Figura 25: confronto giri motore +5°C con gasolio cetano 42.	28
Figura 26: confronto THC a +5°C con gasolio cetano 42.	29
Figura 27: confronto NOx a +5°C con gasolio cetano 42.	29
Figura 28: confronto DTgs a +5°C con gasolio cetano 42.	30
Figura 29: T_amb a +20°C con gasolio cetano 42.	31
Figura 30: T_H2O e T_manifold a +20°C con gasolio cetano 42.	32
Figura 31: giri motore a +20°C con gasolio cetano 42.	32
Figura 32: THC a +20°C con gasolio cetano 42.	33
Figura 33: NOx a +20°C con gasolio cetano 42.	33
Figura 34: opacità a +20°C con gasolio cetano 42.	34
Figura 35: DTgs a +20°C con gasolio cetano 42.	34
Figura 36: prima strategia di attivazione del CSA (provvisoria).	36
Figura 37: ultima strategia di attivazione del CSA (definitiva).	36
Figura 38: confronto T_amb avvio a -25°C con gasolio artico.	38
Figura 39: confronto T_H2O e T_manifold a -25°C con gasolio artico.	39
Figura 40: confronto giri motore a -25°C con gasolio artico.	39
Figura 41: confronto THC a -25°C con gasolio artico.	40
Figura 42: confronto NOx a -25°C con gasolio artico.	40
Figura 43: confronto opacità a -25°C con gasolio artico.	41
Figura 44: confronto DTgs a -25°C con gasolio artico.	41
Figura 45: confronto 1°avvio T_amb a -15°C con gasolio cetano 42.	43
Figura 46: confronto T_H2O e T_manifold a -15°C con gasolio cetano 42.	44
Figura 47: confronto giri motore a -15°C con gasolio cetano 42.	44
Figura 48: confronto THC a -15°C con gasolio cetano 42.	45
Figura 49: confronto NOx a -15°C con gasolio cetano 42.	45
Figura 50: confronto opacità a -15°C con gasolio cetano 42.	46
Figura 51: confronto DTgs a -15°C con gasolio cetano 42.	46
Figura 52: T_amb a +5°C con gasolio cetano 42.	48
Figura 53: T_H2O e T_manifold a +5°C con gasolio cetano 42.	49
Figura 54: giri motore a +5°C con gasolio cetano 42.	49
Figura 55: THC a +5°C con gasolio cetano 42.	50
Figura 56: NOx a +5°C con gasolio cetano 42.	50
Figura 57: opacità a +5°C con gasolio cetano 42.	51
Figura 58: DTgs a +5°C con gasolio cetano 42.	51
Figura 59: T_amb a +25°C con gasolio cetano 42.	53
Figura 60: T_H2O e T_manifold a +25°C con gasolio cetano 42.	54
Figura 61: giri motore a +25°C con gasolio cetano 42.	54

Figura 62: THC a +25°C con gasolio cetano 42.....	55
Figura 63: NOx a +25°C con gasolio cetano 42.....	55
Figura 64: opacità a +25°C con gasolio cetano 42.	56
Figura 65: DTgs a +25°C con gasolio cetano 42.....	56
Figura 66: T_amb a -25°C con gasolio artico.	59
Figura 67: T_H2O e T_manifold a -25°C con gasolio artico.	60
Figura 68: giri motore a -25°C con gasolio artico.....	60
Figura 69: THC a -25°C con gasolio artico.....	61
Figura 70: NOx a -25°C con gasolio artico.	61
Figura 71: opacità a -25°C con gasolio artico.	62
Figura 72: DTgs a -25°C con gasolio artico.	62
Figura 73: confronto T_amb a -15°C con gasolio cetano 42.	64
Figura 74: confronto T_H2O e T_manifold a -15°C con gasolio cetano 42.	65
Figura 75: confronto giri motore a -15°C con gasolio cetano 42.	65
Figura 76: confronto THC a -15°C con gasolio cetano 42.	66
Figura 77: confronto NOx a -15°C con gasolio cetano 42.....	66
Figura 78: confronto opacità a -15°C con gasolio cetano 42.....	67
Figura 79: confronto DTgs a -15°C con gasolio cetano 42.....	67
Figura 80: confronto T_amb a +5°C con gasolio cetano 42.....	69
Figura 81: confronto T_H2O e T_manifold a +5°C con gasolio cetano 42.....	70
Figura 82: confronto giri motore a +5°C con gasolio cetano 42.	70
Figura 83: confronto THC a +5°C con gasolio cetano 42.	71
Figura 84: confronto NOx a +5°C con gasolio cetano 42.	71
Figura 85: confronto opacità a +5°C con gasolio cetano 42.....	72
Figura 86: confronto DTgs a +5°C con gasolio cetano 42.	72
Figura 87: T_amb a +20°C con gasolio cetano 42.	74
Figura 88: T_H2O e T_manifold a +20°C con gasolio cetano 42.	75
Figura 89: giri motore a +20°C con gasolio cetano 42.	75
Figura 90: THC a +20°C con gasolio cetano 42.....	76
Figura 91: NOx a +20°C con gasolio cetano 42.....	76
Figura 92: opacità a +20°C con gasolio cetano 42.	77
Figura 93: DTgs a +20°C con gasolio cetano 42.....	77
Figura 94: confronto T_amb a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	80
Figura 95: confronto T_H2O e T_manifold a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.....	81
Figura 96: confronto giri motore a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	81
Figura 97: confronto THC a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	82
Figura 98: confronto NOx a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	82
Figura 99: confronto opacità a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.....	83
Figura 100: confronto DTgs a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.....	83
Figura 101: T_amb a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	85
Figura 102: T_H2O e T_manifold a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	86
Figura 103: giri motore a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	86
Figura 104: THC a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.	87
Figura 105: NOx a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.....	87
Figura 106: opacità a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.....	88
Figura 107: DTgs a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.....	88
Figura 108: confronto T_amb a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.	90
Figura 109: confronto T_H2O e T_manifold a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.	91
Figura 110: confronto giri motore a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.....	91
Figura 111: confronto THC a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.....	92
Figura 112: confronto NOx a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.	92
Figura 113: confronto opacità a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.	93
Figura 114: confronto DTgs a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42..	93
Figura 115: strategia CSA definitiva motori KDI1903M - KDI2504TM - KDI2504M.....	95
Figura 116: strategia CSA definitiva motore KDI3404TM.	95

Abstract

Poiché la legislazione continua a imporre riduzioni delle emissioni anche dei motori Diesel off-road (settore agricolo, costruzioni, applicazioni stazionarie, ...), aumenta la necessità di controllare le emissioni inquinanti di quest'ultimi anche durante le fasi di avviamento. Kohler si è posta l'obiettivo di migliorare le emissioni di idrocarburi incombusti (THC) con relativo fumo bianco allo scarico durante le partenze a freddo dei suoi motori ad iniezione meccanica diretta. Questo è possibile sfruttando la tecnologia di 'Cold Start Advance' (CSA) presente sulla pompa di iniezione rotativa Stanadyne DB4 già equipaggiata su questi motori. Il CSA permette di variare l'anticipo di iniezione tramite un comando elettrico al rilascio chiave durante l'avviamento. Inizialmente il CSA prevedeva un tempo fisso di variazione dell'anticipo di 120 s, lo scopo di questa tesi è stato quello di trovare una nuova strategia di durata dell'attivazione del CSA in funzione della temperatura del liquido refrigerante del motore.

Le prove di avviamento sono state eseguite ponendo il motore da analizzare in un cassone frigo con temperatura regolata e collegando direttamente allo scarico un 'Portable Emissions Measurement System' (PEMS) ed un opacimetro per la rilevazione degli inquinanti e dell'opacità; i dati relativi al motore sono stati invece acquisiti con il software INCA.

L'obiettivo è stato quello di trovare una nuova strategia comune per i motori KDI 1903 M, KDI 2504 M e KDI 2504 TM e una nuova strategia di attivazione anche per il motore KDI 3404 TM. Le prove sono state svolte a diverse temperature e con diverse tipologie di gasoli con lo scopo di ricercare sempre il minimo tempo necessario di attivazione della strategia CSA.

L'analisi è stata condotta raccogliendo ed elaborando i dati ottenuti dalle numerose prove e ha prodotto positivamente due nuove strategie di attivazione del CSA per le famiglie di motori analizzate. L'obiettivo futuro di questa analisi sarà quello di verificare tali strategie con eventuali nuove tarature.

Introduzione

Lo studio per questa tesi è stato svolto presso l'azienda Kohler Engines di Reggio Emilia. Questa azienda è stata fondata nel 1922 da Adelmo Lombardini e dal suo socio Pietro Slanzi con il nome di Lombardini, l'azienda si è cresciuta e si sviluppata nel corso degli anni mantenendo sempre come 'core business' la produzione di motori a combustione interna. Dal 2007 è entrata a far parte del Gruppo Kohler.



Kohler Engines è dunque un'azienda specializzata nella produzione di motori Diesel per settori come edilizia, agricoltura, generazione di corrente, industria e trasporti.

La ricerca svolta per questa tesi nasce poiché Kohler si è posta l'obiettivo di migliorare le emissioni di idrocarburi incombusti (THC) con relativo fumo bianco allo scarico durante le partenze a freddo dei suoi motori ad iniezione meccanica diretta. Lo scopo era quindi quello di trovare nuove strategie di avviamento a freddo tramite prove in un cassone climatizzato.

1 Allestimento della strumentazione

Le prove di avviamento per la strategia del CSA si sono svolte in un cassone frigo con l'utilizzo della seguente strumentazione posta all'esterno del cassone:

- AVL Gas PEMS (AVL 493) per l'acquisizione di THC, CO, NOx collegato direttamente alla linea di scarico;
- Opacimetro (AVL 439) per l'acquisizione del dato sull'opacità k dei fumi di scarico, anch'esso collegato direttamente alla linea di scarico;
- Cablaggio collegato ai sensori e moduli di acquisizione delle misure tramite software INCA di: giri motore, temperature dell'ambiente, dell'olio, dell'acqua, del manifold e dei tre/quattro condotti di scarico (a seconda del motore).
- Centralina/quadro motore collegata a: segnale attivazione CSA (se presente), segnale attivazione Grid Heater (se presente), spie di acqua, olio e alternatore.
- Aspiratore gas di scarico per convogliare i gas di scarico e diluirli.

Di seguito è riportato in foto l'allestimento sul lato dello scarico dove sono presenti il PEMS, l'opacimetro e l'aspiratore dei gas di scarico.



Figura 1: Allestimento della linea di scarico con PEMS, opacimetro e aspiratore.

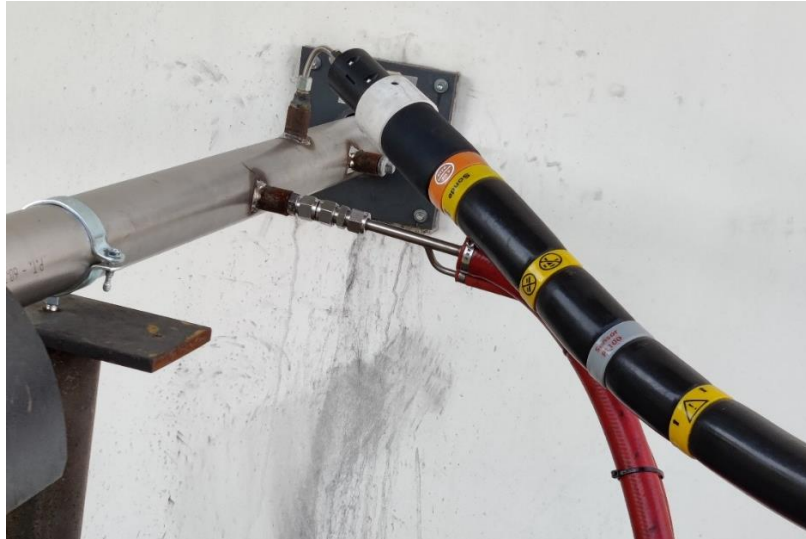


Figura 2: Dettaglio collegamento PEMS e opacimetro a linea di scarico.

1.1 PEMS

Per le prove di questo studio è stato utilizzato il 'AVL Gas PEMS (AVL 493)'.

Il 'Portable Emissions Measurement System' (PEMS) è un dispositivo compatto e robusto, progettato per la misurazione delle concentrazioni di THC, CH₄, NO/NO₂, CO/CO₂ e O₂ nei gas di scarico dei motori a combustione.

Gli analizzatori si distinguono per un elevato livello di accuratezza. Tutti gli analizzatori sono condizionati dalla temperatura per garantire misurazioni affidabili anche in condizioni ambientali estreme.

Il PEMS è stato pensato per l'applicazione mobile, tuttavia, per queste prove è stato utilizzato su un motore a vuoto in misurazioni stazionarie collegandolo direttamente alla linea di scarico.

1.1.1 Componenti

Il AVL Gas PEMS è costituito dalle seguenti unità fisiche:

- Sensor unit (di cui è mostrata la vista anteriore)



Figura 3: Sensor unit.

- Sonda riscaldata (temperatura operativa 191 °C)



Figura 4: Sonda riscaldata (191 °C).

1.1.2 Funzionamento

Il principio funzionale di base del dispositivo è il seguente.

Un flusso di gas di scarico grezzo di circa 3,5 l/min viene trasferito al dispositivo tramite una linea di campionamento riscaldata. Sul filtro riscaldato le particelle vengono rimosse dal gas di scarico grezzo e in corrispondenza del filtro riscaldato, il flusso viene inoltre suddiviso in due flussi parziali, uno dei quali va al 'Flame Ionization Detector' (FID) e l'altro va agli analizzatori 'UltraViolet Analyzer' (UV-RAS) e 'Non-Dispersive Infrared Analyzer' (NDIR) e al sensore O₂.

Il flusso attraverso il FID viene mantenuto a 191 °C fino al rivelatore e poi fatto passare direttamente dal filtro riscaldato all'analizzatore, dove le concentrazioni di THC e CH₄ vengono misurate in ppmC₁. A tale scopo, il filtro riscaldato è montato sul FID.

Il flusso verso gli analizzatori UV-RAS e NDIR viene preraffreddato tramite le condizioni ambientali dopo aver lasciato il filtro riscaldato e trasferito in un refrigeratore a due stadi. Dopo il primo stadio di refrigerazione, passa all'analizzatore UV-RAS dove NO e NO₂ vengono misurati separatamente. A valle dell'analizzatore UV-RAS, il flusso viene nuovamente suddiviso in due flussi parziali di circa 0,75 l/min. Uno di questi due flussi attraversa il secondo refrigeratore dove CO e CO₂ vengono misurati dall'analizzatore NDIR e l'ossigeno dal sensore O₂. Dopo aver fatto passare la pompa per il percorso del gas UV-RAS e NDIR, questo flusso viene unito al flusso attraverso il FID e al flusso di condensa dai refrigeratori all'uscita di scarico dell'AVL Gas PEMS.

La differenza iniziale di portata pari a 3,5 litri è creata dalle pompe della condensa che rimuovono la condensa dai refrigeratori.

Gli analizzatori FID, UV-RAS e NDIR e il sensore O₂ misurano le concentrazioni compensate in pressione dei componenti gassosi allo scarico in ppm o vol%; i valori possono essere visualizzati tramite un'interfaccia utente del dispositivo e post-elaborati dal software AVL CONCERTO PEMS.

1.2 Opacimetro

L'opacimetro AVL 439 misura l'opacità dell'aria contaminata, in particolare quella delle emissioni dei gas di scarico dei motori diesel.

Una camera di misurazione con lunghezza di misurazione definita e superficie non riflettente viene riempita in modo omogeneo con gas di scarico. Viene misurata la perdita di intensità luminosa tra una sorgente luminosa e un ricevitore e da essa viene calcolata l'opacità del gas di scarico. Il calcolo si basa sulla legge di Beer-Lambert.

1.2.1 Legge di Beer-Lambert

Quando la radiazione elettromagnetica si propaga attraverso un mezzo, la sua intensità diminuisce lungo la lunghezza del suo percorso.

Nella nostra misurazione, l'estinzione della luce avviene in un gas di scarico carico di particolato di fuliggine (soot).

Secondo la legge di Beer-Lambert, l'estinzione della luce si comporta come mostrato di seguito:

$$I = I_0 * e^{-kL}$$

- I_0 intensità della luce al rivelatore senza mezzo assorbente;
- I intensità della luce al rivelatore con mezzo assorbente (soot) dopo aver percorso la lunghezza di misura
- $k [m^{-1}]$ coefficiente di assorbimento
- $L [m]$ lunghezza di misura (= 0,430 m).

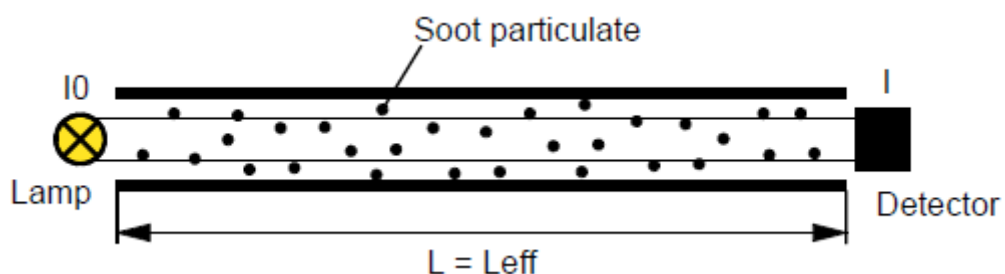


Figura 5: schema funzionamento opacimetro.

1.2.2 Funzionamento

Il gas di scarico da misurare segue il percorso descritto di seguito:

- Una sonda (lunghezza tipica 1 m) è montata nella linea di scarico per prelevare il campione.
- Il campione viene indirizzato attraverso una valvola pneumatica a 3/2 vie, chiamata valvola zero air, nella linea di condizionamento verso l'opacimetro. La linea della sonda è circondata da aria condizionata nel tubo di condizionamento del campione per garantire che il campione abbia una temperatura tipica di $100 \pm 5^\circ C$ quando entra nell'opacimetro.
- Dopo essere entrato nell'opacimetro, il campione viene alimentato attraverso la valvola di ingresso nella camera di misurazione dove viene eseguita la misurazione dell'opacità effettiva.

- Il gas di scarico viene quindi condotto attraverso l'unità filtrante e l'elemento filtrante contenuto per rimuovere le impurità. Questo per evitare danni ai componenti a valle.
- Il flussometro controlla la portata tramite un orificio di misurazione. Il filtro diventa meno permeabile con il tempo a seconda della quantità di fuliggine emessa dal motore.
- Il gas di scarico passa quindi attraverso un accumulatore nel gruppo pompa che consiste di due pompe a membrana. Queste due pompe assicurano che il gas fluisca attraverso il sistema di misurazione in modo costante (40 ~ 49 litri/min).
- Dopo il pompaggio, il gas campionato fuoriesce dall'opacimetro attraverso il sistema di ricircolo dei gas di scarico.

2 Allestimento del motore

Per le prove di questa tesi sono stati utilizzati i motori Diesel ad iniezione meccanica diretta KDI 1903 M, KDI 2504 M, KDI 2504 TM e KDI 3404 TM prodotti da Kohler Engines.

Tutti e quattro i motori sono accessoriati con la pompa rotativa di iniezione Stanadyne DB4 e con un 'Grid Heater' che si aziona al di sotto dei -15 °C ambiente.

Per il motore KDI 3404 TM è stato utilizzato anche un 'Block Heater' che si aziona per temperature inferiori ai 20 °C del liquido di raffreddamento.

2.1 Pompa rotativa di iniezione Stanadyne DB4

Per queste prove è stata montata sul motore la pompa rotativa di iniezione Stanadyne DB4 dotata della tecnologia 'Cold Start Advance' necessaria per la finalità della nostra prova.

TARGET Featured DB4 Pump

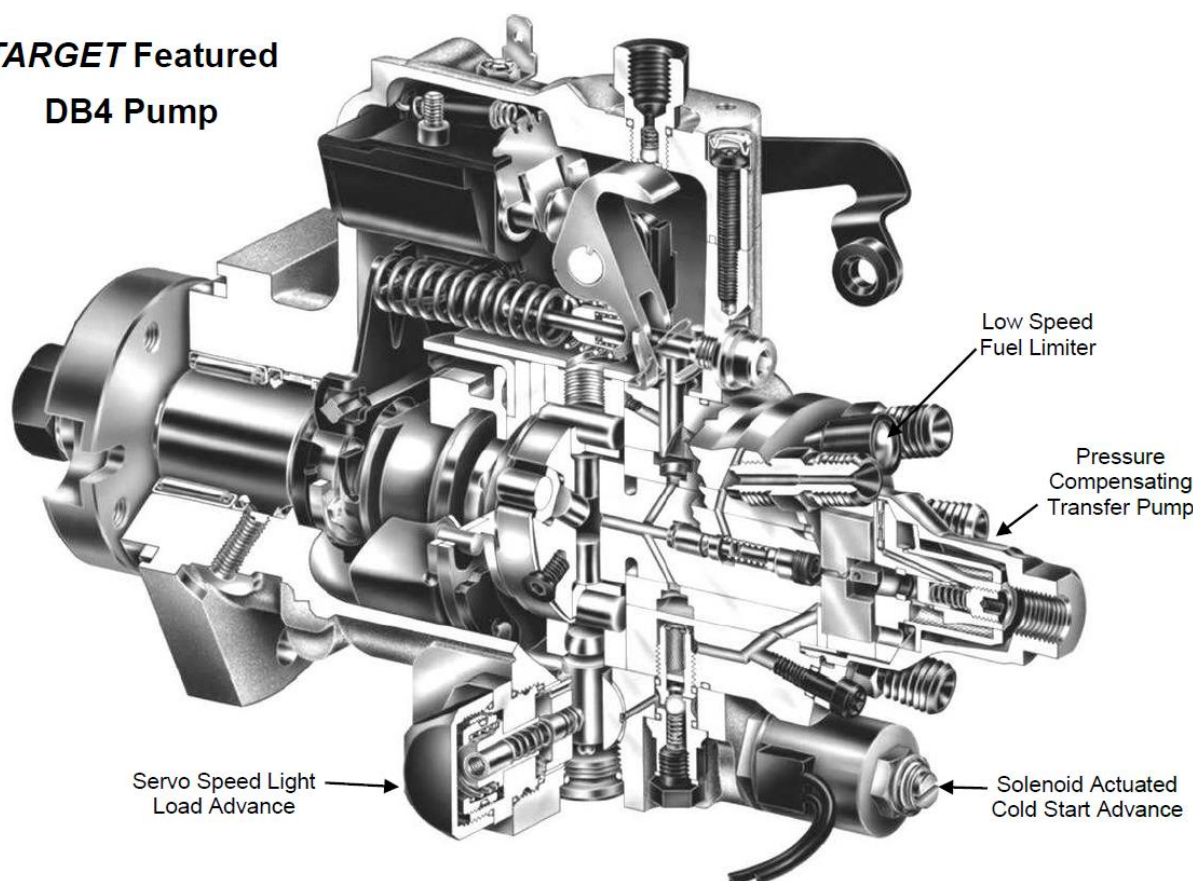


Figura 6: spaccato pompa iniezione Stanadyne DB4.

2.1.1 Solenoid actuated Cold Start Advance (CSA)

Il 'Cold Start Advance' (CSA) è un solenoide, azionato idraulicamente che fornisce una quantità fissa di anticipo per migliorare le caratteristiche di avviamento a freddo.

I componenti chiave di questa tecnologia sono il solenoide 'Cold Start Advance' e il pistone 'Cold Advance'. L'anticipo di avviamento a freddo del solenoide è generalmente controllato dal circuito del sensore di temperatura del liquido di raffreddamento del motore. Quando le temperature del liquido di raffreddamento del motore sono inferiori alla temperatura di soglia, il solenoide viene eccitato e la pressione del carburante (in rosa in figura) può fluire nell'area dietro il pistone 'Cold Advance'. Il pistone di anticipo viene quindi azionato idraulicamente nella direzione di anticipo fornendo un anticipo aggiuntivo per eliminare il fumo bianco durante il funzionamento a motore freddo.

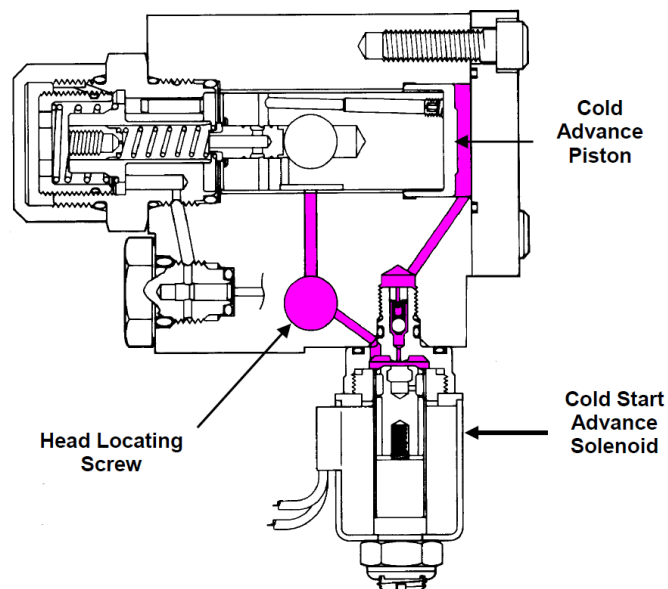


Figura 7: schema Cold Start Advance (CSA).

2.2 'Grid Heater'

I motori meccanici sono dotati di una griglia di riscaldamento dell'aria situata sul collettore di aspirazione per favorire gli avviamenti con temperature inferiori ai -15°C . La griglia di riscaldamento ('Grid Heater') viene utilizzata per riscaldare la carica d'aria in entrata mentre l'aria passa sopra la griglia. Questa carica d'aria riscaldata favorisce l'accensione della miscela gasolio-aria. Una miscela calda di carburante e aria facilita l'avvio del ciclo di combustione diesel.

Il 'Grid Heater' ha un timing di accensione in funzione della temperatura ambiente composto da un preriscaldamento a seguito del primo scatto chiave e da un post-riscaldamento dopo che il motore si è avviato. Entrambi i tempi di pre e post riscaldamento variano in funzione della temperatura ambiente e il Grid Heater si attiva solo per temperature inferiori a -15°C .



Figura 8: Grid Heater.

2.3 'Block Heater'

Il riscaldatore monoblocco ('Block Heater') viene utilizzato per climi freddi al fine di riscaldare il motore prima dell'avviamento. Il Block Heater aiuta il riscaldamento del motore agendo sul liquido di raffreddamento; esso è infatti un componente esterno al motore che viene collegato a quest'ultimo a discrezione dell'utilizzatore e, tramite resistenze elettriche, mantiene la temperatura del liquido refrigerante costante. Il Block Heater attraverso tale liquido favorisce così il riscaldamento globale del motore rendendolo più prestante all'avviamento alle basse temperature.

3 KDI 1903 M

3.1 Scopo delle prove

Kohler si è posta l'obiettivo di migliorare le emissioni di idrocarburi incombusti (THC) con relativo fumo bianco allo scarico durante le partenze a freddo. Lo scopo di queste prove è quindi quello di trovare una nuova strategia di attivazione del CSA per il motore KDI 1903 M.

Si è deciso di trovare una strategia comune per i motori KDI 1903 M, KDI 2504 M e KDI 2504 TM e si è partiti da questo motore perché si è osservato come, da prove eseguite in passato, fosse il motore più vincolante per l'applicazione di una strategia comune. Per questi tre motori era prevista un'attivazione del CSA standard di 120 s per tutte le temperature di avviamento. È stato prefissato come obiettivo della prova di ottenere una nuova strategia di attivazione del CSA in funzione della temperatura del liquido di raffreddamento del motore all'avviamento, stabilendo un limite di temperatura oltre al quale non utilizzare il CSA.

È stata scelta la temperatura del liquido di raffreddamento del motore come riferimento poiché a regime termico freddo sia la temperatura di quest'ultimo che quella dell'aria sono confrontabili, ma in caso di accensione e spegnimento del motore, con successivo riavvio, non lo sarebbero. Il motore durante l'avvio si riscalderebbe facendo aumentare la temperatura del liquido di raffreddamento con conseguente variazione della strategia del CSA al secondo avvio; la temperatura dell'ambiente, invece, rimarrebbe costante facendo riutilizzare erroneamente la stessa strategia di CSA del primo avvio.

Il CSA viene dunque azionato automaticamente tramite un comando elettrico, applicato da una centralina dedicata, non appena riceve il segnale di rilascio chiave. Il segnale di temperatura del liquido refrigerante è acquisito invece tramite un sensore apposito anch'esso collegato alla centralina della strategia CSA.

3.2 Elenco prove

Sono state svolte diverse prove con questo motore variando sia la temperatura all'avviamento che il gasolio utilizzato per avere una buona base di dati con l'obiettivo di trovare il minimo tempo di attivazione della strategia CSA per ogni temperatura di avviamento.

Di seguito sono riportate tutte le prove eseguite con il motore KDI 1903 M, sono evidenziate in grassetto le prove più significative e tali prove verranno analizzate nello specifico successivamente. Si pone all'attenzione il fatto che i cursori presenti nei grafici di THC e NOx indicano l'istante in cui si disattiva il CSA.

Le prove sono state eseguite azionando il motore a vuoto con taratura 18,4 kW @1800 rpm.

- **Avviamenti a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico.**
- Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Artico.
- **Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.**
- Avviamenti a +5°C senza Grid Heater e gasolio EPA.
- **Avviamenti a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.**
- **Avviamento a +20°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.**
- Avviamento a +30°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.

3.2.1 Avviamenti a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico

Temperatura cassone: -25°C

Gasolio: artico

Grid Heater: attivato

Attivazione CSA: 3 prove -> attivo 120 s, attivo 60 s e disattivato

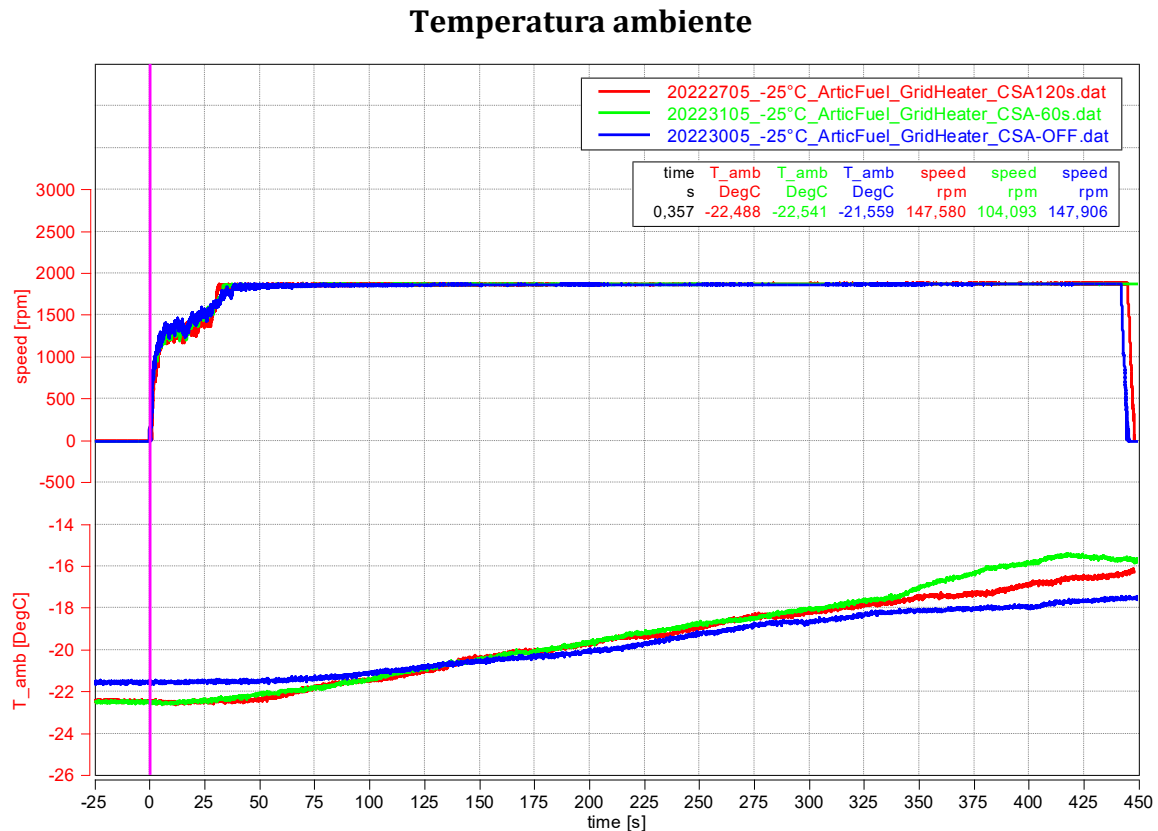


Figura 9: confronto T_{amb} a -25°C con gasolio artico.

La temperatura ambiente della prova non è effettivamente -25°C ma oscilliamo tra -21,5°C e -22,5°C a causa di limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i -25°C impostati nel cassone frigo.

Temperatura acqua e manifold

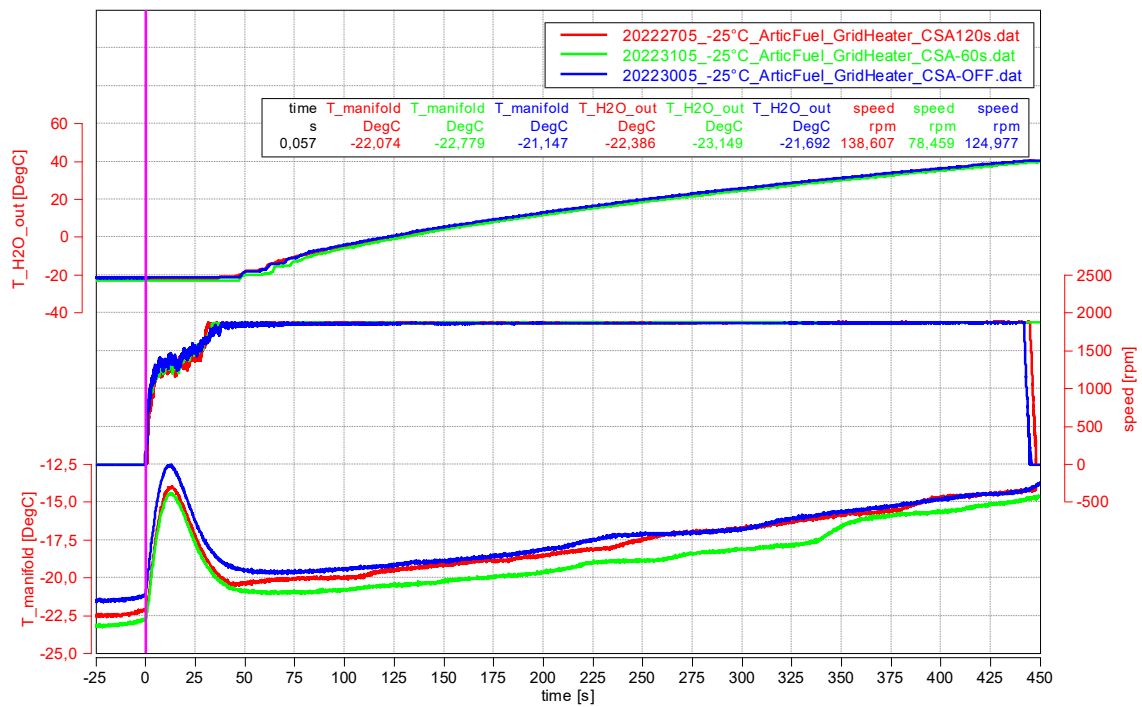


Figura 10: confronto T_{H_2O} e $T_{manifold}$ a -25°C con gasolio artico.

Qui sono riportate le temperature effettive dell'acqua e del manifold misurate all'avviamento del motore.

Giri motore

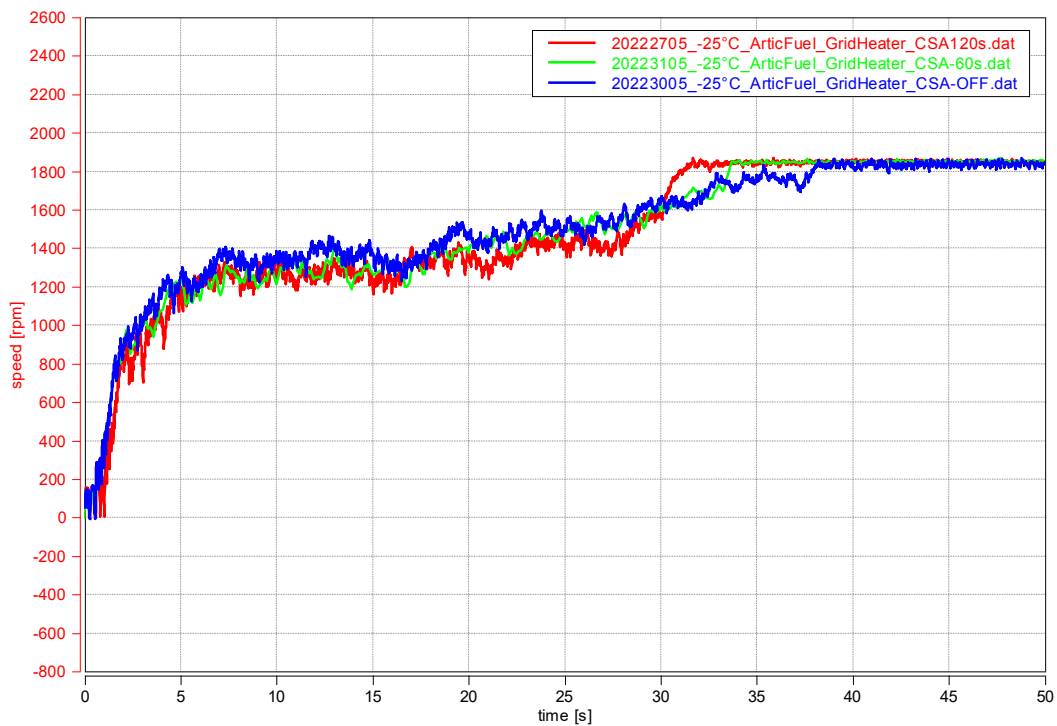


Figura 11: confronto giri motore a -25°C con gasolio artico.

Il motore impiega dai 30 s ai 40 s per raggiungere stabilmente il regime.

THC

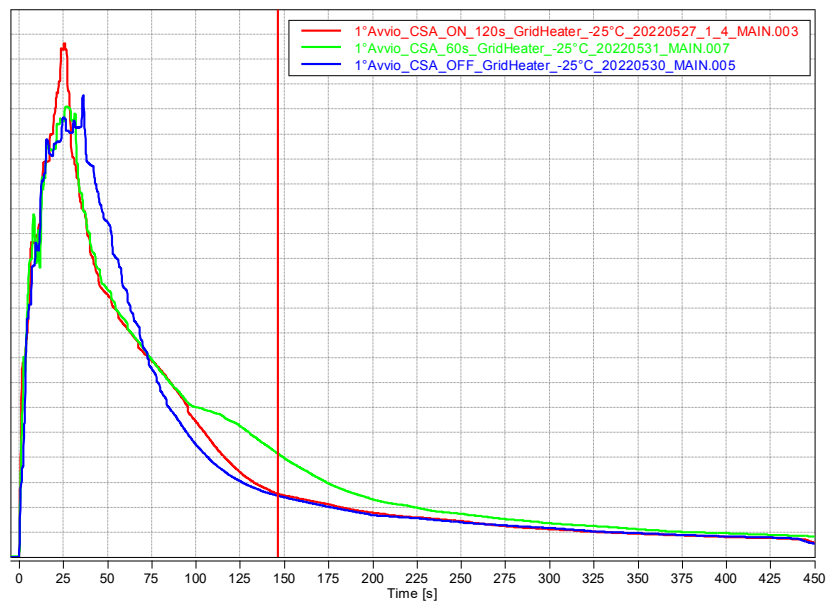


Figura 12: confronto THC a -25°C con gasolio artico.

Il cursore rosso indica la fine del CSA 120 s, mentre per CSA 60 s si può stimare la disattivazione del CSA osservando la risalita dei THC dopo circa 90 s. I tempi del CSA sembrano più grandi di quelli prefissati ma essendo che il CSA si attiva al rilascio chiave osserviamo dalla velocità del motore come ci siano voluti circa 30 s per raggiungere il regime e rilasciare effettivamente chiave.

Si osserva come il Grid Heater aiuti molto la prova senza CSA ad allinearsi con quelle con CSA attivo.

NOx

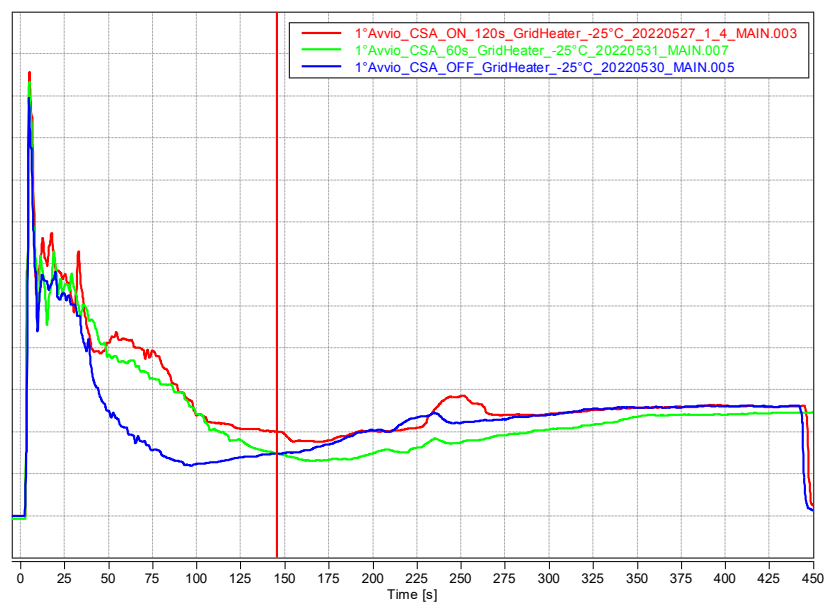


Figura 13: confronto NOx a -25°C con gasolio artico.

I NOx mostrano un andamento opposto rispetto ai THC come atteso dal momento che, aumentando l'anticipo di iniezione, otteniamo una combustione migliore con temperature in camera maggiori. Per le prove con CSA si raggiungono NOx stabili prima della disattivazione del CSA.

Opacità k

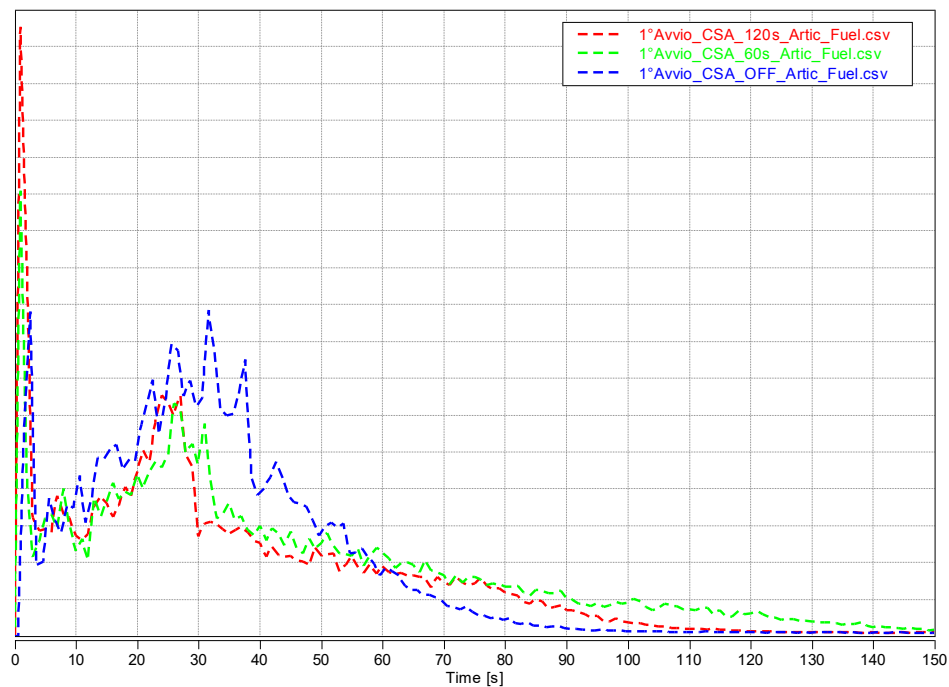


Figura 14: confronto opacità a -25°C con gasolio artico.

L'opacità mostra un picco iniziale seguito da una risalita tanto maggiore al diminuire del tempo di attivazione del CSA.

Delta gas di scarico

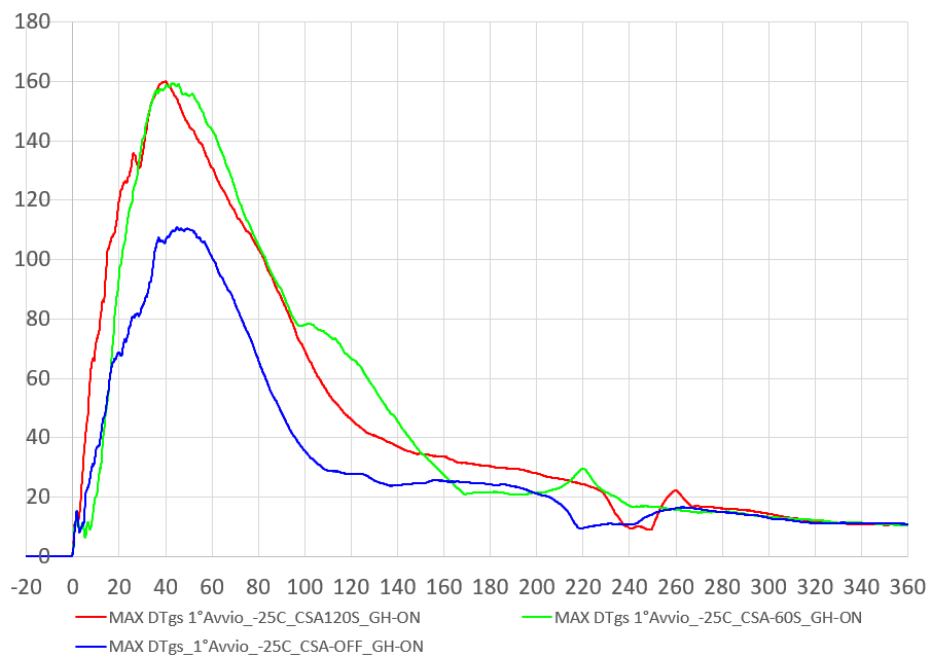


Figura 15: confronto DTgs a -25°C con gasolio artico.

Il delta fra i gas di scarico è maggiore per le prove con CSA attivo, questo perché l'utilizzo del Grid Heater fa sì che la prova senza CSA sia simile a quelle con CSA attivo e prevale la variabilità di combustione dei diversi cilindri fra le varie prove rispetto all'effetto del CSA.

Considerazioni prove

Il CSA non incide significativamente su diminuzione dei THC, questo perché il Grid Heater aiuta ad avere un avviamento migliore. La durata del CSA di 60 s risulta essere troppo piccola perché al termine si osserva risalita dei THC.

I NOx sono leggermente più alti per prove con CSA come atteso e raggiungono valori di ppm contenuti e stabili prima di disattivazione del CSA.

L'opacità mostra un andamento coerente con le curve dei THC.

Si osservano DTgs minori per la prova senza CSA, il Grid Heater allinea le prove indipendentemente dal CSA e i DTgs dell'avviamento dipendono più da variabilità tra le varie accensioni.

Per la prova -25°C gasolio artico con Grid Heater attivo il CSA con durata 120 s è utile nelle prime fasi di avviamento ma non per forza necessario per avere un buon andamento degli inquinanti.

3.2.2 Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42

Temperatura cassone: -15°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Attivazione CSA: 3 prove -> attivo 120 s, attivo 160 s e disattivato

Note:

- Durante l'avviamento della prova con CSA 120 s il motore si è spento ed è stato riavviato subito dopo.
- L'acquisizione della centralina tramite INCA della prova CSA 160 s non è stata completa e risultano mancanti i dati iniziali della prova.

Temperatura ambiente

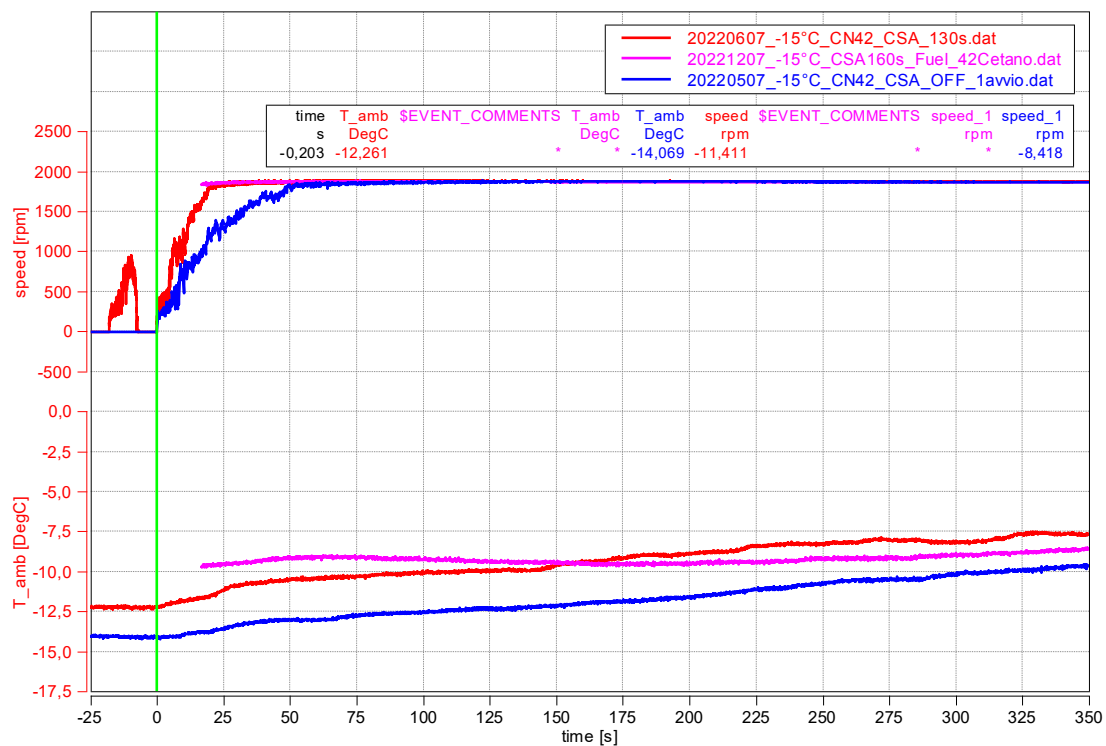


Figura 16: confronto T_{amb} a -15°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente effettiva della prova non è -15°C ma oscilliamo tra -14°C e -10°C a causa dei soliti limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i -15°C impostati nel cassone frigo.

Temperatura acqua e manifold

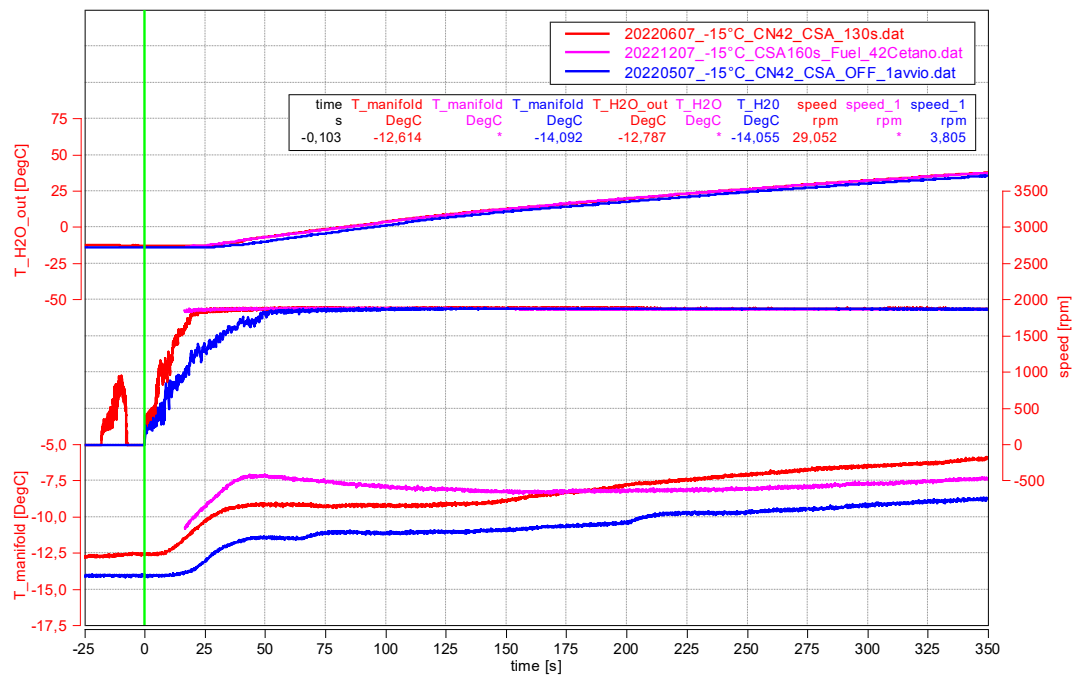


Figura 17: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ a -15°C con gasolio cetano 42.

Giri motore

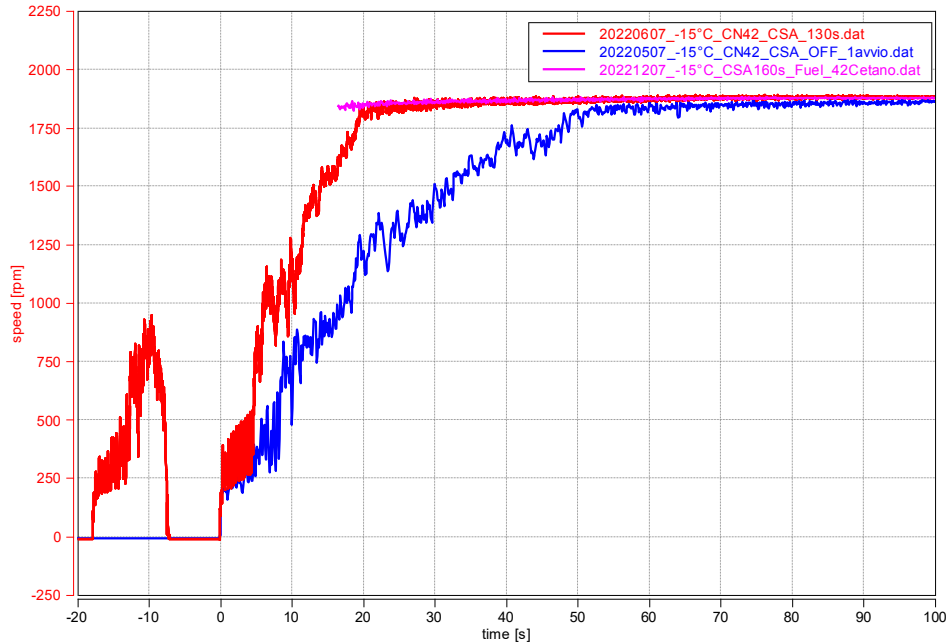


Figura 18: confronto giri motore a -15°C con gasolio cetano 42.

Il motore nella prova CSA 130 s si è spento dopo l'inserimento del CSA, è stato riavviato subito dopo.

Per raggiungere la velocità di regime nella prova senza CSA si impiegano circa 50 s, mentre nella prova con CSA 120 circa 20-25 s; mentre i problemi nell'acquisizione dei dati INCA per la prova CSA 160 s non ci permettono di vedere la rampa iniziale della velocità.

THC

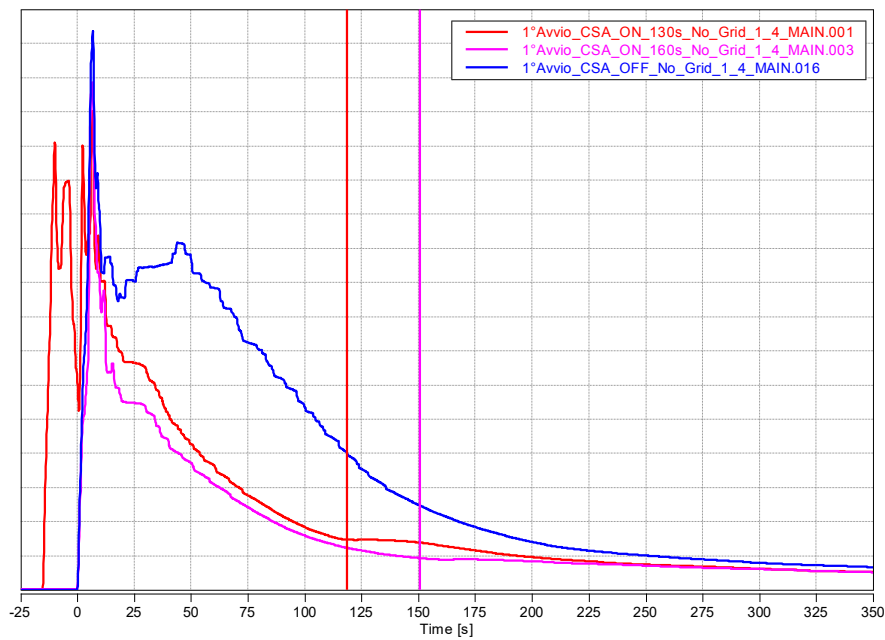


Figura 19: confronto THC a -15°C con gasolio cetano 42.

Osserviamo un netto miglioramento tra il CSA OFF e il CSA 160 s con quest'ultimo che crea una notevole diminuzione del valore di THC letta dal PEMS. Il caso con CSA 120 s presenta un doppio picco causato dalla doppia accensione e soprattutto possiamo notare come il valore di THC abbia un valore stabile non decrescente dopo la disattivazione del CSA indice di un tempo di attivazione del CSA troppo breve.

NOx

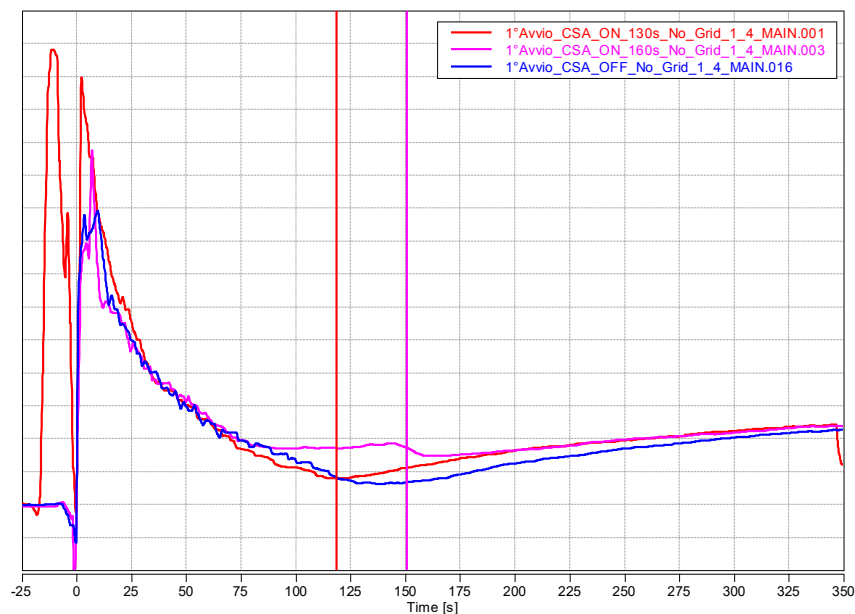


Figura 20: confronto NOx a -15°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano un andamento simile per le prove con CSA 120 s e senza CSA dopo il picco iniziale, nel caso della prova CSA 160 s osserviamo un gradino che è indice della disattivazione del CSA (variazione dell'anticipo).

Opacità k

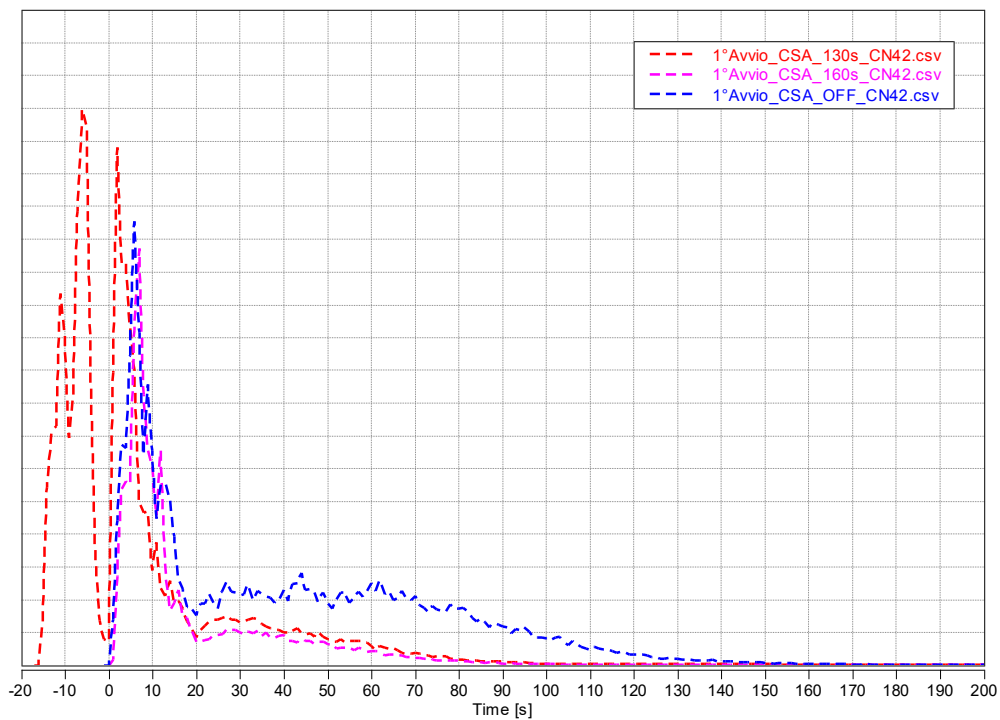


Figura 21: confronto opacità a -15°C con gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un picco iniziale (doppio per la prova CSA 120 s con due avvii) e un andamento decrescente che è maggiore all'aumentare del tempo di attivazione del CSA.

Delta gas di scarico

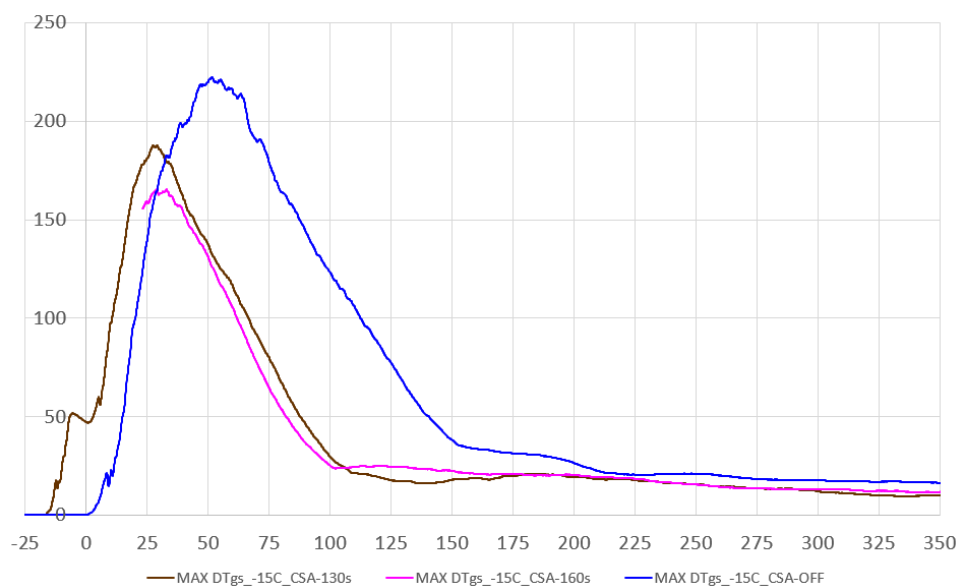


Figura 22: confronto DTgs a -15°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico è maggiore per la prova senza CSA rispetto alle prove con CSA, il picco decresce all'aumentare del tempo di attivazione della strategia. Per la prova CSA 160 s a causa dell'incompletezza dei dati si è stimata la posizione del picco del DTgs.

Considerazioni prove

I THC decrescono più rapidamente con CSA attivo anche per la prova con CSA 120 s dove il motore si è spento causando un primo accumulo di THC con riavvio immediato. Nella prova CSA 120 s osserviamo però uno stazionamento dei THC indice di un tempo di CSA troppo corto.

I NOx presentano un drop nella prova con CSA 160 s come atteso e si allineano sotto un valore basso e stabile.

L'opacità rispecchia i THC con decrescita più rapida e marcata dopo picco iniziale per prova con CSA attivo.

Per i DTgs nonostante il dato incompleto per la prova CSA 160 s osserviamo andamenti minori per le prove con CSA attivo.

Per la prova -15°C gasolio cetano 42 il CSA è necessario con la strategia di 120 s non sufficiente ad evitare risalita di THC mentre 160 s risultano essere la scelta ottimale.

3.2.3 Avviamenti a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42

Temperatura cassone: +5°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Attivazione CSA: 3 prove -> attivo 120 s, attivo 60 s e disattivato

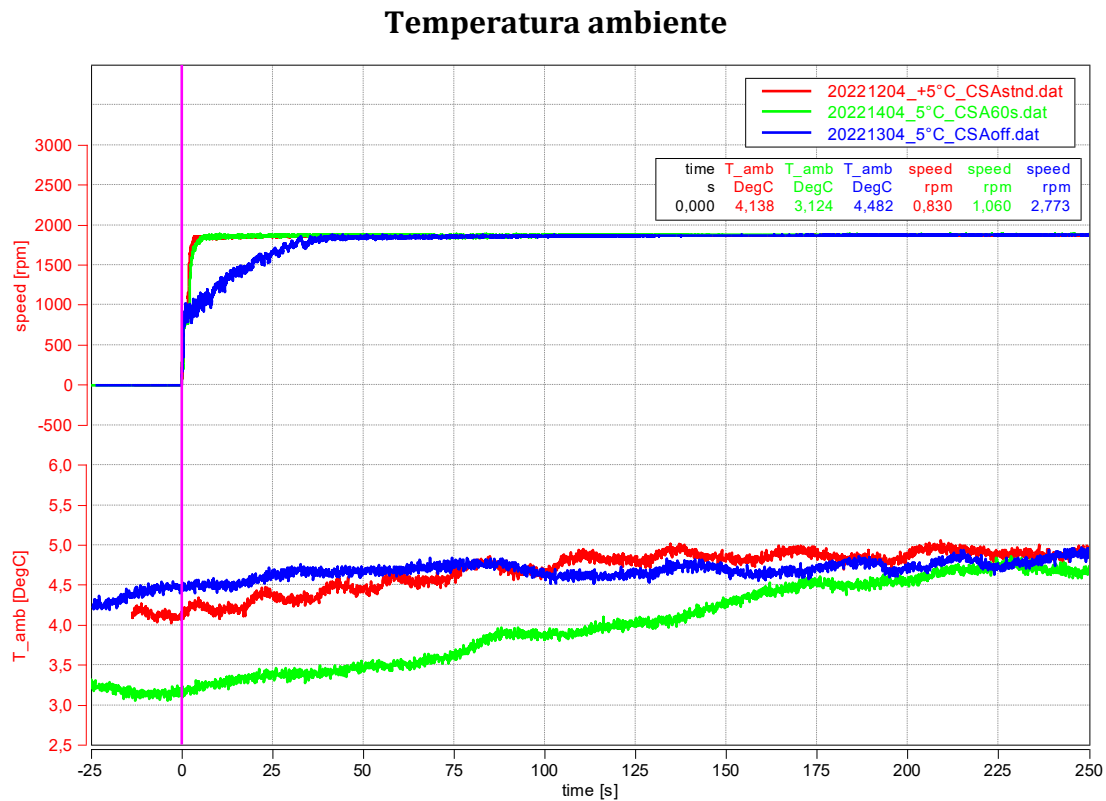


Figura 23: confronto T_amb a +5°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente della prova oscilla tra 3°C e 4,5°C.

Temperatura acqua e manifold

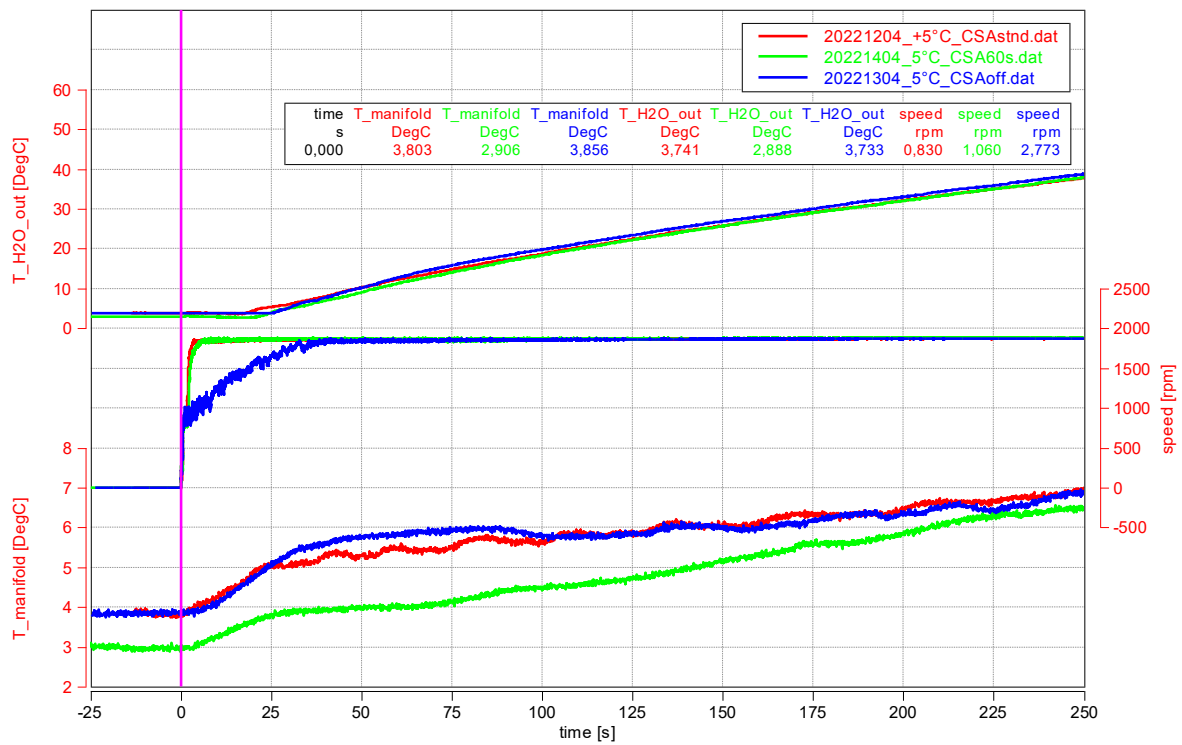


Figura 24: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ +5°C con gasolio cetano 42.

Giri motore

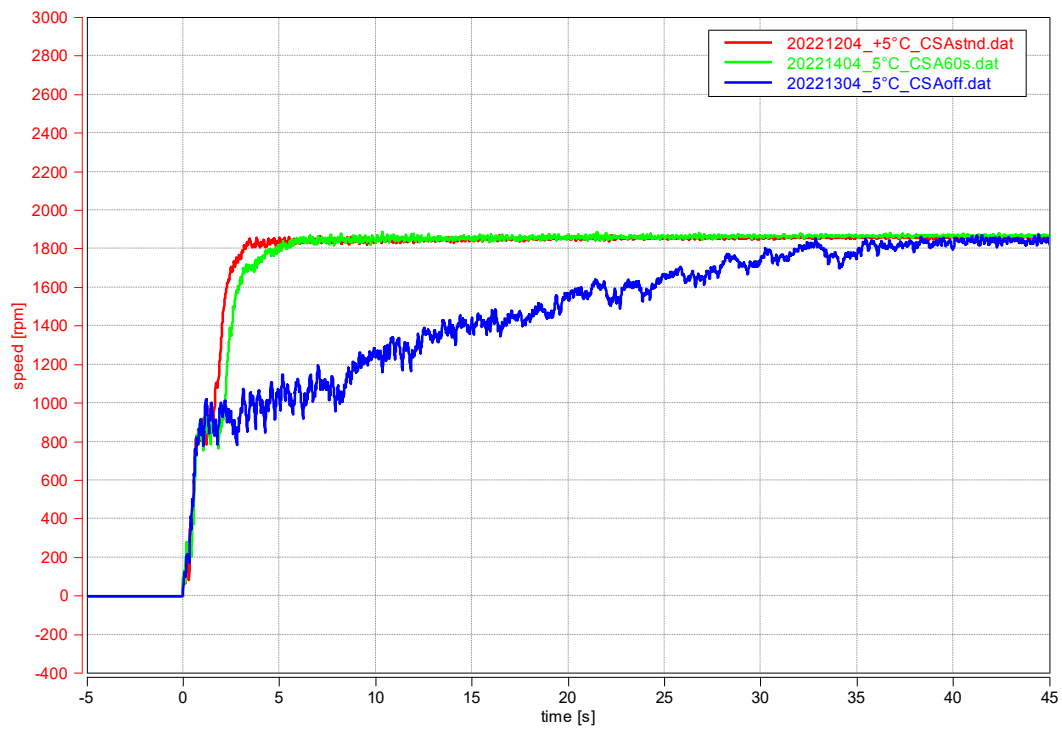


Figura 25: confronto giri motore +5°C con gasolio cetano 42.

Il motore impiega pochi secondi a raggiungere il regime con CSA attivo, mentre circa 35 s nel caso di CSA disattivato.

THC

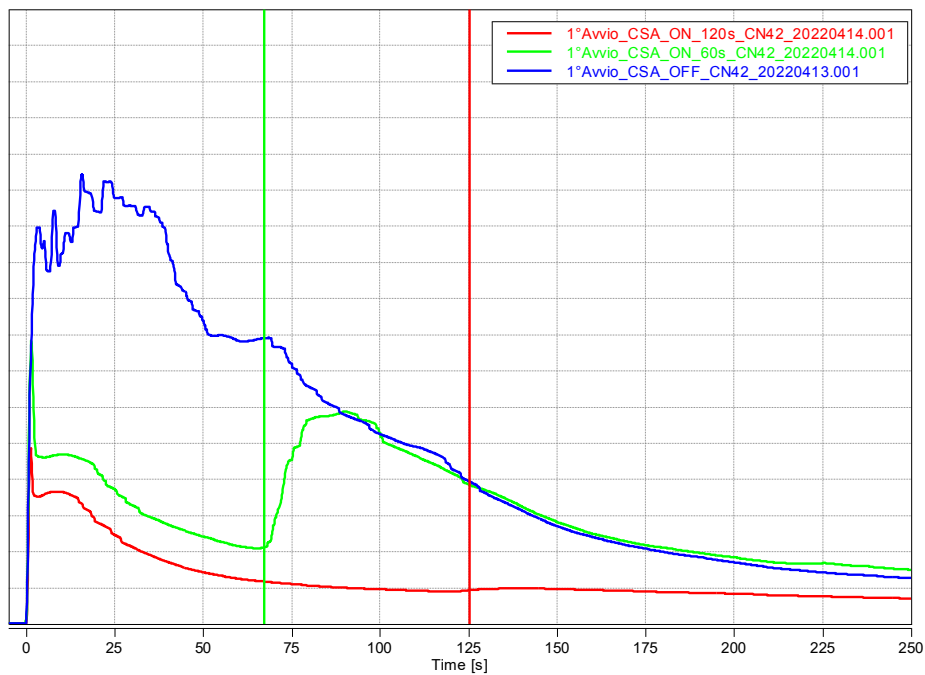


Figura 26: confronto THC a +5°C con gasolio cetano 42.

Si osserva come nel caso di CSA 60 s alla disattivazione di tale strategia si ha un aumento dei THC fino alla curva con CSA disattivato per poi diminuire lentamente con lo stesso andamento. Il caso con CSA 120 s risulta essere invece la soluzione migliore per questa temperatura.

NOx

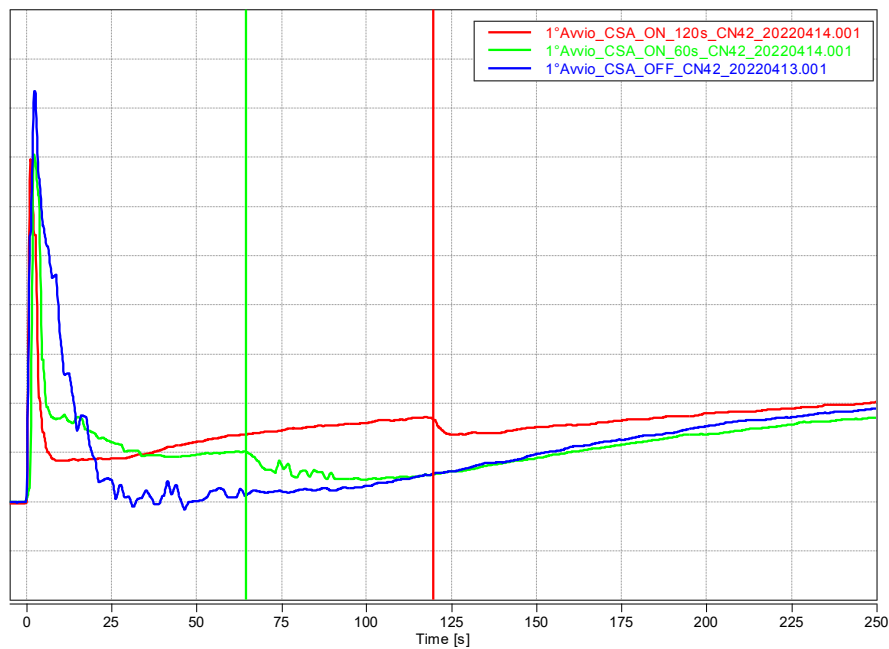


Figura 27: confronto NOx a +5°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano sempre un drop alla disattivazione del CSA fino ad allinearsi sullo stesso andamento per le tre prove.

Opacità k

Non è stato utilizzato l'opacimetro per queste prove.

Delta gas di scarico

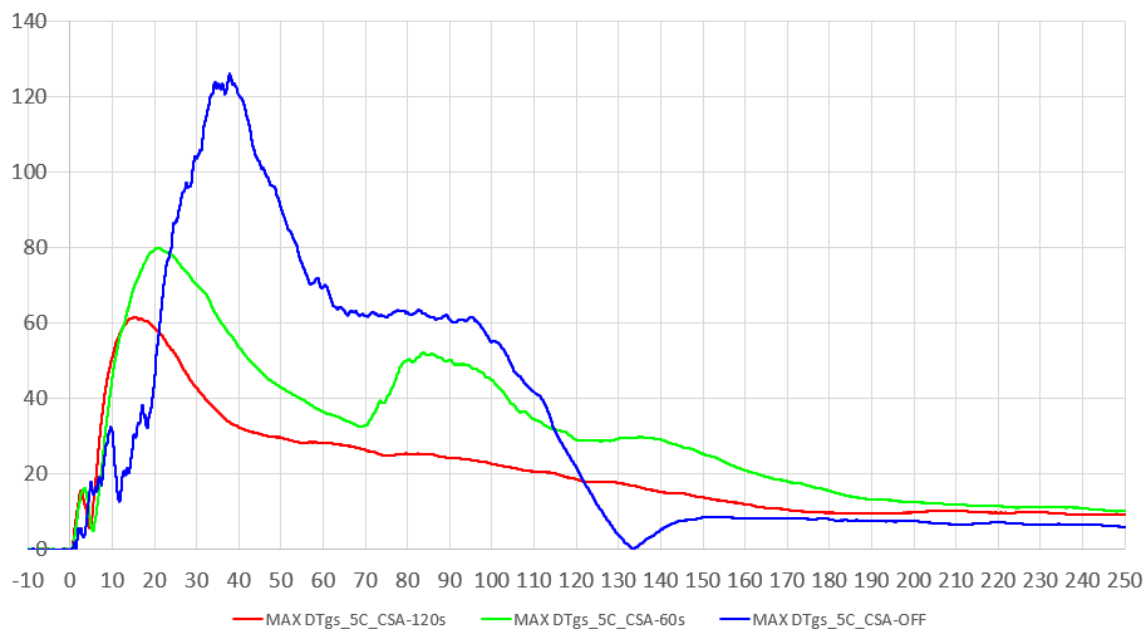


Figura 28: confronto DTGs a +5°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico riprende l'andamento visto per i THC con un aumento marcato alla disattivazione del CSA 60 s.

Considerazioni prove

I THC diminuiscono maggiormente con attivazione del CSA, nella prova CSA 60 s si osserva netta risalita dei THC dopo disattivazione di quest'ultimo con allineamento alla prova senza CSA. Anche in questo caso possiamo dire che il tempo di CSA è troppo corto.

I NOx hanno un drop nelle prove con CSA alla sua disattivazione e si allineano sempre al di sotto di un valore basso e stabile.

Opacità non acquisita.

I DTGs rispecchiano andamento dei THC con anche la stessa risalita per la prova CSA 60 s postuma alla disattivazione di quest'ultimo.

Per la prova +5°C gasolio cetano 42 il CSA deve essere utilizzato e la strategia a 120 s risulta essere l'unica soluzione accettabile, con 60 s si ha un drastico peggioramento dei THC.

3.2.4 Avviamento a +20°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42, un avviamento (freddo)

Temperatura cassone: +20°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Attivazione CSA: 1 prova -> [disattivato](#)

Temperatura ambiente

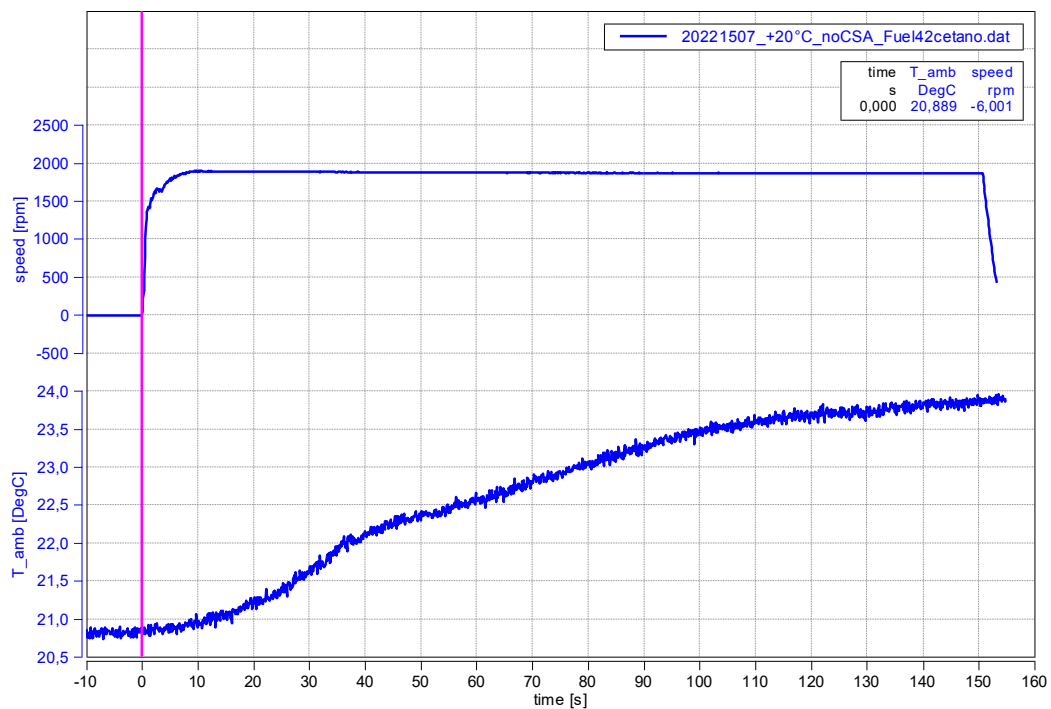


Figura 29: T_{amb} a +20°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente della prova effettiva è poco più di 20°C, il cassone frigo ha un range tra -25°C e +5°C per cui si è cercato di ottenere i 20°C raffreddando a +5°C e poi facendo riscaldare l'ambiente con la temperatura esterna.

Temperatura acqua e manifold

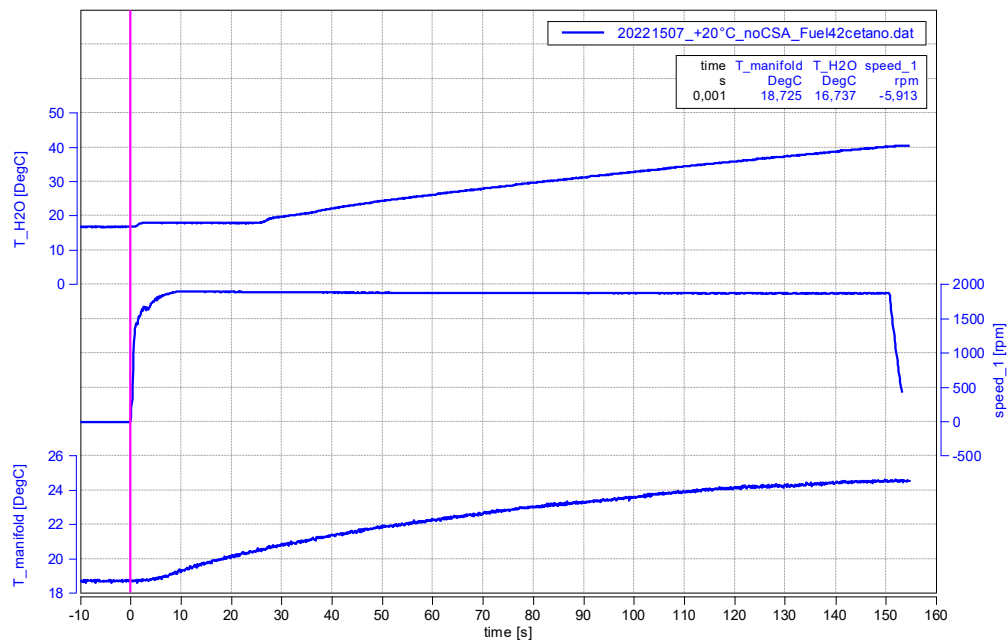


Figura 30: T_{H2O} e $T_{manifold}$ a $+20^{\circ}\text{C}$ con gasolio cetano 42.

Qui sono riportate le temperature effettive dell'acqua e del manifold misurate all'avviamento del motore, a causa delle modalità con cui si è raggiunto il target di temperatura risultano essere leggermente inferiori ai 20°C e alla temperatura ambiente di inizio prova.

Giri motore

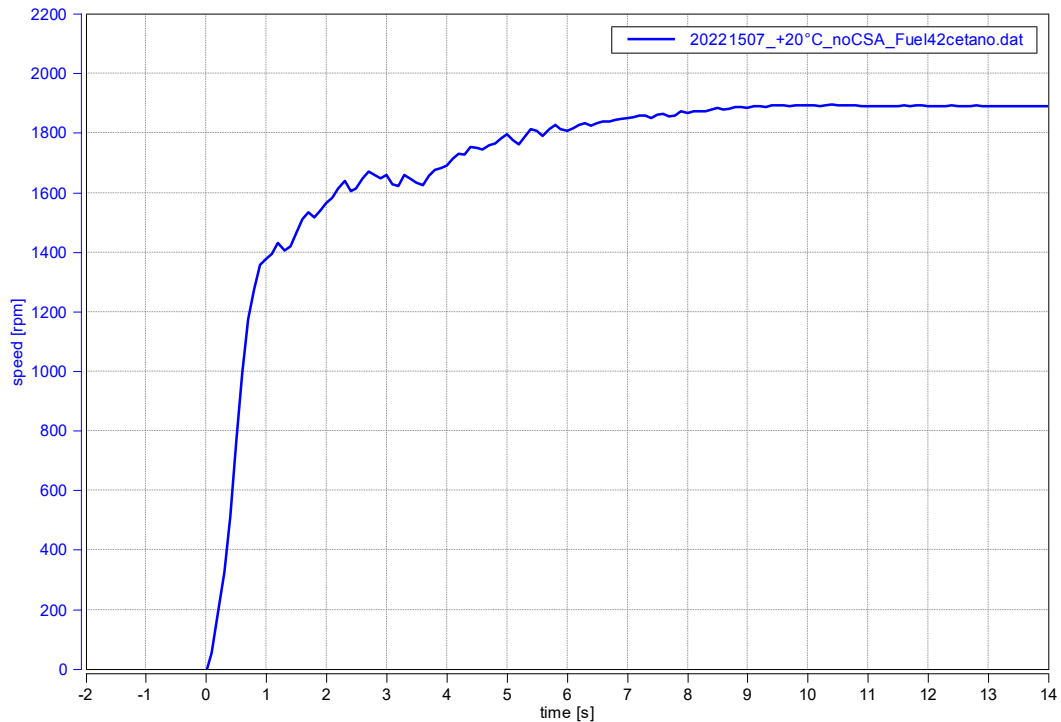


Figura 31: giri motore a $+20^{\circ}\text{C}$ con gasolio cetano 42.

Il motore impiega meno di 10 s per raggiungere il regime.

THC

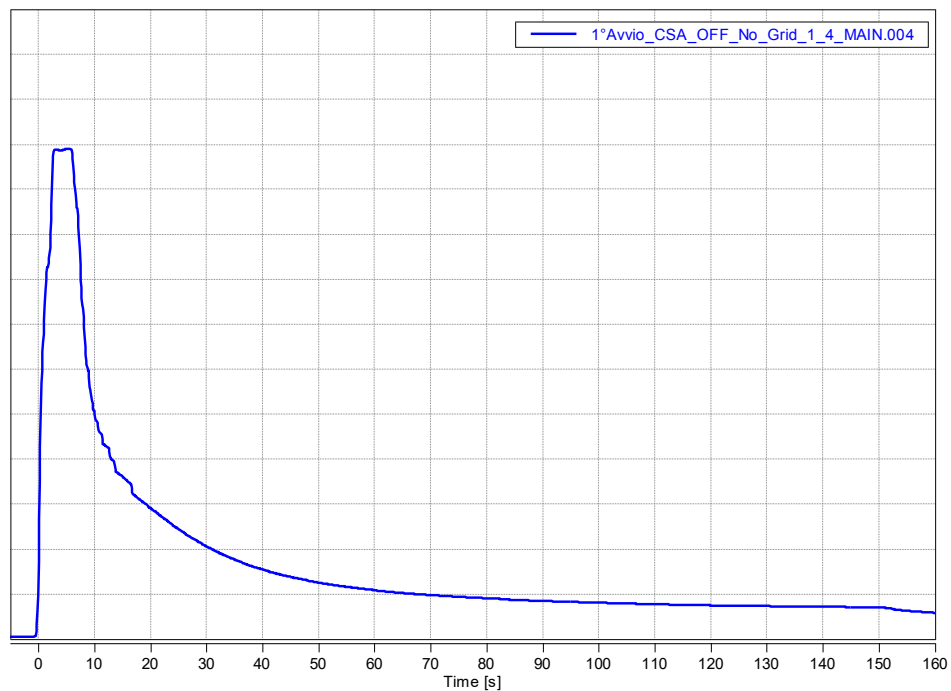


Figura 32: THC a +20°C con gasolio cetano 42.

I THC hanno un picco iniziale che comincia a decrescere rapidamente prima dei 10 s.

NOx

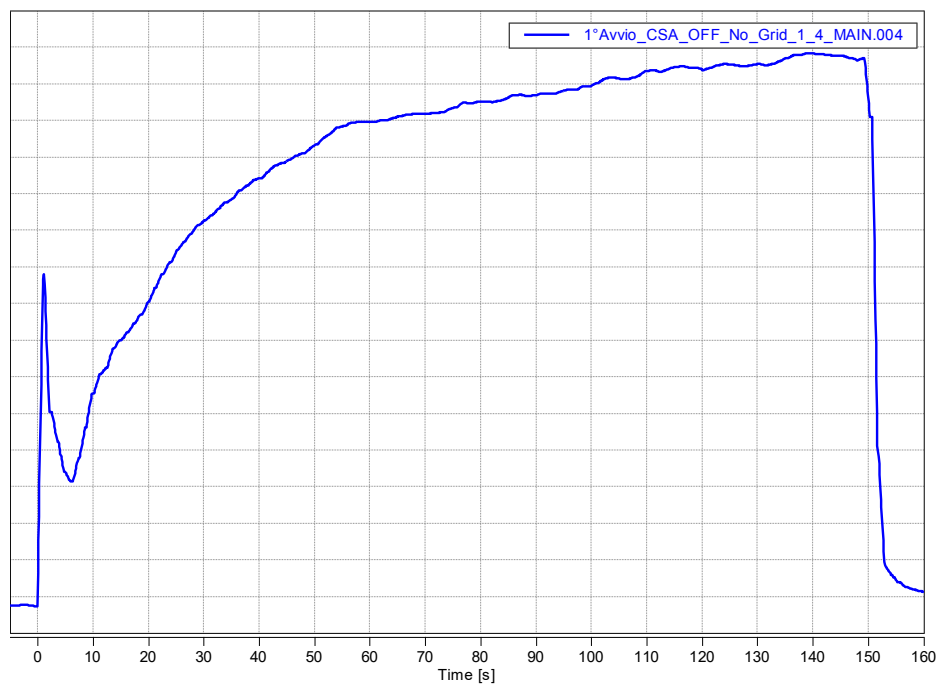


Figura 33: NOx a +20°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano un andamento opposto rispetto ai THC con valori comunque contenuti. L'andamento e i valori dei NOx sono simili ad alcuni secondi avvis di altre prove più fredde fatte con questo motore, a dimostrazione del fatto che il CSA non è necessario a questa temperatura.

Opacità k

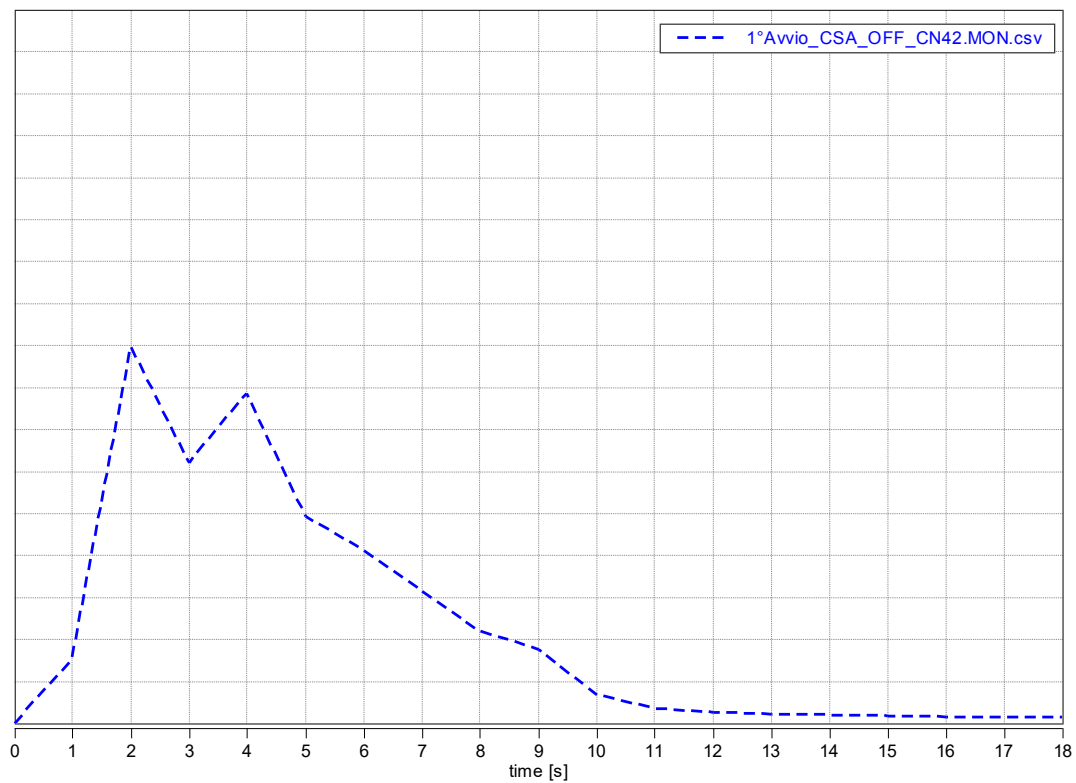


Figura 34: opacità a +20°C con gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un doppio picco iniziale seguito da una decrescita che va sotto il limite di misfiring, stabilito da una specifica interna, in pochi secondi.

Delta gas di scarico

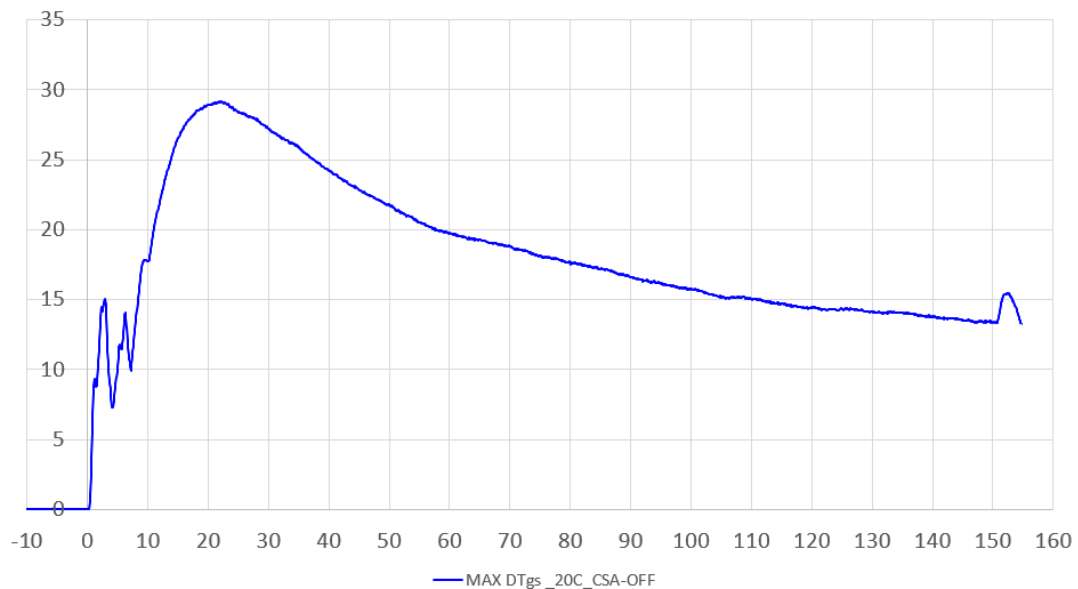


Figura 35: DTgs a +20°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico è molto contenuto (< 30°C) con le tre temperature dei gas di scarico che risultano quasi allineate.

Considerazioni prova

I THC scendono rapidamente dopo picco iniziale.

I NOx sono molto contenuti all'avvio, tendono ad un valore basso e stabile al raggiungimento del regime di funzionamento del motore.

L'opacità presenta un doppio picco, ma con valori contenuti. Si osserva soprattutto che l'opacità rientra nel valore di misfiring accettabile, stabilito da specifica interna, in pochi secondi.

I DTgs sono contenuti ($<30^{\circ}\text{C}$).

Per la prova $+20^{\circ}\text{C}$ gasolio cetano 42 si evince come non sia necessario il CSA.

3.3 Conclusioni prove motore KDI 1903 M

Si è osservato come l'utilizzo del CSA per questo motore sia necessario per l'avviamento alle basse temperature, la strategia del CSA ci permette di migliorare nettamente le emissioni di THC a fronte di un lieve peggioramento dei NOx. La scala grafica dei NOx mostrata nelle figure ha infatti un ordine di grandezza diverso e inferiore rispetto a quella dei THC

Le prove, nonostante qualche dato incompleto, hanno evidenziato come a -15°C il tempo di CSA allungato sia migliorativo rispetto al tempo standard e che a +5°C non sia possibile ridurre il tempo di attivazione standard di tale strategia.

Queste prove in particolare ci hanno permesso di stimare positivamente una nuova curva di attivazione del CSA più conservativa rispetto a quella standard a basse temperature e legata alla temperatura del liquido di raffreddamento all'avviamento. Con questa nuova strategia si sono osservati dei miglioramenti a temperature più critiche con CSA maggiori rispetto a quello standard di 120 s.

Inizialmente si era optato per una curva di attivazione più semplice come mostrato in figura.

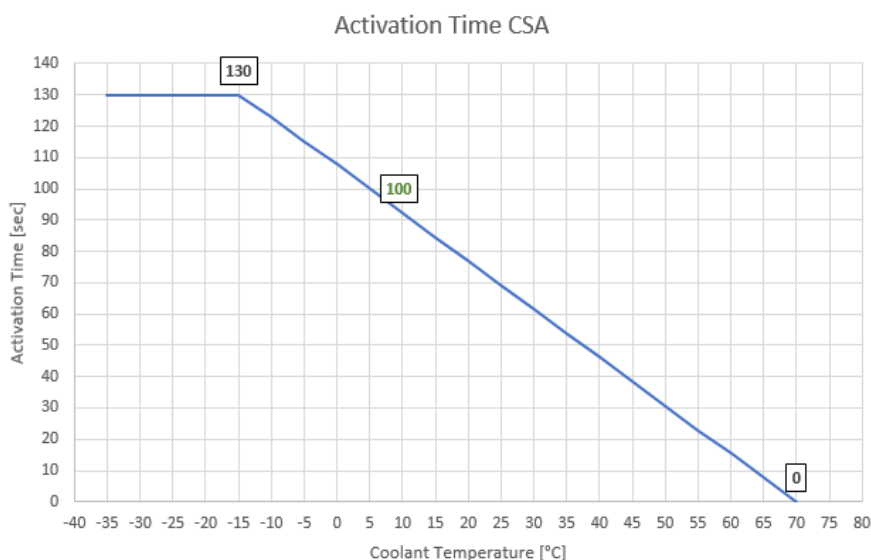


Figura 36: prima strategia di attivazione del CSA (provvisoria)

Successivamente si è osservato con una maggiore raccolta dati di come quest'ultima non fosse adatta per questo motore e si è arrivati alla formulazione di una nuova strategia definitiva.

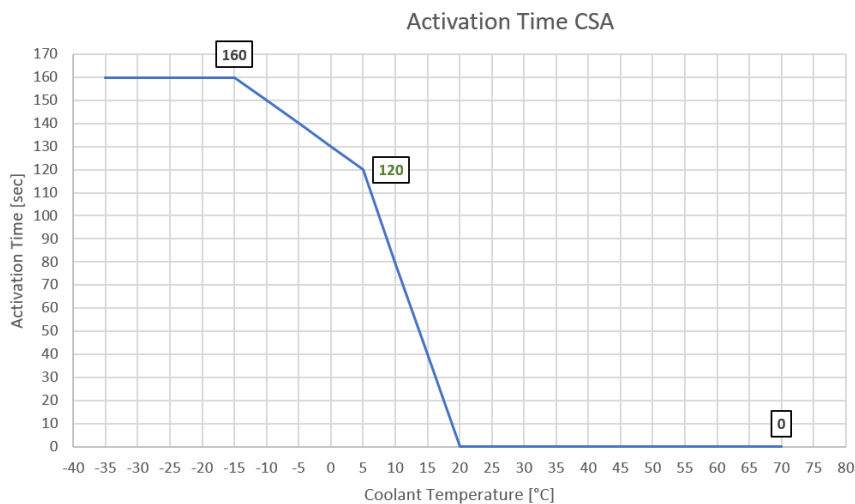


Figura 37: ultima strategia di attivazione del CSA (definitiva)

4 KDI 2504 TM

4.1 Scopo delle prove

Lo scopo di queste prove è quello di verificare la nuova strategia di attivazione del CSA strategia ottenuta per il motore KDI 1903 M suk motore KDI 2504 TM. Anche per questo motore era infatti prevista una strategia di attivazione del CSA standard di 120 s per tutte le temperature di avviamento.

4.2 Elenco prove

Per questo motore sono state eseguite principalmente le prove di verifica per la strategia del CSA ottenuta con il motore KDI 1903 M

L'elenco delle prove eseguite è riportato di seguito e tali prove verranno analizzate successivamente. Si pone sempre all'attenzione il fatto che i cursori presenti nei grafici di THC e NOx indicano l'istante in cui si disattiva il CSA.

Le prove sono state eseguite azionando il motore a vuoto con taratura 36,4 kW @1800 rpm.

- **Avviamenti a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico**
- **Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42**
- **Avviamenti a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42**
- **Avviamento a +25°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42**

4.2.1 Avviamenti a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico

Temperatura cassone: -25°C

Gasolio: artico

Grid Heater: attivato

Attivazione CSA: 2 prove -> attivo 160 s e disattivato

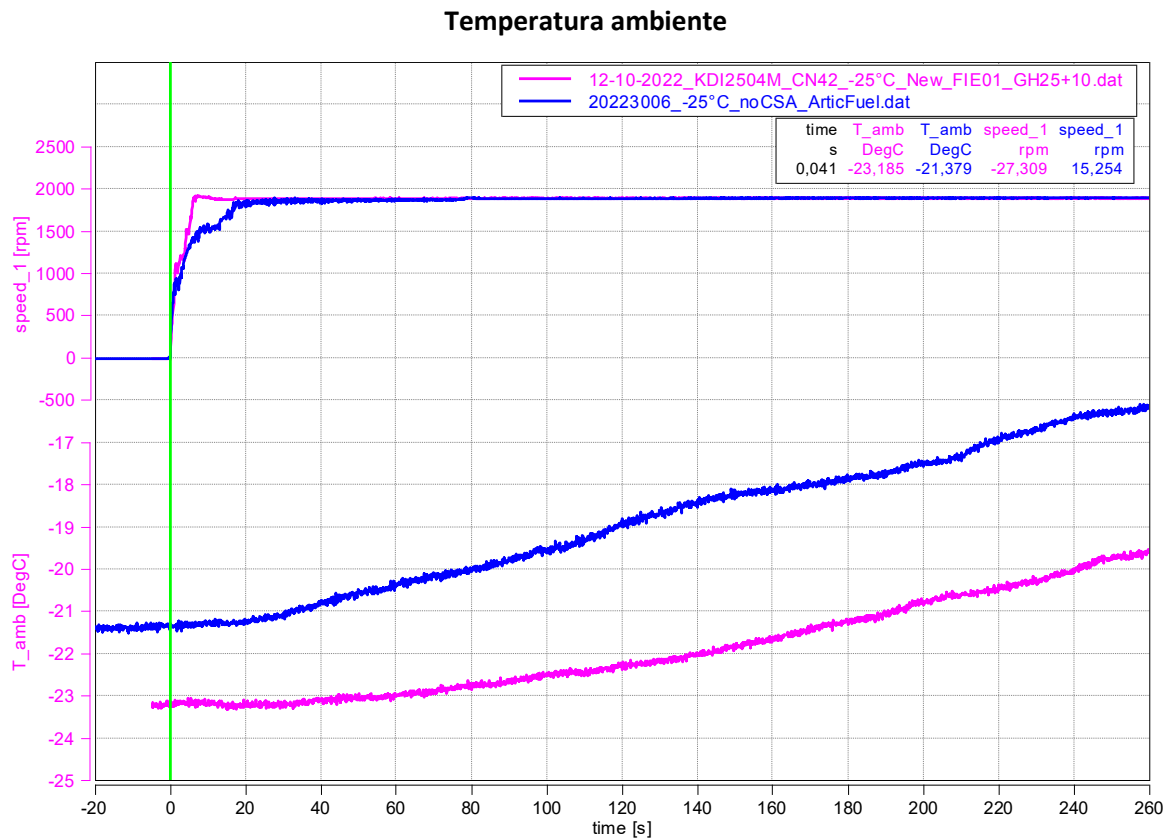


Figura 38: confronto T_{amb} avvio a -25°C con gasolio artico.

La temperatura ambiente delle prove non è effettivamente -25°C ma oscilla tra -22°C e -18°C a causa di limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i -25°C impostati nel cassone frigo con temperature esterne maggiori.

Temperatura acqua e manifold

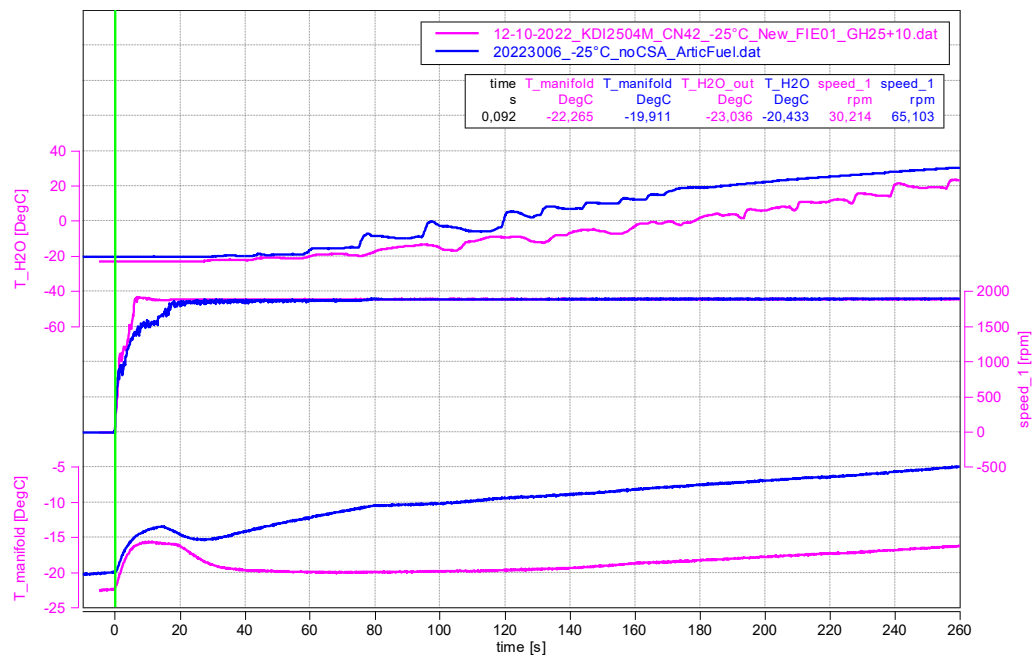


Figura 39: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ a -25°C con gasolio artico.

Qui sono riportate le temperature effettive dell'acqua e del manifold misurate all'avviamento del motore. Si osserva l'effetto del Grid Heater nel riscaldamento della $T_{manifold}$ prima nelle fasi precedenti l'avviamento.

Giri motore

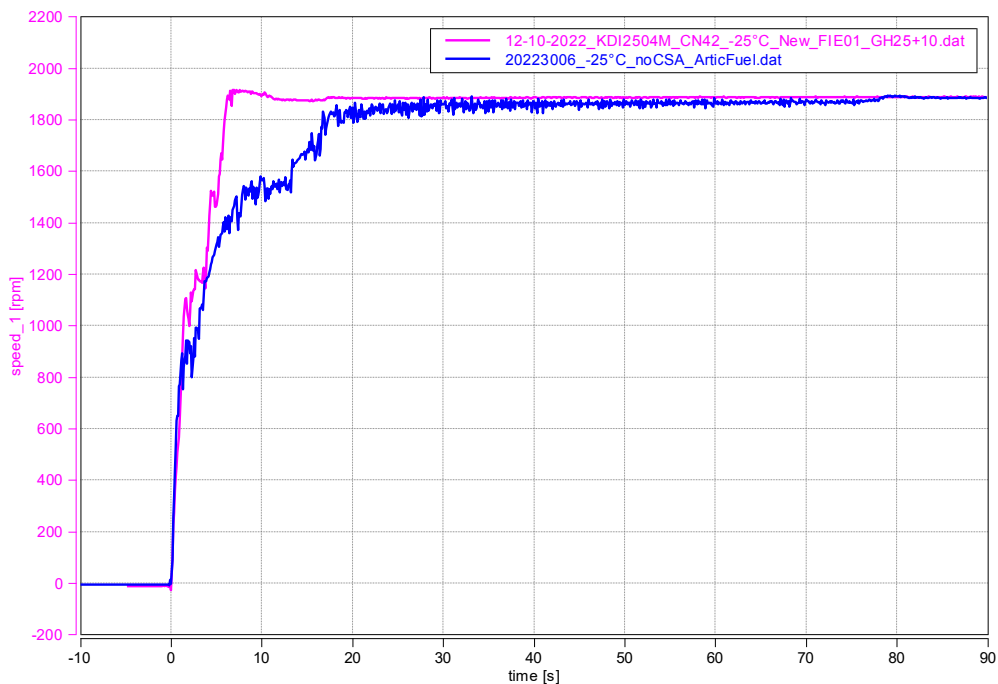


Figura 40: confronto giri motore a -25°C con gasolio artico.

Il motore con CSA si è spento ed è stato riavviato subito dopo impiegando pochi secondi a raggiungere il regime, mentre senza CSA ci vogliono circa 20 s.

THC

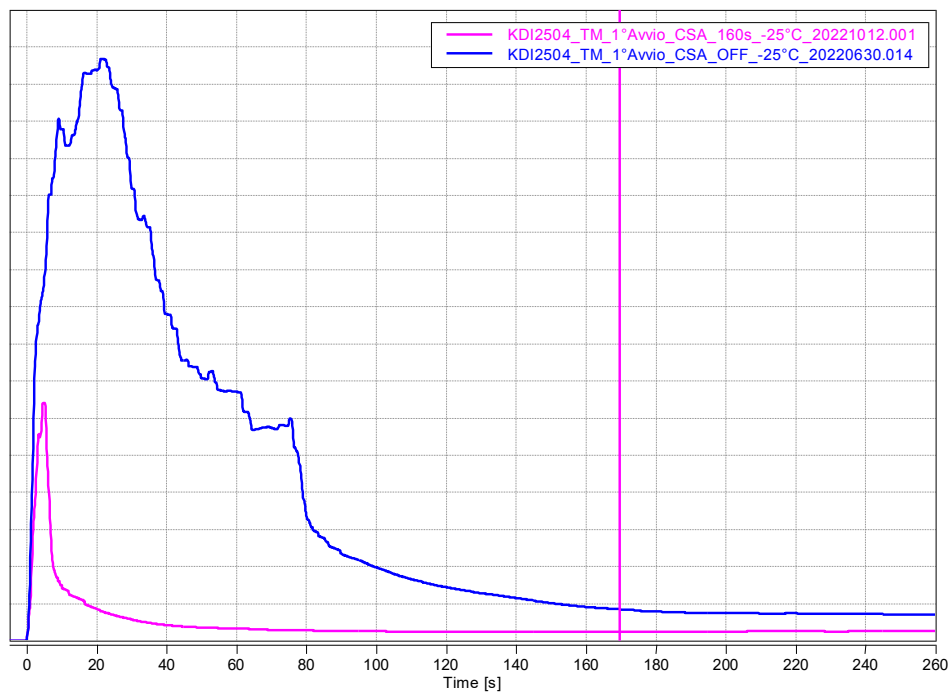


Figura 41: confronto THC a -25°C con gasolio artico.

I THC sono nettamente più contenuti con il CSA attivo ed impiegano pochi secondi per avere una decrescita evidente. Non si osserva un aumento dei THC dopo la disattivazione del CSA.

NOx

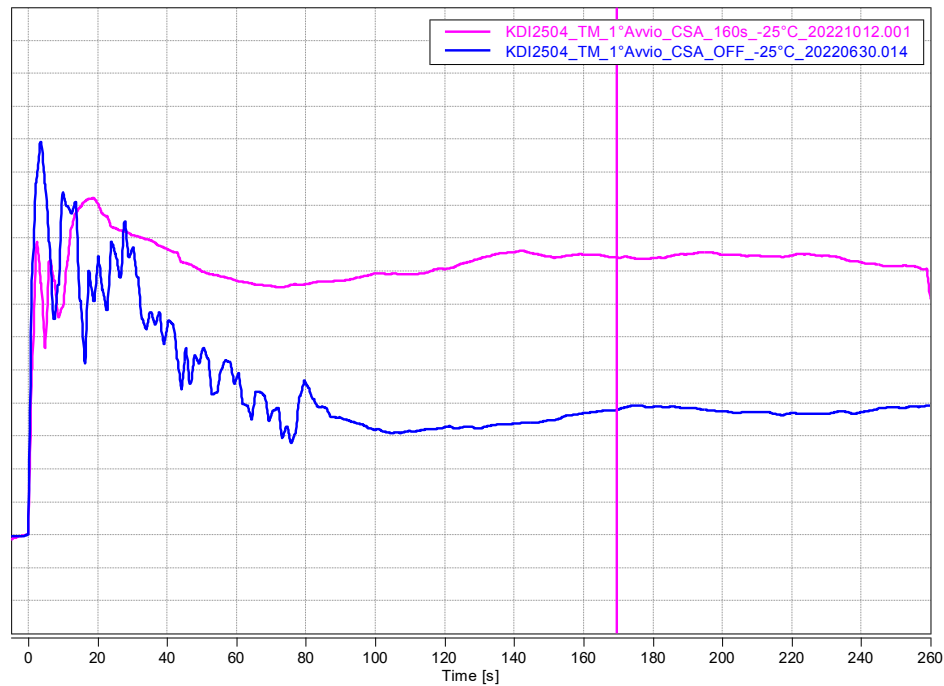


Figura 42: confronto NOx a -25°C con gasolio artico.

I NOx hanno un andamento opposto come ci si aspetta da una variazione di anticipo di iniezione.

Opacità k

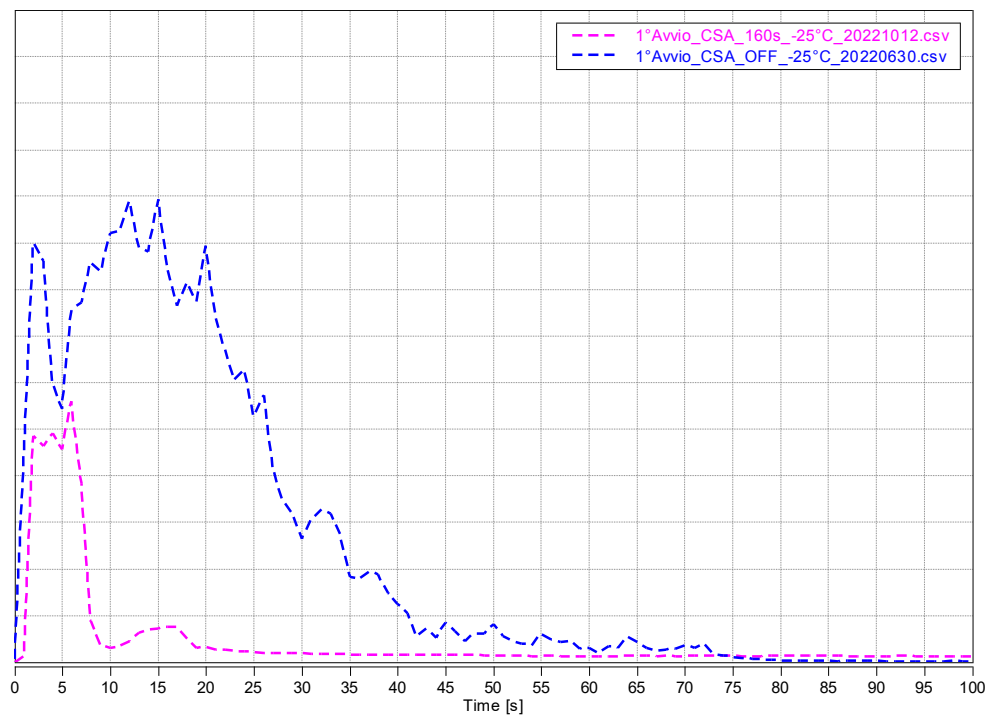


Figura 43: confronto opacità a -25°C con gasolio artico.

Per prova con CSA attivo si registra picco iniziale che decresce in pochi secondi in accordo con la specifica interna. L'opacità della prova senza CSA impiega 40 s per diminuire e circa 75 s per esaurirsi.

Delta gas di scarico

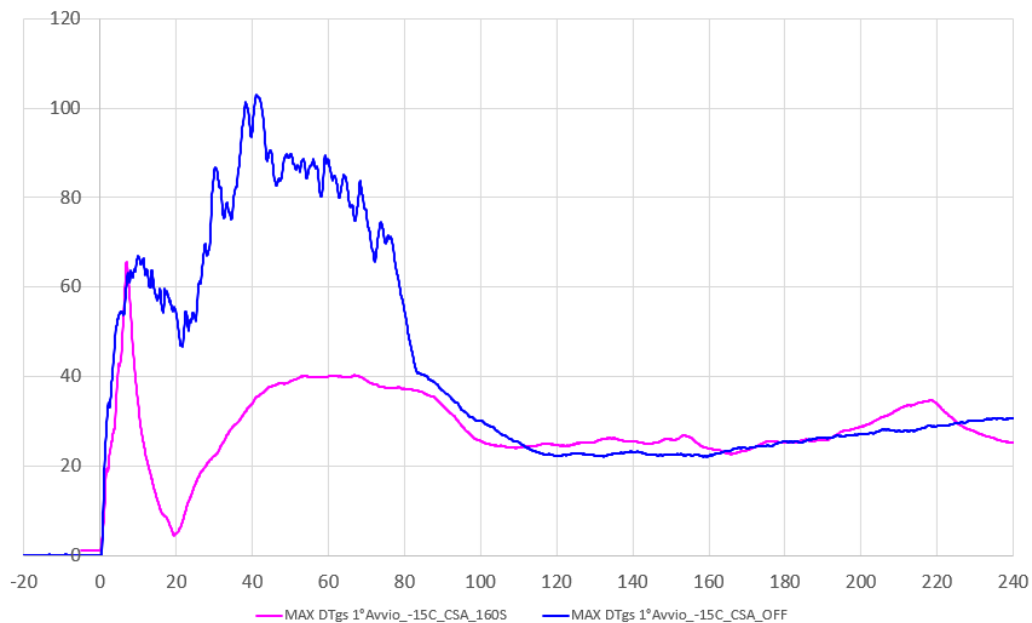


Figura 44: confronto DTGs a -25°C con gasolio artico.

I DTGs per la prova con CSA attivo hanno un picco iniziale allineato alla prova senza CSA, esso è legato all'accensione prima che si inserisca il CSA. Quando quest'ultimo si inserisce osserviamo una netta decrescita.

Considerazione prove

I THC sono molto più contenuti con CSA e la strategia CSA 160 s è efficace perché non abbiamo risalita alla disattivazione.

I NOx sono più contenuti per prova con CSA disattivo, peggioramento dei NO accettabile a fronte del grande miglioramento dei THC ricordando che i grafici hanno scale di grandezze con ordini diversi.

L'opacità si esaurisce in 10 s dopo l'avviamento nella prova con CSA attivo, nella prova senza CSA invece ci vogliono più di 75 s per raggiungere valore accettabile.

I DTGs sono migliori per CSA attivo ed evidenziano l'importanza di quest'ultimo durante l'avvio.

La strategia di attivazione del CSA per 160 s è valida per questa prova.

4.2.2 Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.

Temperatura cassone: -15°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Attivazione CSA: 2 prove -> attivo 160 s e disattivato

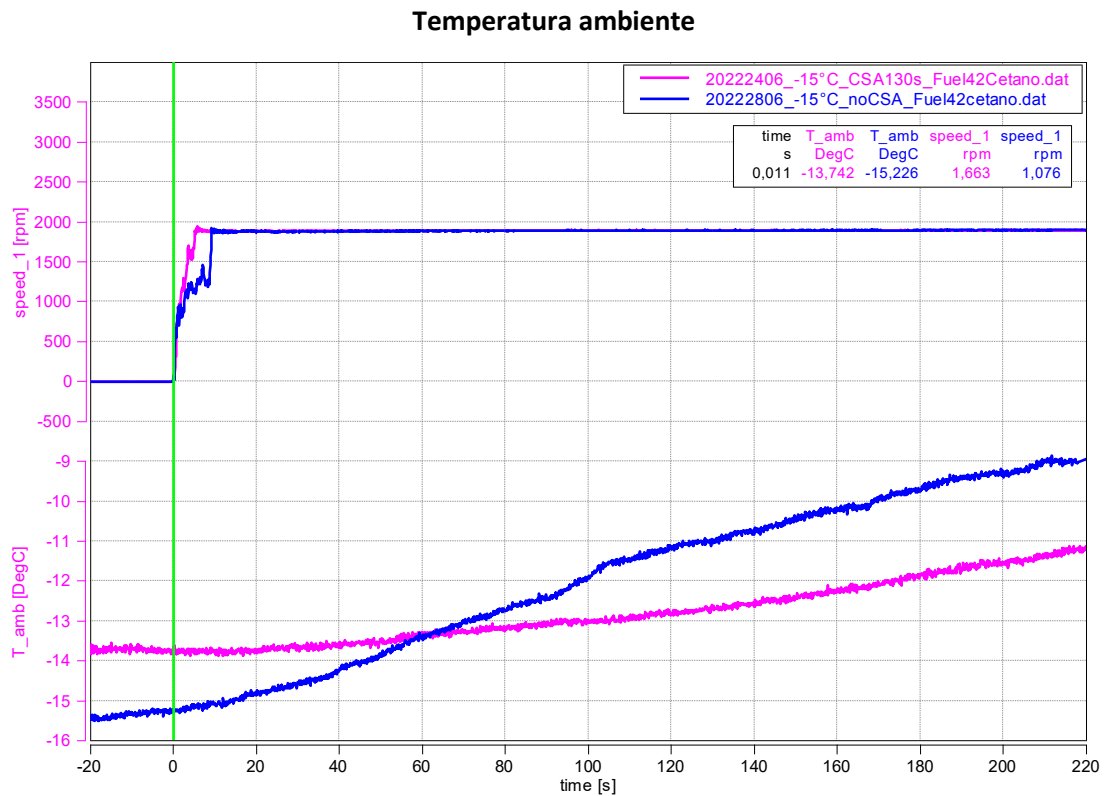


Figura 45: confronto 1°avvio T_{amb} a -15°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente effettiva della prova oscilla tra -14°C e -15°C a causa dei soliti limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i -15°C impostati nel cassone frigo.

Temperatura acqua e manifold

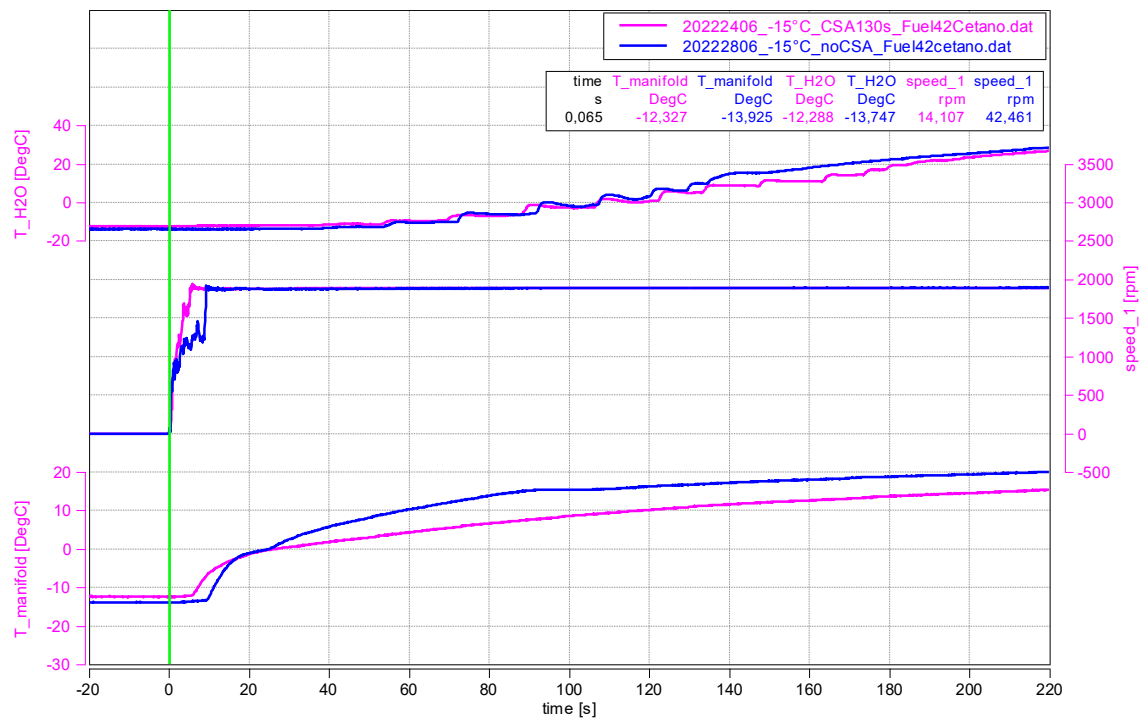


Figura 46: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ a -15°C con gasolio cetano 42.

Giri motore

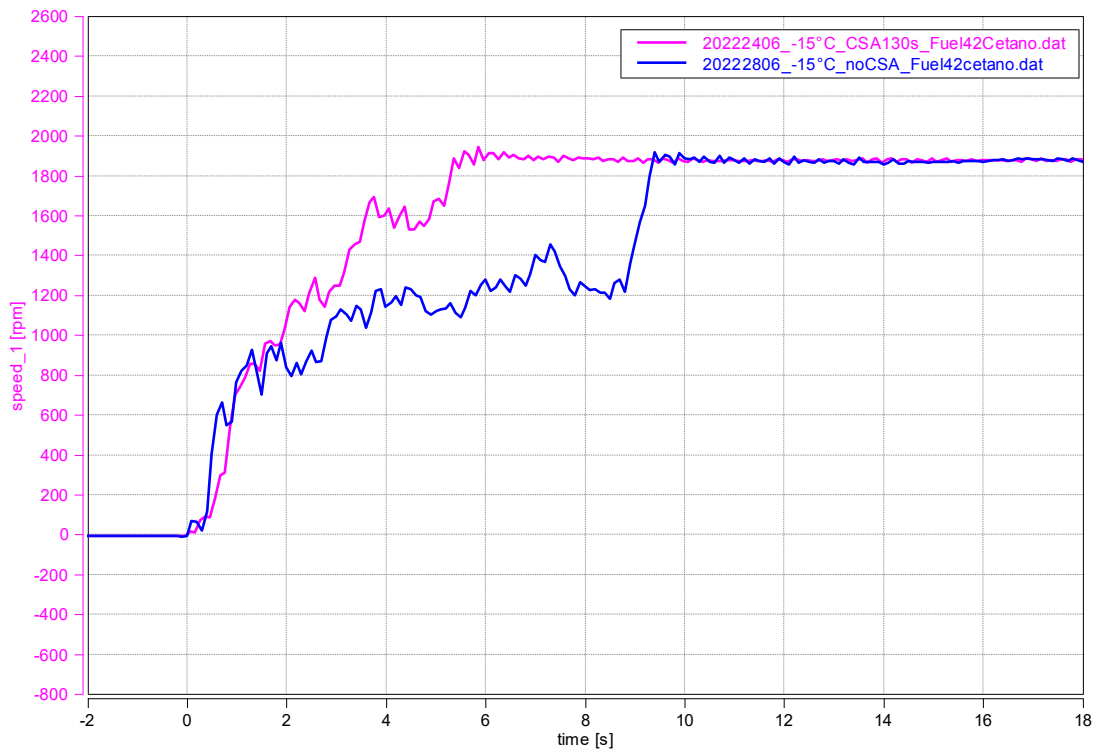


Figura 47: confronto giri motore a -15°C con gasolio cetano 42.

Per raggiungere la velocità di regime nella prova senza CSA si impiegano circa 10 s, mentre nella prova con CSA 130 circa 6 s.

THC

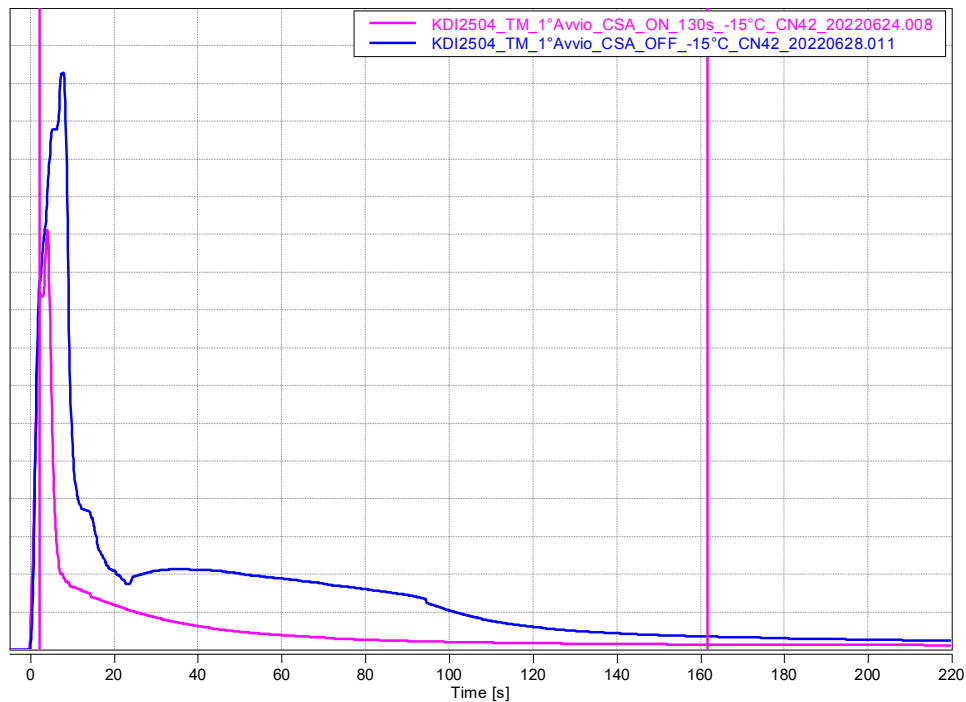


Figura 48: confronto THC a -15°C con gasolio cetano 42.

Osserviamo un netto miglioramento per la prova con il CSA rispetto a quella senza, l'andamento è più regolare e decresce in un tempo minore. Non si osserva una risalita dei THC dopo la disattivazione del CSA.

NOx

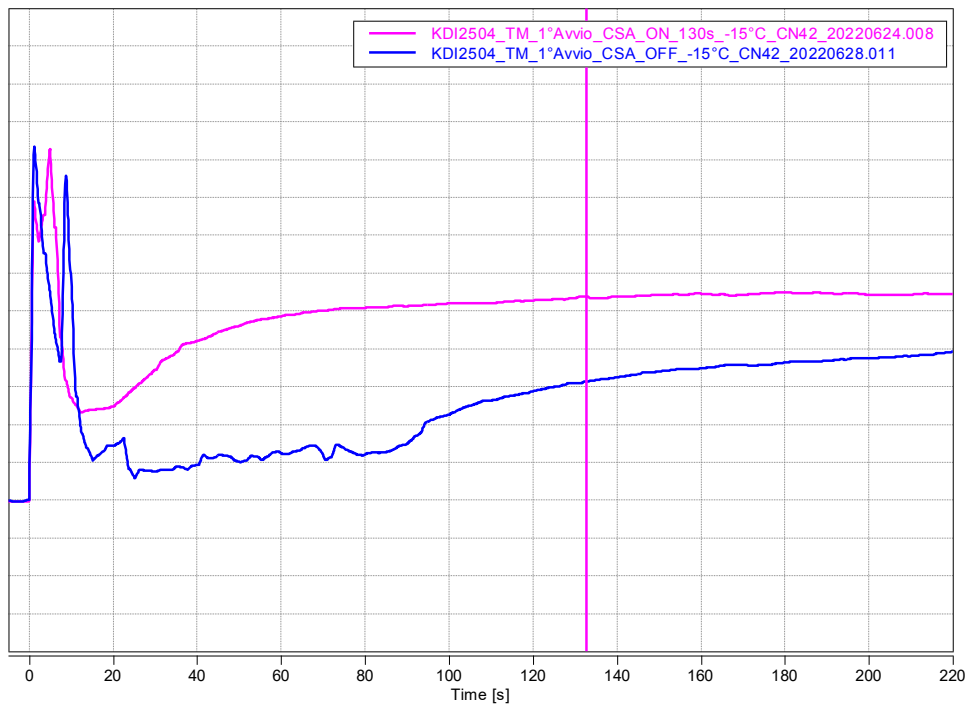


Figura 49: confronto NOx a -15°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano il solito andamento opposto rispetto ai THC

Opacità k

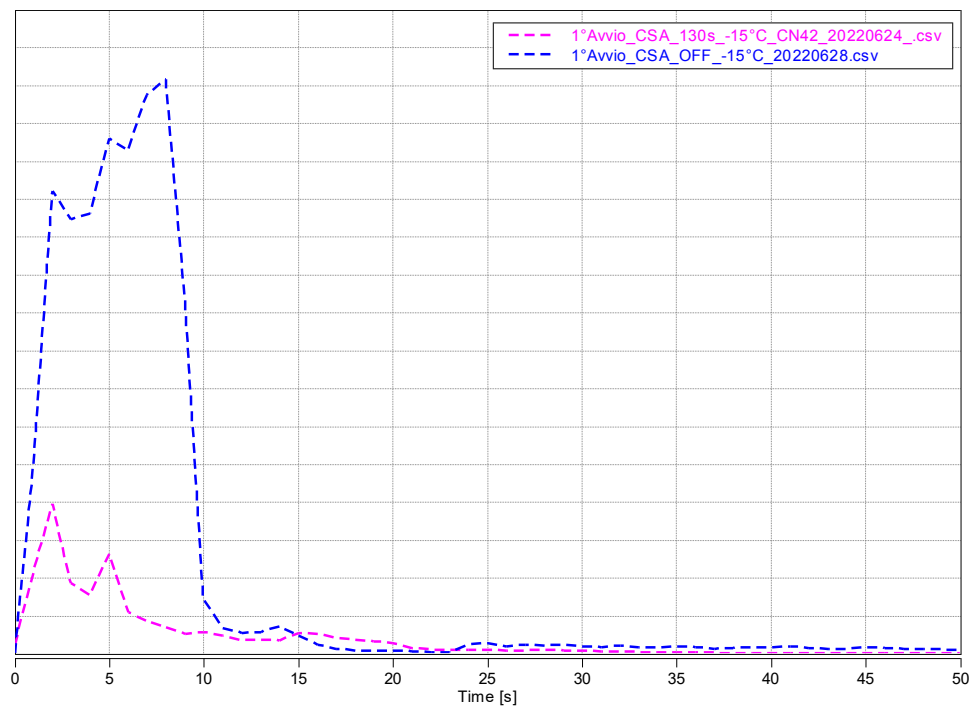


Figura 50: confronto opacità a -15°C con gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un andamento nettamente migliore per la prova con CSA nel picco iniziale. Esaurito quest'ultimo si osserva un andamento confrontabile per le due prove.

Delta gas di scarico

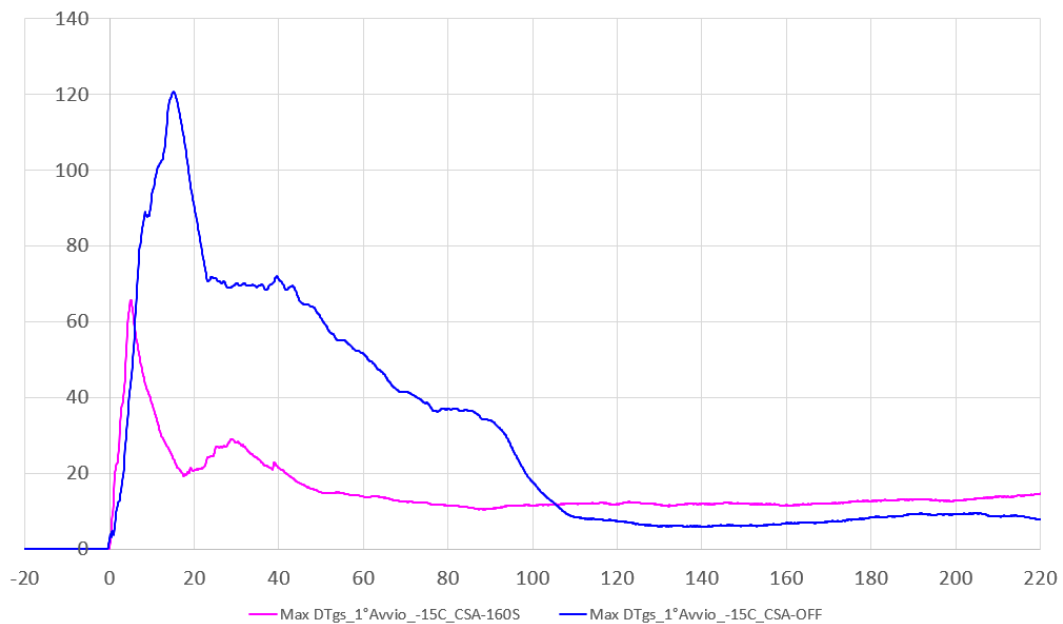


Figura 51: confronto DTgs a -15°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico è maggiore per la prova senza CSA rispetto alla prova con CSA. Con il CSA si raggiungono valori accettabili (<30°C) in breve tempo.

Considerazioni prove

I THC sono nettamente migliori per la prova con CSA, non c'è risalita dopo i 160 s di attivazione della strategia.

I NOx mostrano il solito lieve peggioramento con variazione di anticipo dovuta all'attivazione del CSA. Tale peggioramento è ancora una volta accettabile a fronte del grande miglioramento dei THC.

L'opacità mostra picco contenuto che si esaurisce in 6 s con il CSA rispetto ai 10 s della prova senza CSA.

I DTgs sono come i THC nettamente migliori per intensità e durata per la prova con CSA rispetto a quella senza.

Per la prova -15°C gasolio cetano 42 il CSA è necessario con ottimi risultati per la strategia di 160 s.

4.2.3 Avviamento a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42.

Temperatura cassone: +5°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Attivazione CSA: 1 prova -> attivo 120 s

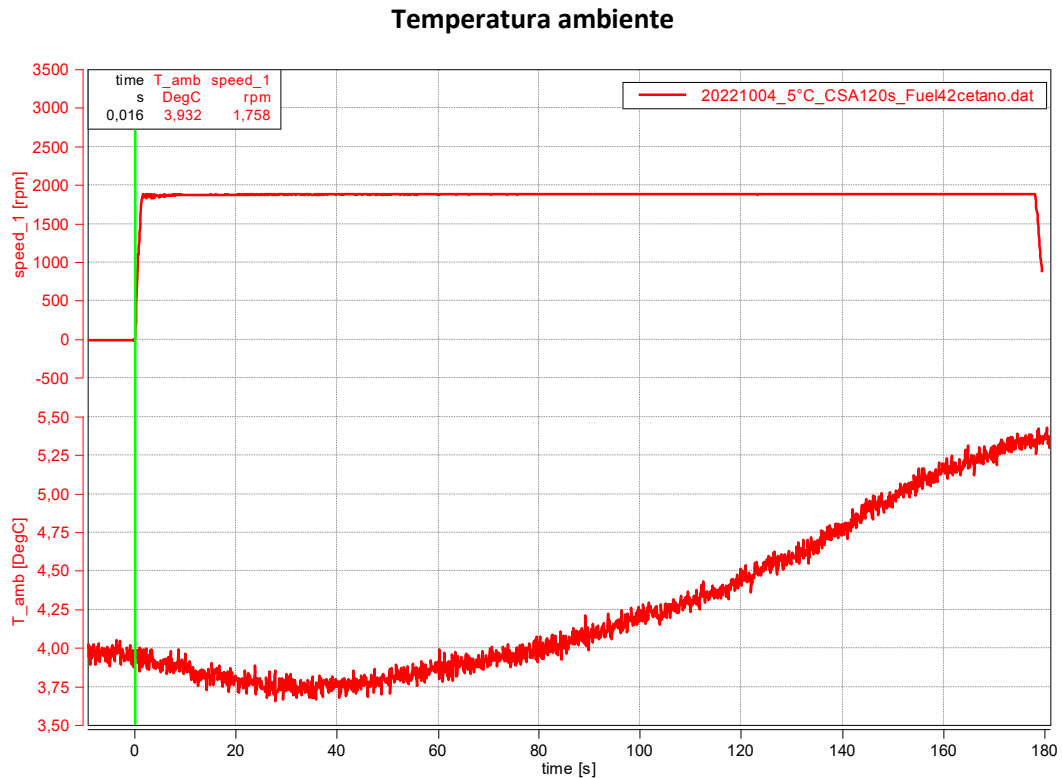


Figura 52: T_{amb} a +5°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente della prova non è effettivamente 5°C ma 4°C, condizione leggermente peggiorativa che rafforza la bontà della prova.

Temperatura acqua e manifold

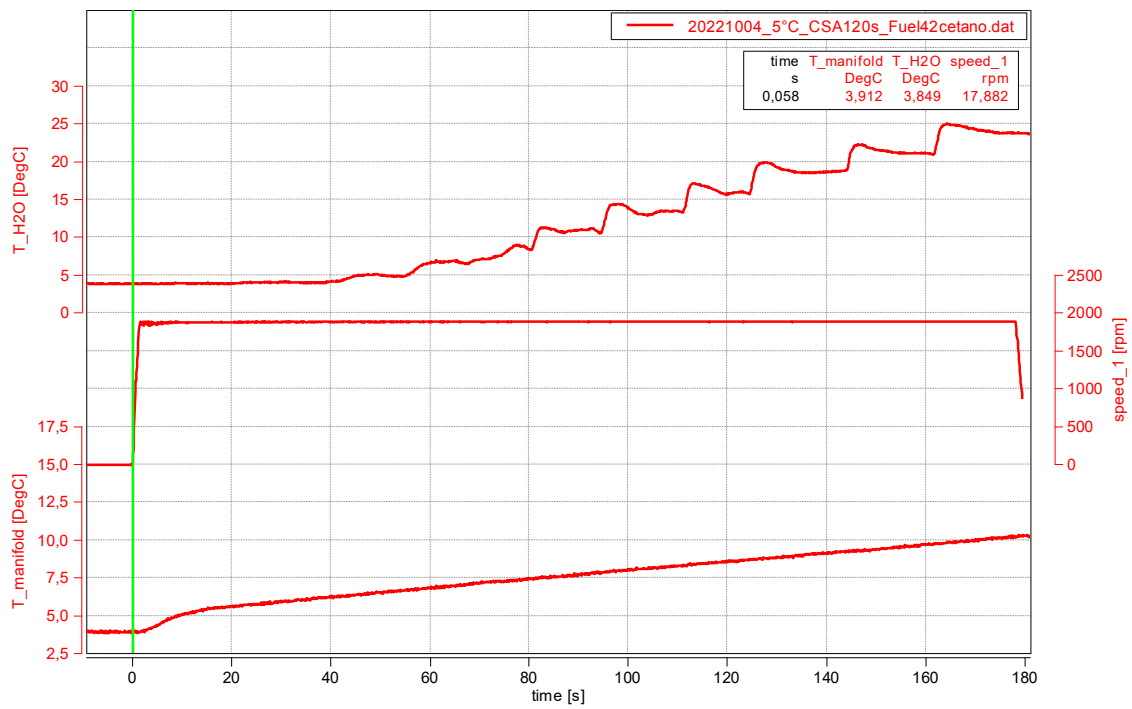


Figura 53: T_{H_2O} e $T_{manifold}$ a $+5^{\circ}\text{C}$ con gasolio cetano 42.

Giri motore

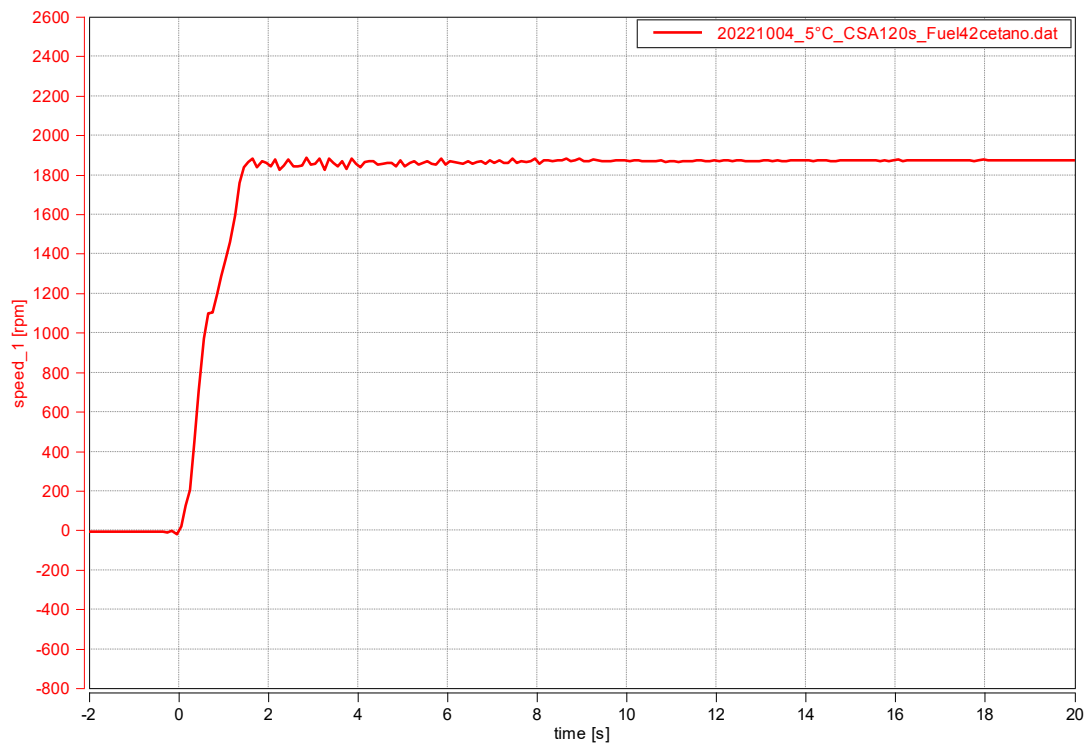


Figura 54: giri motore a $+5^{\circ}\text{C}$ con gasolio cetano 42.

Il motore impiega meno di 2 s per avviarsi.

THC

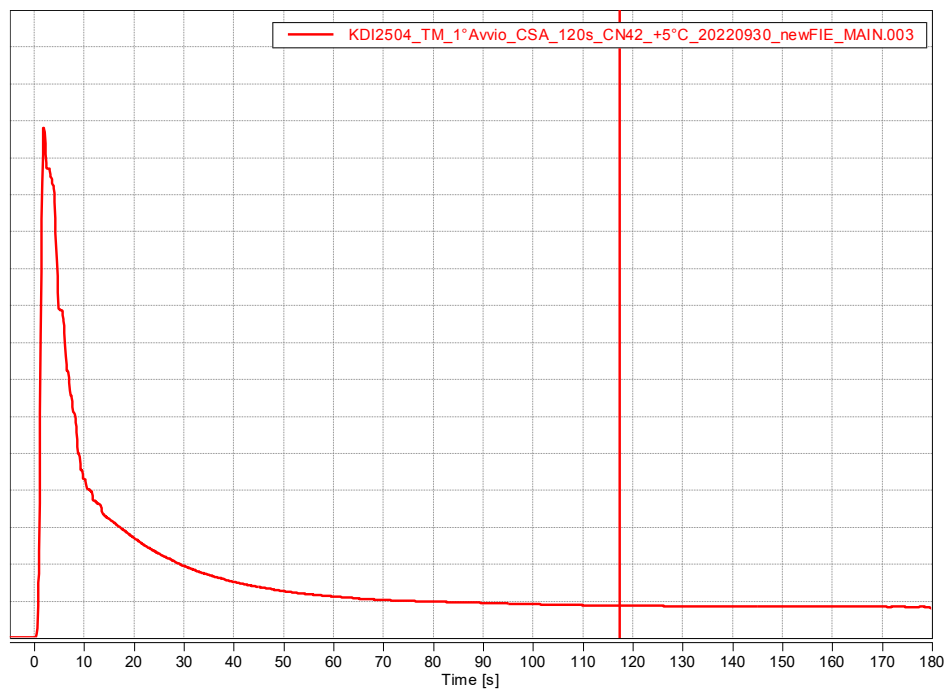


Figura 55: THC a +5°C con gasolio cetano 42.

Osserviamo un picco smorzato e un andamento discendente dovuto all'attivazione del CSA. Non si osserva risalita dei THC alla disattivazione del CSA.

NOx

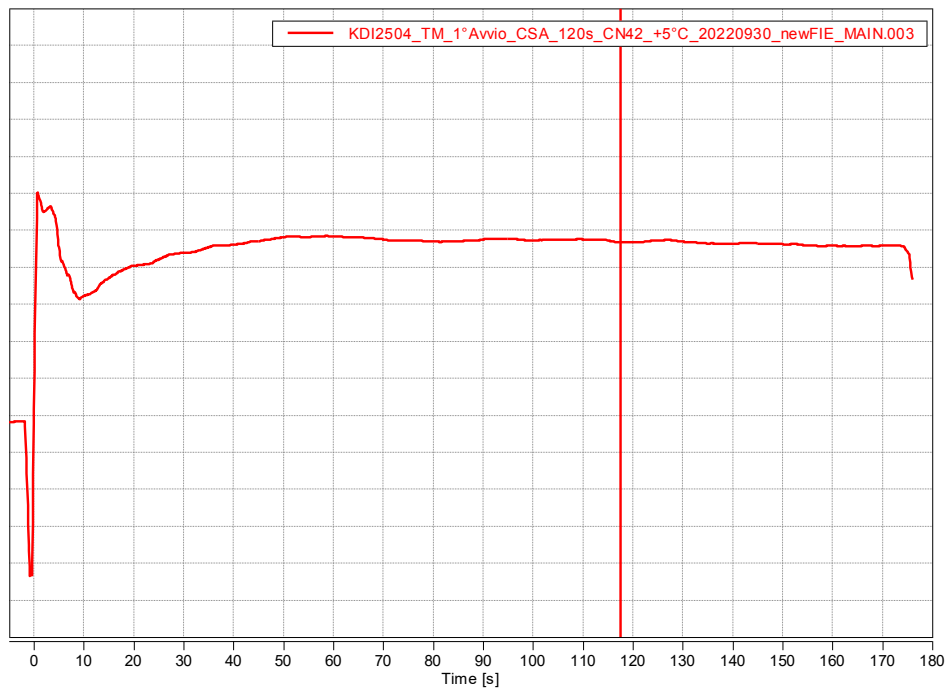


Figura 56: NOx a +5°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano un andamento costante tendendo asintoticamente ad un valore.

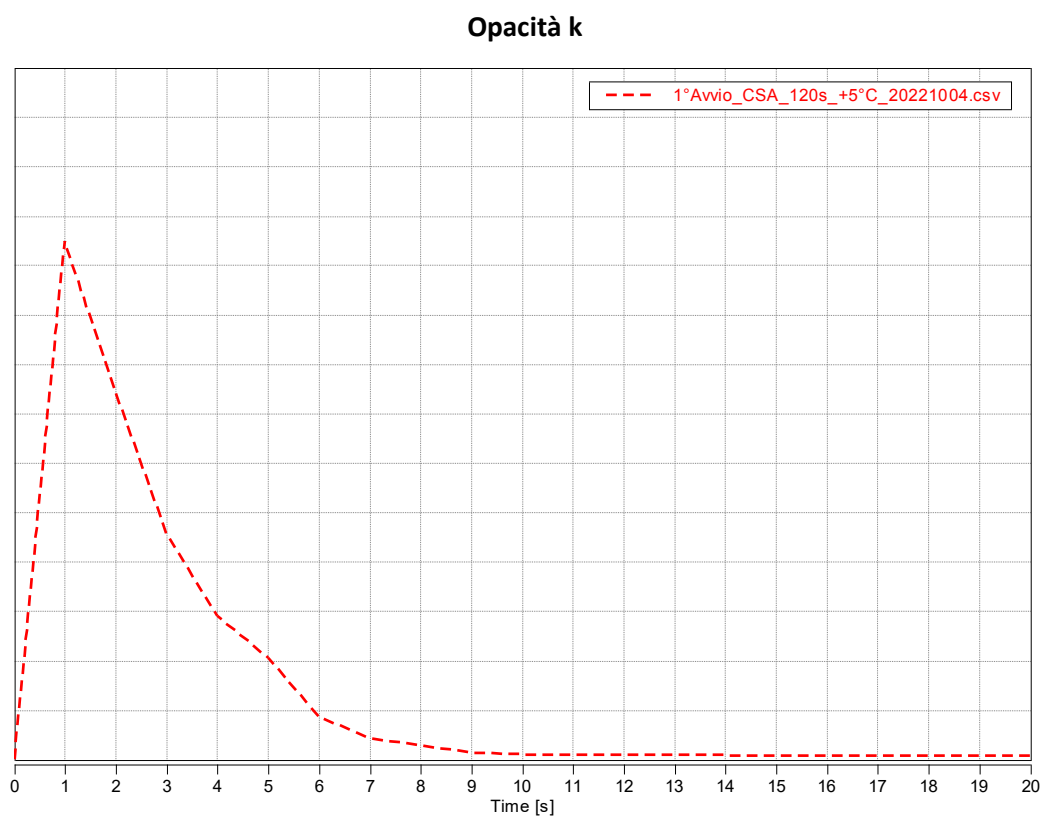


Figura 57: opacità a +5°C con gasolio cetano 42.

L'opacità si esaurisce in 2-3 s.

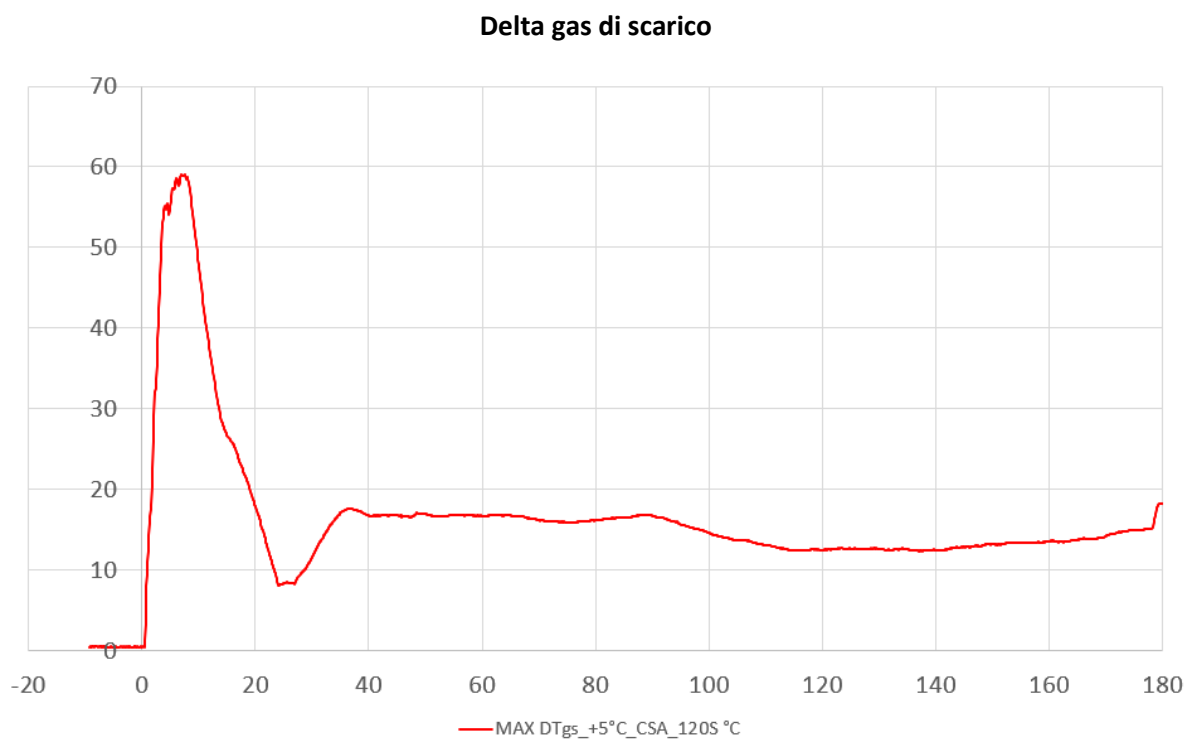


Figura 58: DTgs a +5°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico esaurito il picco iniziale si assesta su valori contenuti sotto i 20°C.

Considerazioni prove

I THC sono contenuti ed esauriscono il picco iniziale in un breve tempo.

L'andamento dei NOx è stabile.

L'opacità si esaurisce dopo picco iniziale in pochi secondi.

I DTgs sono contenuti e stabili dopo il breve picco iniziale in linea con i THC.

Per la prova +5°C gasolio cetano 42 il CSA 120 s è una strategia valida.

4.2.4 Avviamento a +25°C senza Grid Heater e cetano 42

Temperatura cassone: +25°C

Gasolio: cetano42

Grid Heater: disattivato

Attivazione CSA: 1 prova -> [disattivato](#)

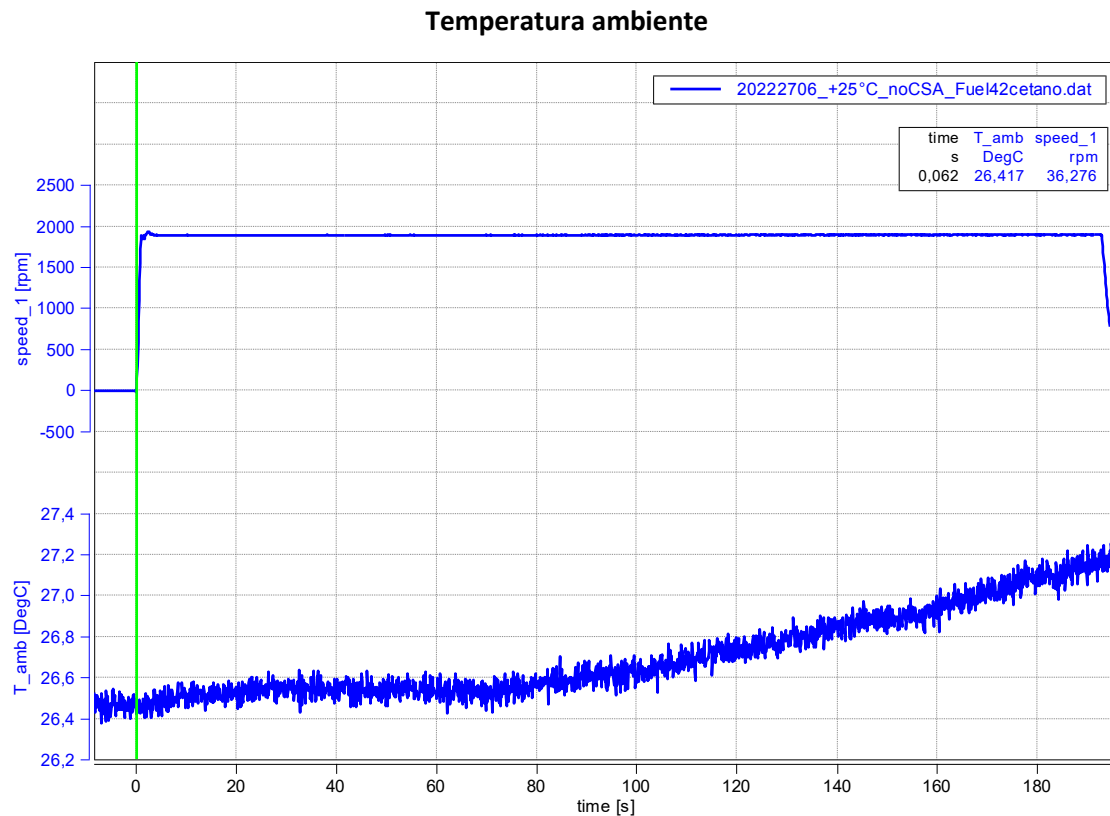


Figura 59: T_{amb} a +25°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente della prova effettiva è poco più di 25°C, circa 26,5°C. Il cassone frigo ha un range tra -25°C e +5°C per cui si è cercato di ottenere i 20°C raffreddando a +5°C e poi facendo riscaldare l'ambiente con la temperatura esterna.

A causa dei limiti tecnici e delle alte temperature esterne non si è riusciti a riproporre la prova a +20°C fatta con il motore KDI 1903 M, ma i risultati di questa prova sono stati ritenuti comunque accettabili.

Temperatura acqua e manifold

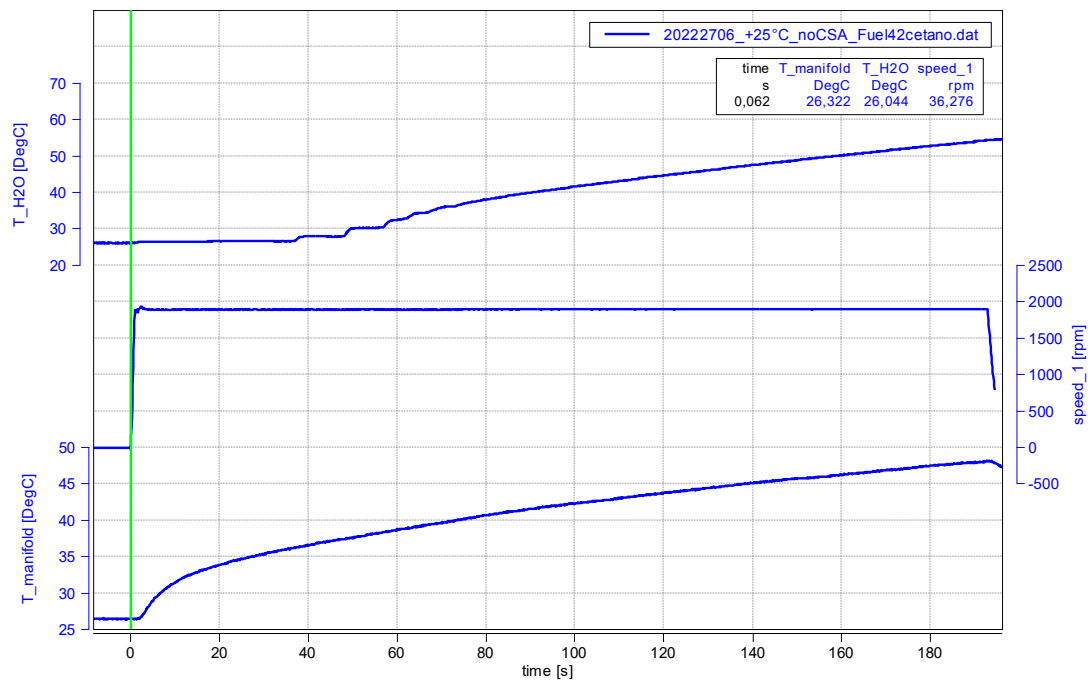


Figura 60 T_H2O e T_manifold a +25°C con gasolio cetano 42.

Qui sono riportate le temperature effettive dell'acqua e del manifold misurate all'avviamento del motore, a causa delle modalità con cui si è raggiunto il target di temperatura risultano essere leggermente superiori ai 25°C e alla temperatura ambiente di inizio prova.

Giri motore

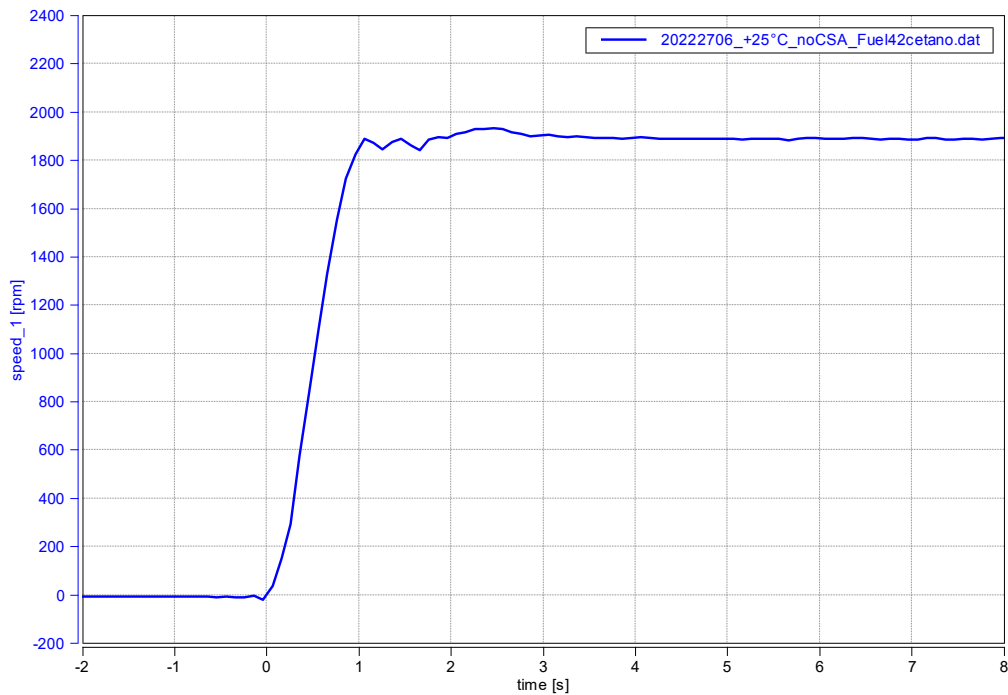


Figura 61: giri motore a +25°C con gasolio cetano 42.

Il motore impiega meno di 2 s per raggiungere il regime.

THC

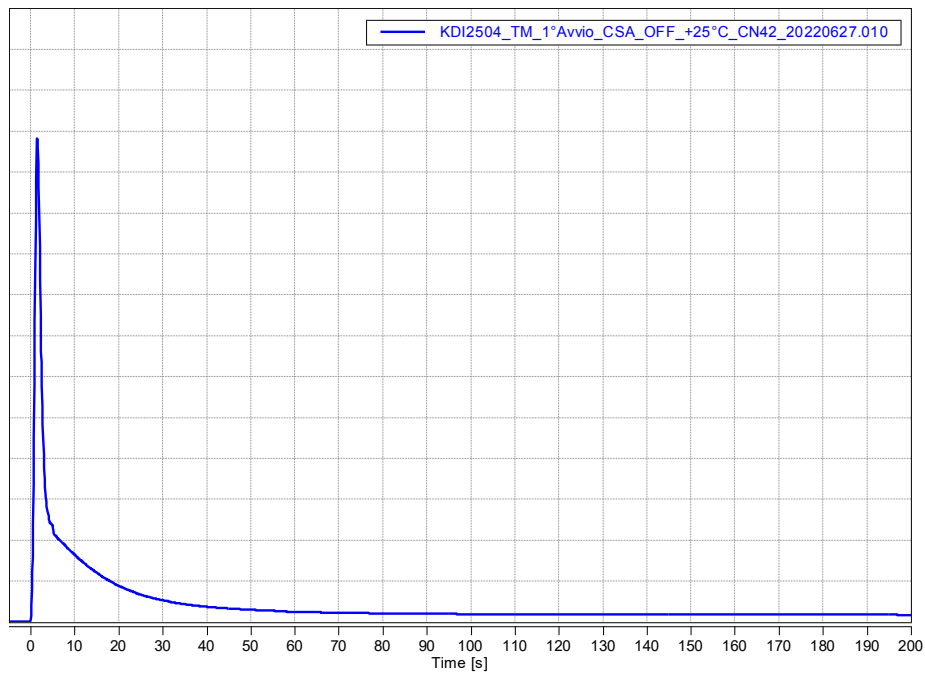


Figura 62: THC a +25°C con gasolio cetano 42.

I THC hanno un picco iniziale che comincia a decrescere rapidamente prima dei 10 s.

NOx

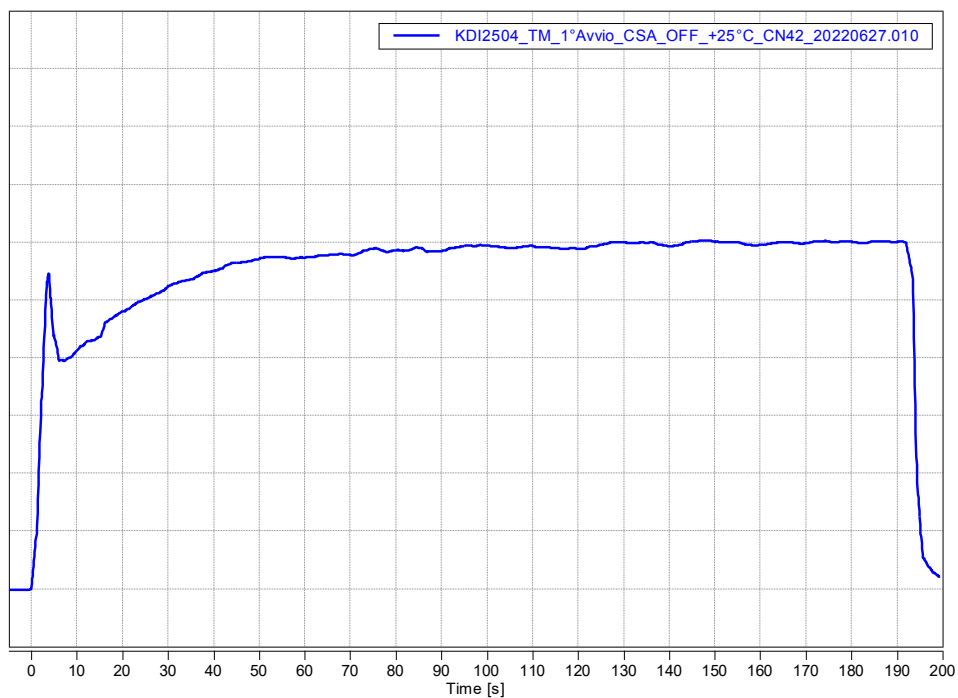


Figura 63: NOx a +25°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano un andamento opposto rispetto ai THC con valori comunque contenuti. L'andamento e i valori dei NOx sono simili a quelli della prova con gasolio cetano 42 a +5 °C a dimostrazione del fatto che il CSA non è necessario a questa temperatura.

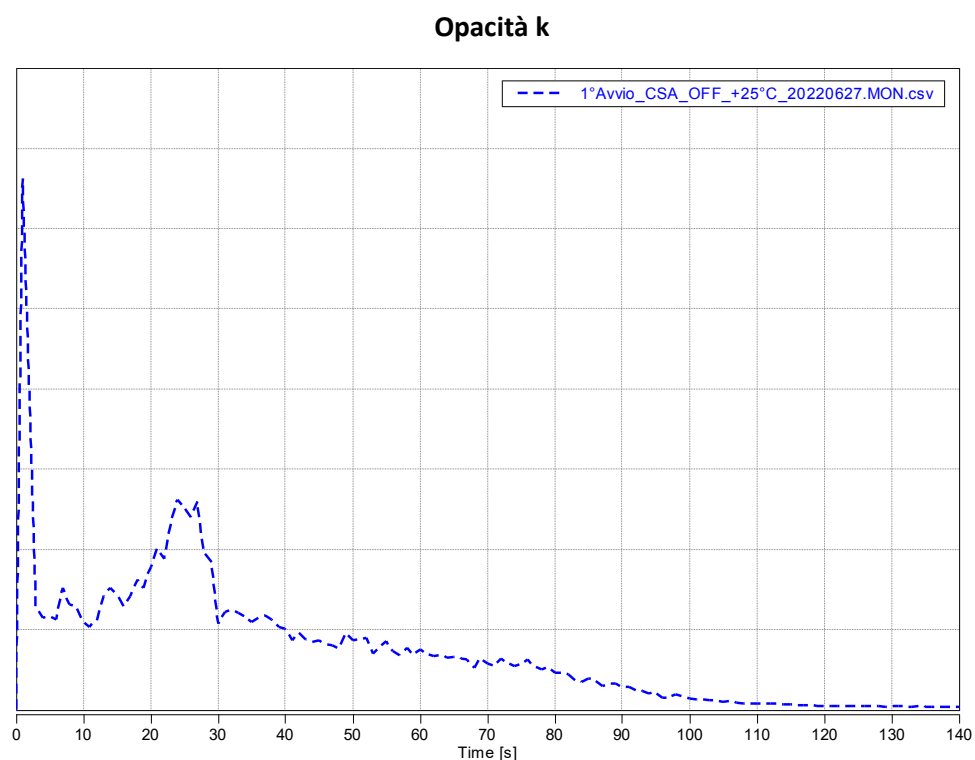


Figura 64: opacità a +25°C con gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un picco iniziale seguito da un secondo picco più contenuto che fa esaurire l'opacità gradualmente. Il secondo picco risulta essere anomalo rispetto agli altri dati e può essere giustificato con un errore di misura dell'opacimetro.

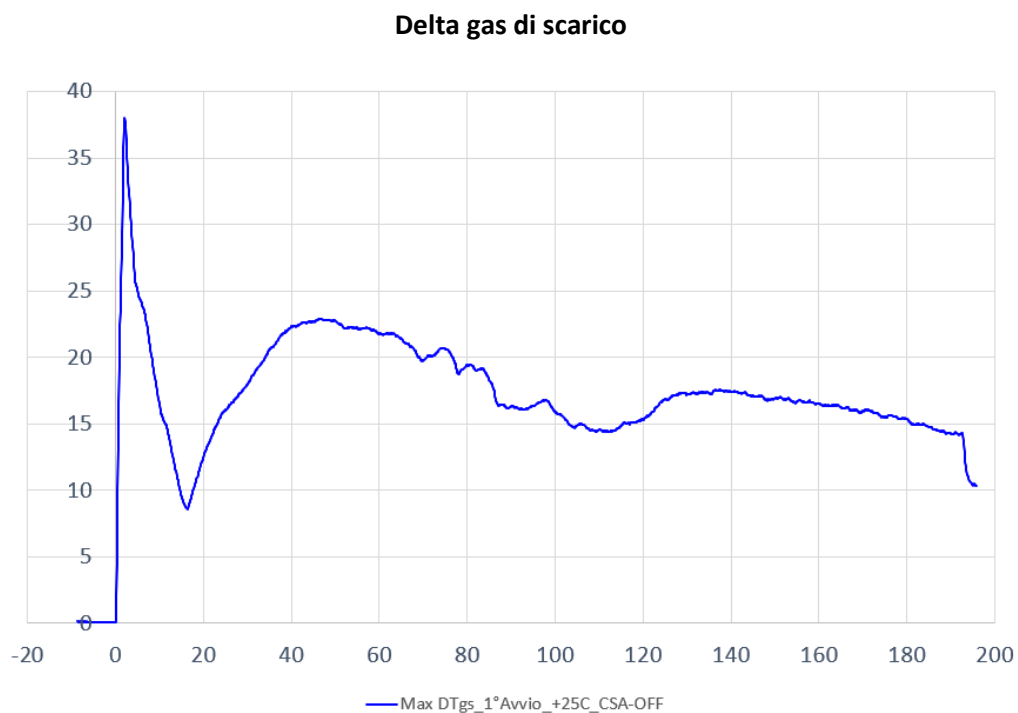


Figura 65: DTgs a +25°C con gasolio cetano 42.

Il DTgs è contenuto e si assesta sotto i 25°C, escludendo il breve picco iniziale.

Considerazioni prova

I THC scendono rapidamente dopo il picco iniziale.

I NOx sono molto contenuti all'avvio, tendono ad un valore asintotico al raggiungimento del regime di funzionamento del motore.

L'opacità presenta un picco iniziale con successiva risalita che si giustifica con un errore di lettura dell'opacimetro.

I DTgs sono contenuti (<25°C).

Per la prova +25°C gasolio cetano 42 si conferma come non sia necessario un timing di CSA.

4.3 Conclusioni prove motore KDI 2504 TM

Con queste prove si è verificata la strategia di CSA ottenuta per il motore KDI 1903 M.

Il motore KDI 2504 TM ha infatti confermato i punti più critici della nuova strategia di attivazione del CSA.

5 KDI 2504 M

5.1 Scopo delle prove

Lo scopo di queste prove è sempre quello di confermare la nuova strategia di attivazione del CSA per il motore KDI 2504 M, ottenuta sul motore KDI 1903 M.

Per alcune di queste prove si sono utilizzate due diverse pompe di iniezione per verificare che non ci fosse influenza della variabilità tra componenti sulla nuova strategia ottenuta.

5.2 Elenco prove

Di seguito sono riportate le prove di verifica per la nuova strategia che verranno analizzate nel dettaglio successivamente. Si pone sempre all'attenzione il fatto che i cursori presenti nei grafici di THC e NOx indicano l'istante in cui si disattiva il CSA.

Come detto precedentemente alcune di queste prove sono state eseguite cambiando la pompa di iniezione come riportato nell'elenco.

Le prove sono state eseguite azionando il motore a vuoto con taratura 29,5 kW @1800 rpm.

- **Avviamento a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico**
- **Avviamenti a -15°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42 (due pompe utilizzate)**
- **Avviamenti a +5°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42 (due pompe utilizzate)**
- **Avviamento a +20°C senza Grid Heater e gasolio Cetano 42**

5.2.1 Avviamento a -25°C con Grid Heater e gasolio Artico.

Temperatura cassone: -25°C

Gasolio: artico

Grid Heater: attivato

Componente: pompa A

Attivazione CSA: 1 prova -> attivo 160 s

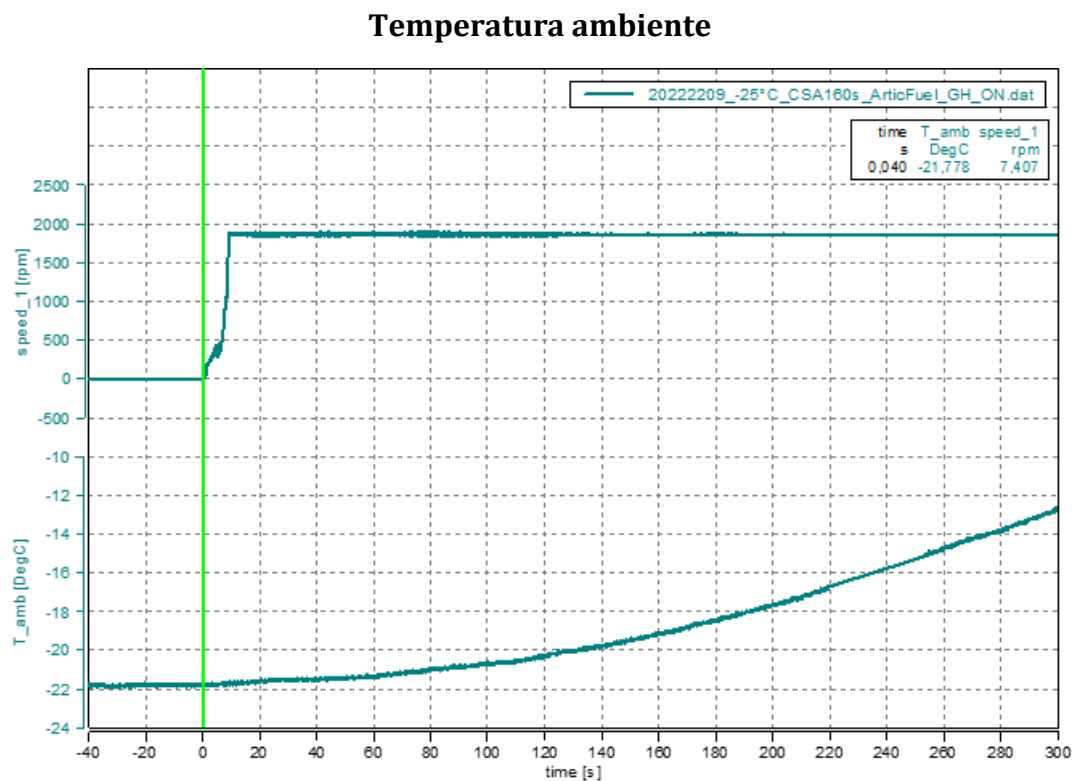


Figura 66: T_{amb} a -25°C con gasolio artico.

La temperatura ambiente della prova non è effettivamente -25°C ma -22°C a causa di limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i -25°C impostati nel cassone frigo.

Temperatura acqua e manifold

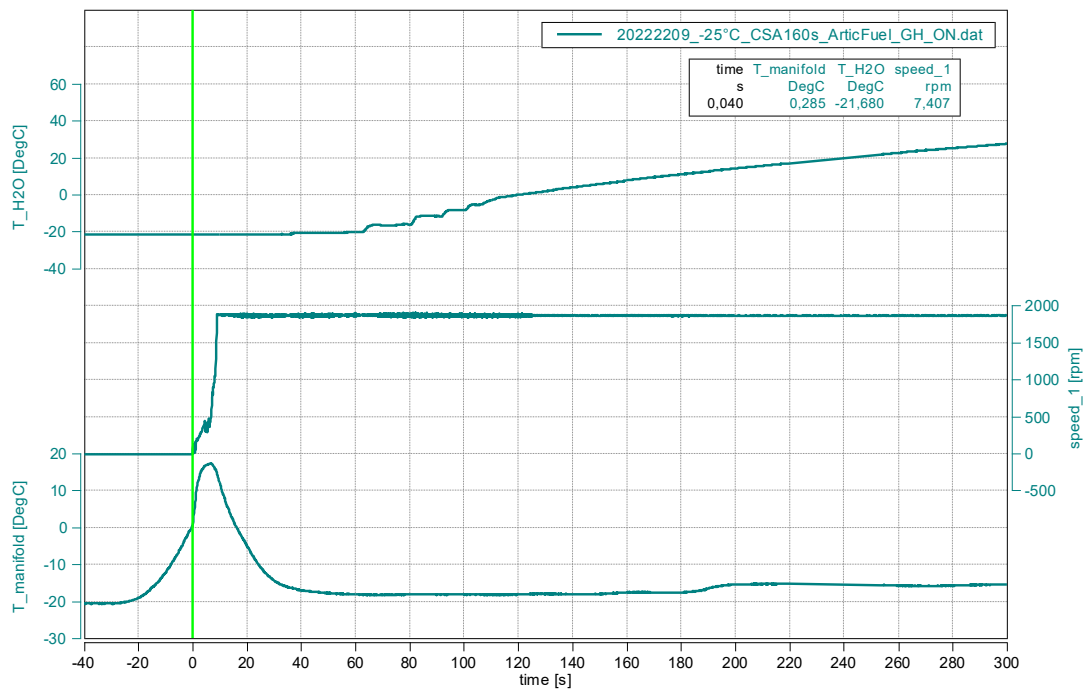


Figura 67: T_{H_2O} e $T_{manifold}$ a -25°C con gasolio artico.

Qui sono riportate le temperature effettive dell'acqua e del manifold misurate all'avviamento del motore. Si osserva l'effetto del Grid Heater nel riscaldamento della $T_{manifold}$ prima nelle fasi precedenti l'avviamento.

Giri motore

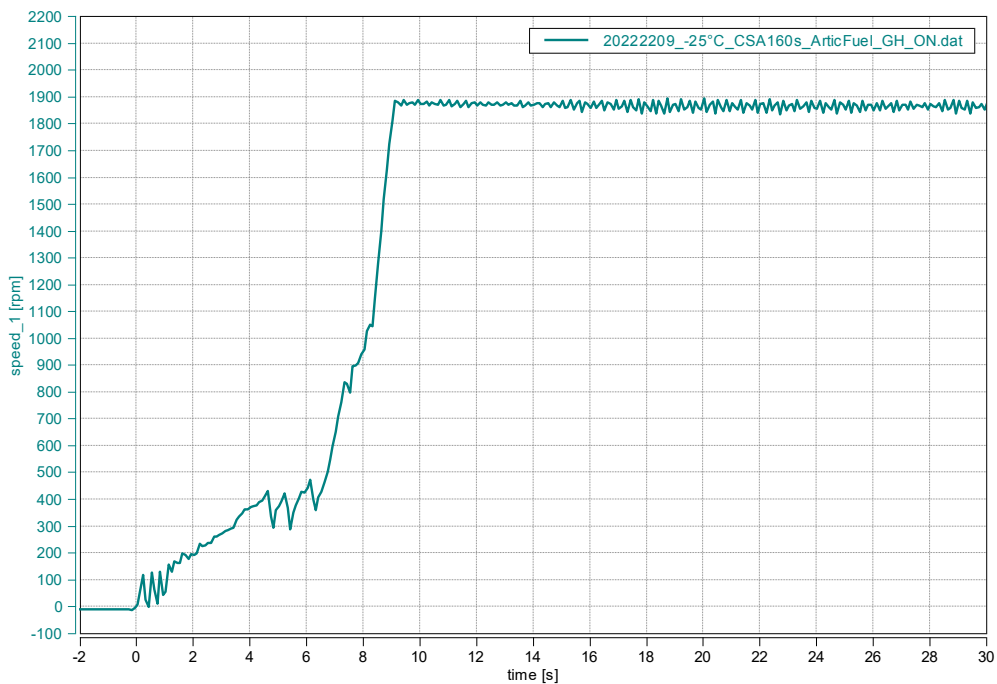


Figura 68: giri motore a -25°C con gasolio artico.

Il motore impiega meno di 10 s per raggiungere il regime.

THC

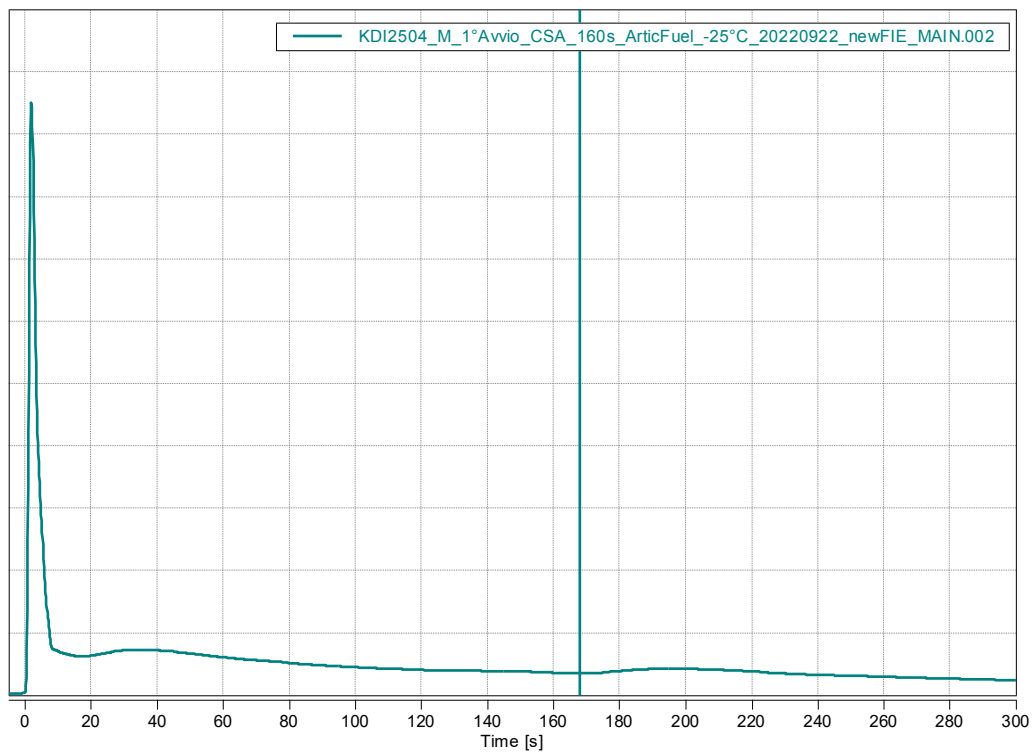


Figura 69: THC a -25°C con gasolio artico.

THC diminuiscono rapidamente dopo il picco iniziale

NOx

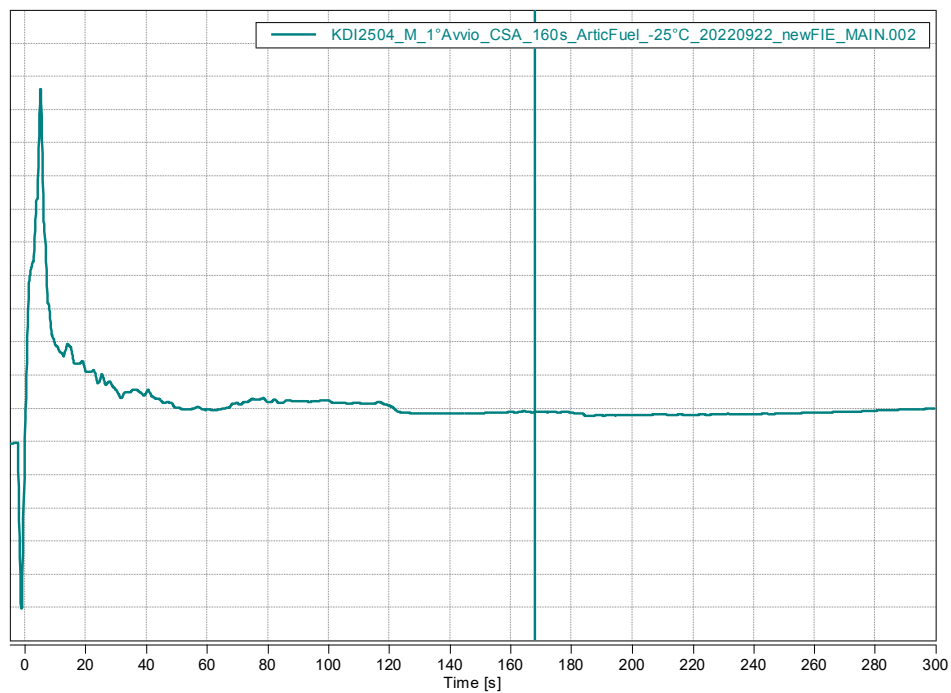


Figura 70: NOx a -25°C con gasolio artico.

I NOx crollano rapidamente dopo l'avvio e mantengono un valore costante.

Opacità k

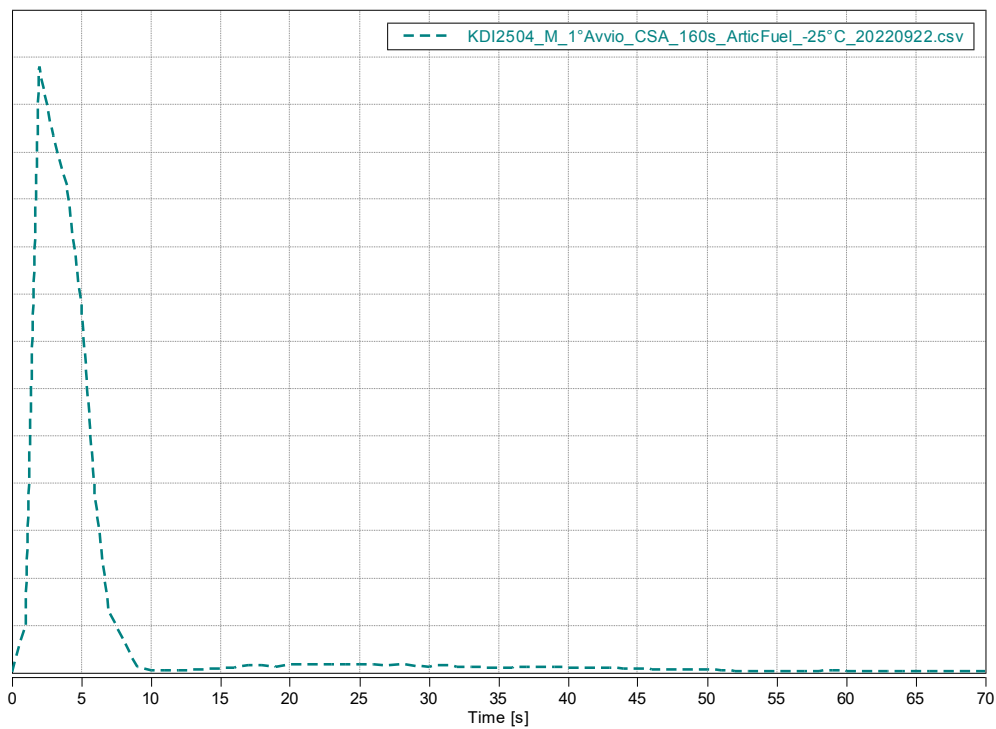


Figura 71: opacità a -25°C con gasolio artico.

L'opacità mostra un picco iniziale seguito da una lieve risalita che non supera però il valore di misfiring dato dalla specifica interna.

Delta gas di scarico

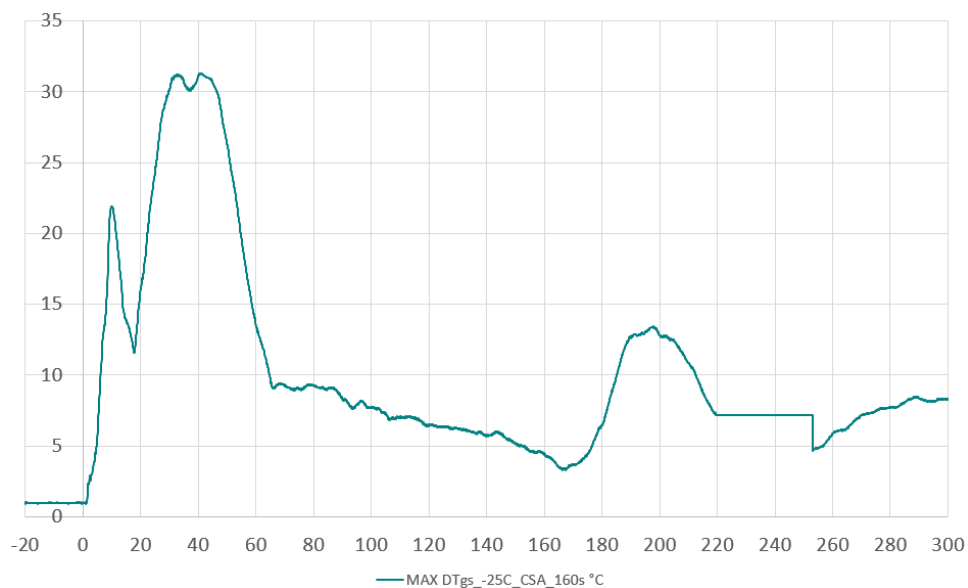


Figura 72: DTgs a -25°C con gasolio artico.

Il DTgs è contenuto dopo picco iniziale con una leggera risalita dopo la disattivazione del CSA, il valore rilevato rimane comunque < 15°C il che lo rende del tutto accettabile.

Piccola perdita di dati tra 220 s e 250 s non rilevante per l'analisi della strategia del CSA.

2.1.2 Considerazioni prova

I THC sono molto contenuti dopo il picco all'avviamento, CSA 160 s è una strategia valida.

I NOx crollano velocemente e si allineano ad un valore costante.

L'opacità presenta una risalita dopo che il picco iniziale si è esaurito, tale risalita è accettabile perché non supera l'opacità limite imposta da specifica interna.

Il DTgs è anch'esso contenuto e in leggero aumento dopo disattivazione del CSA ma con valori del tutto accettabili.

Strategia CSA 160 s accettabile per avviamento a -25°C con gasolio artico e pompa A.

5.2.2 Avviamento a -15°C senza Grid Heater e gasolio cetano 42

Temperatura cassone: -15°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Componenti: pompa A e pompa B

Attivazione CSA: 2 prove -> attivo 160 s

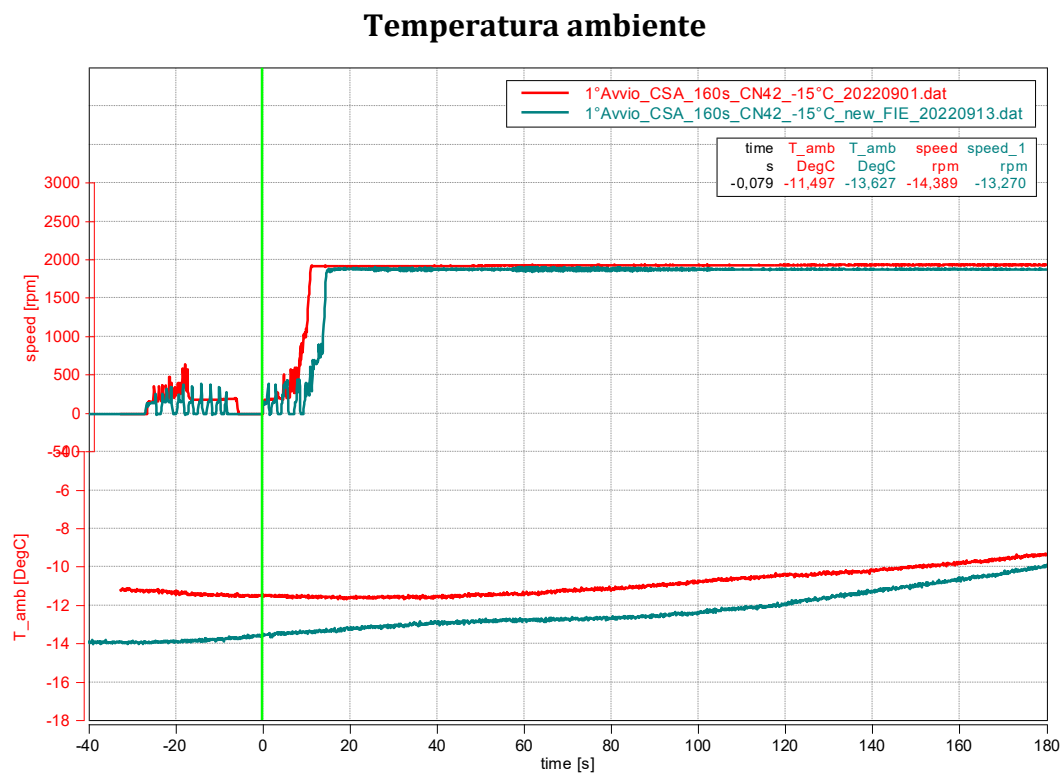


Figura 73: confronto T_{amb} a -15°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente della prova non è effettivamente -15°C ma oscilliamo tra -14°C e -11°C a causa di limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i -25°C impostati nel cassone frigo.

Temperatura acqua e manifold

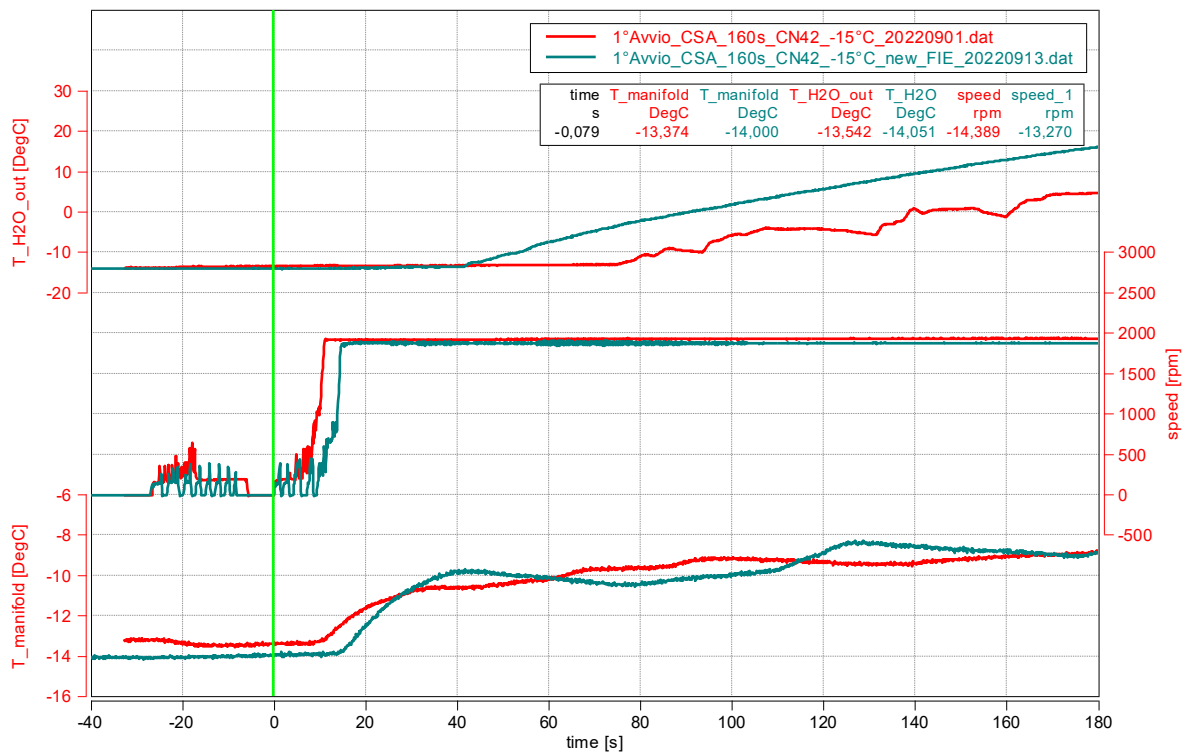


Figura 74: confronto T_{H_2O} e $T_{manifold}$ a -15°C con gasolio cetano 42.

Giri motore

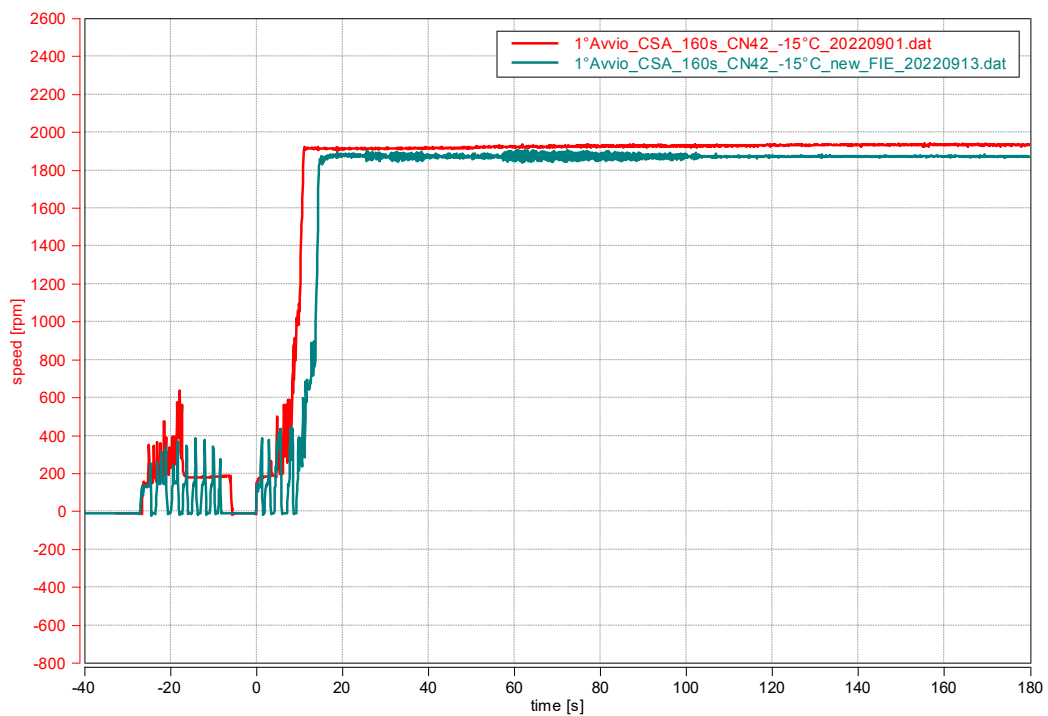


Figura 75: confronto giri motore a -15°C con gasolio cetano 42.

Il motore ha mancato l'avviamento al primo tentativo in entrambe le prove. Al secondo tentativo il motore si è avviato rapidamente per entrambe le prove.

THC

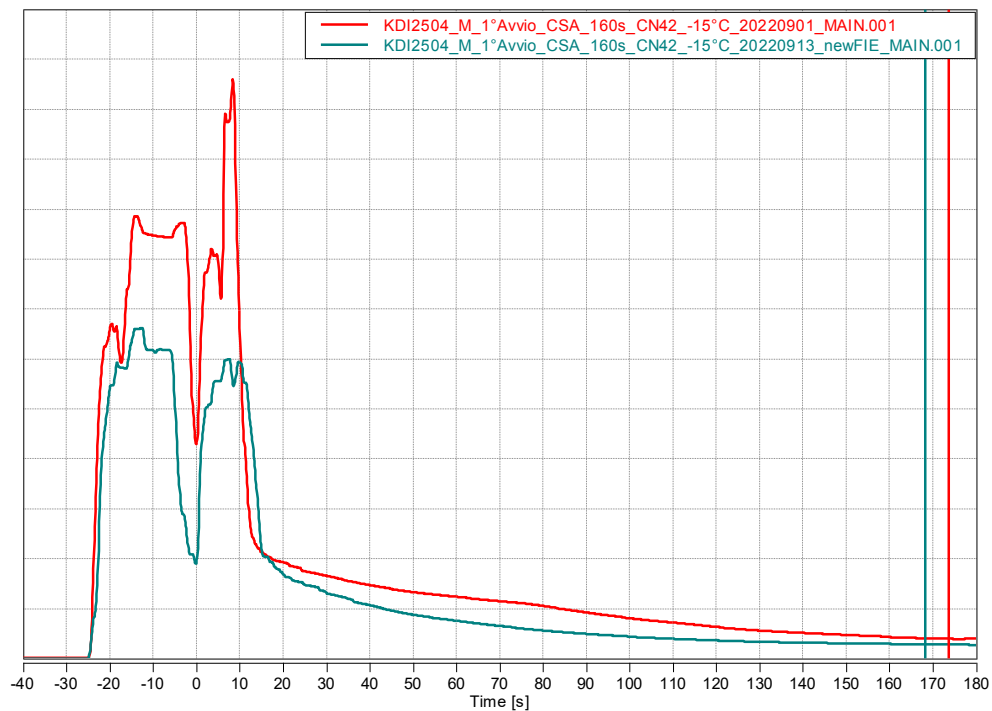


Figura 76: confronto THC a -15°C con gasolio cetano 42.

Osserviamo successivamente al doppio picco iniziale (dovuto ad una doppia accensione) una discesa rapida dei THC in entrambe le prove.

NOx

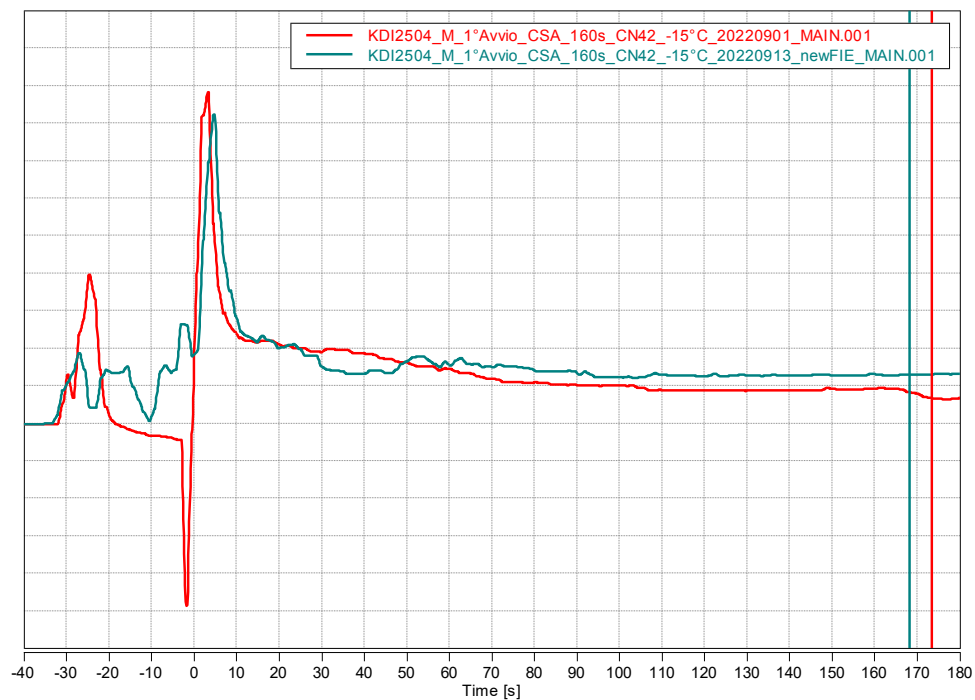


Figura 77: confronto NOx a -15°C con gasolio cetano 42.

I NOx hanno andamento simile e tendono a stabilizzarsi ad un valore costante.

Opacità k

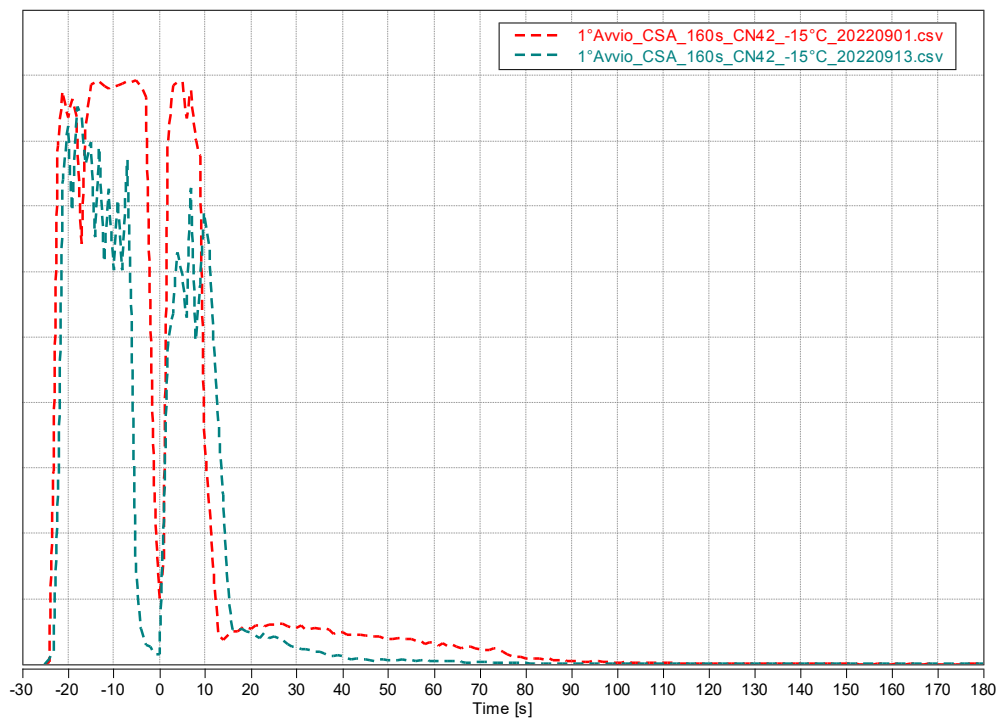


Figura 78: confronto opacità a -15°C con gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un doppio picco iniziale a seguito dei due avvii, con una decrescita molto simile anche dopo i due picchi iniziali

Delta gas di scarico

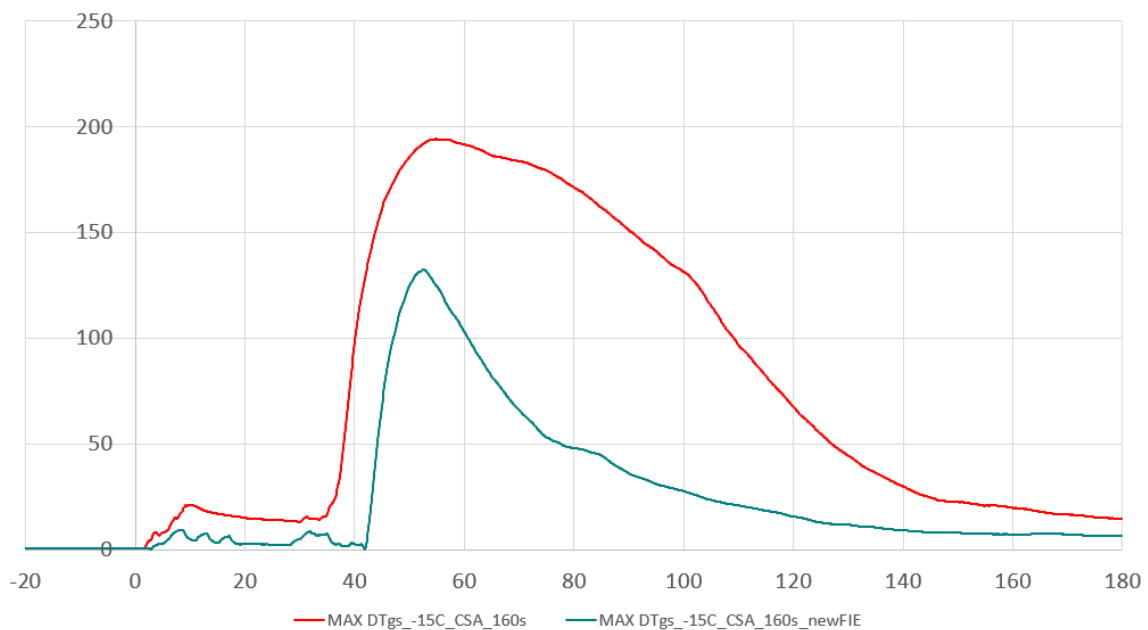


Figura 79: confronto DTgs a -15°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico è maggiore per le prove con la pompa B, ma in entrambe le prove si stabilizza prima della disattivazione del CSA raggiungendo valori contenuti e stabili.

Considerazioni prove

I THC decrescono rapidamente e non aumentano più dopo la disattivazione del CSA.

I NOx decrescono rapidamente e si stabilizzano su un valore costante.

L'opacità crolla dopo i due picchi iniziali dovuti alle due accensioni e presenta andamenti confrontabili senza ricrescita dopo la disattivazione del CSA.

I DTgs hanno andamenti diversi ma tendono ad allinearsi per poi assestarsi a valori contenuti prima della disattivazione del CSA.

Per il motore con pompe A e B la strategia CSA 160 s è adatta alla prova -15°C con cetano 42.

5.2.3 Avviamento a +5°C senza Grid Heater e gasolio cetano 42

Temperatura cassone: +5°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Componenti: pompa A e pompa B

Attivazione CSA: 2 prove -> attivo 120 s

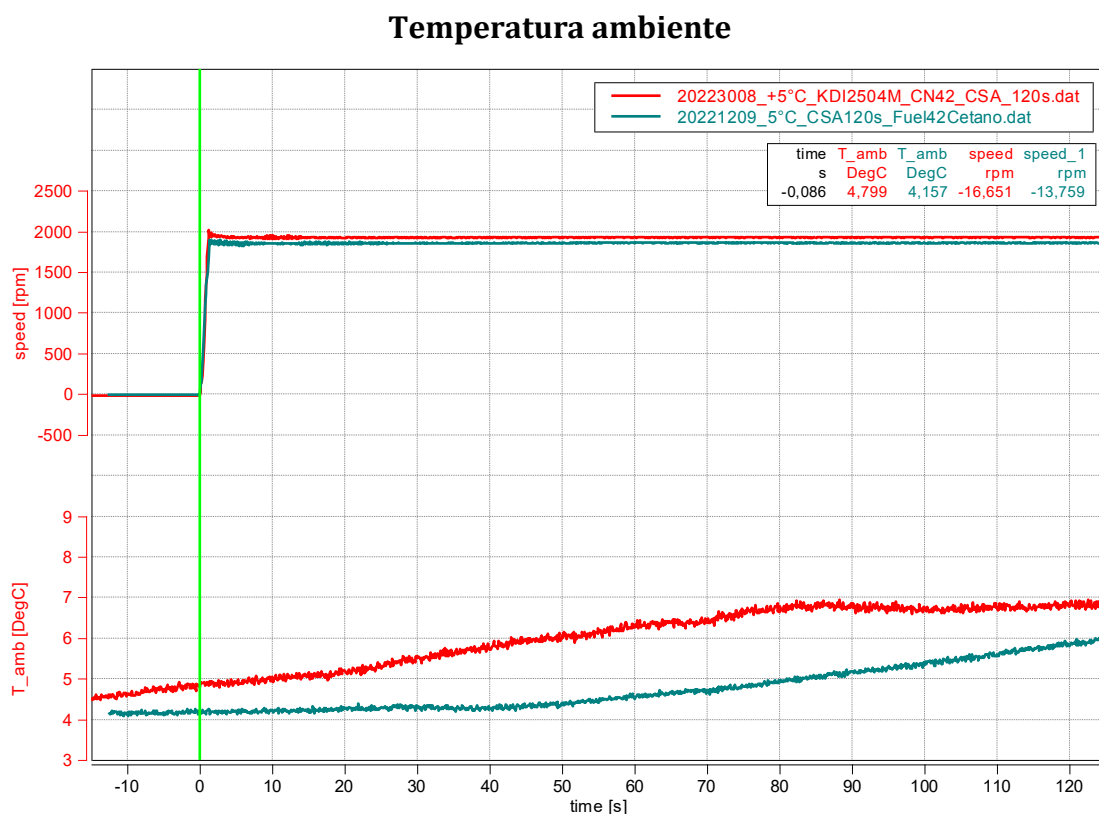


Figura 80: confronto T_{amb} a +5°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente delle prove è circa +4°C a causa di limiti tecnici nel raggiungere e mantenere i +5°C impostati nel cassone frigo.

Temperatura acqua e manifold

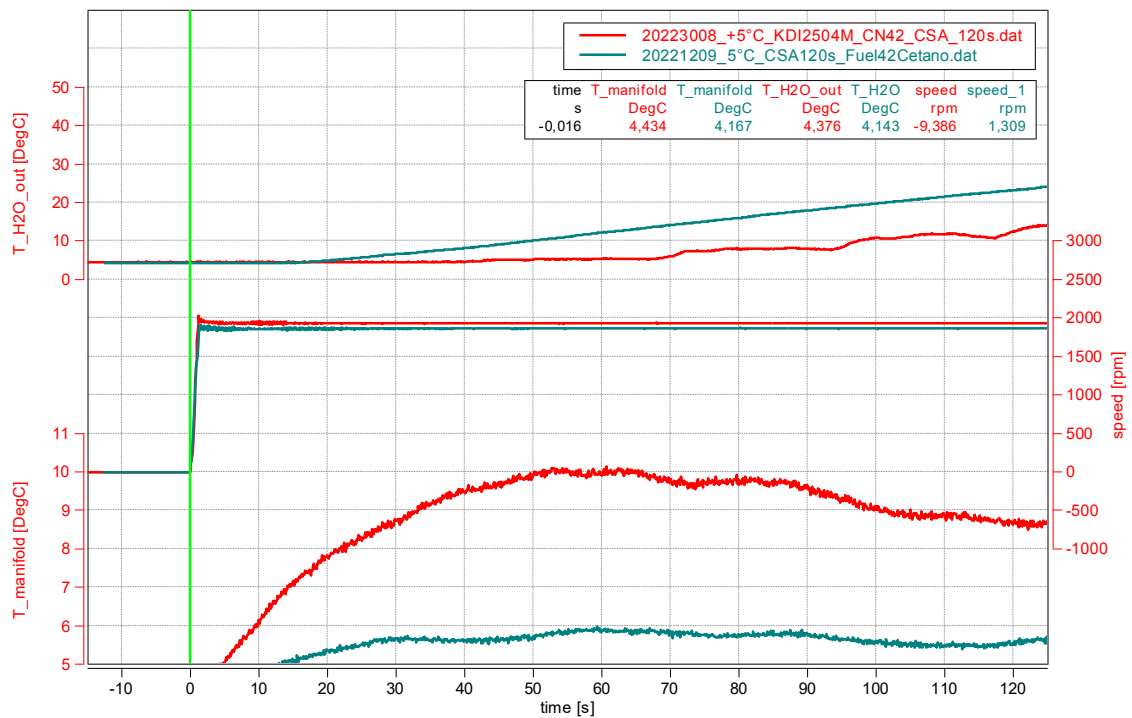


Figura 81: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ a +5°C con gasolio cetano 42.

Giri motore

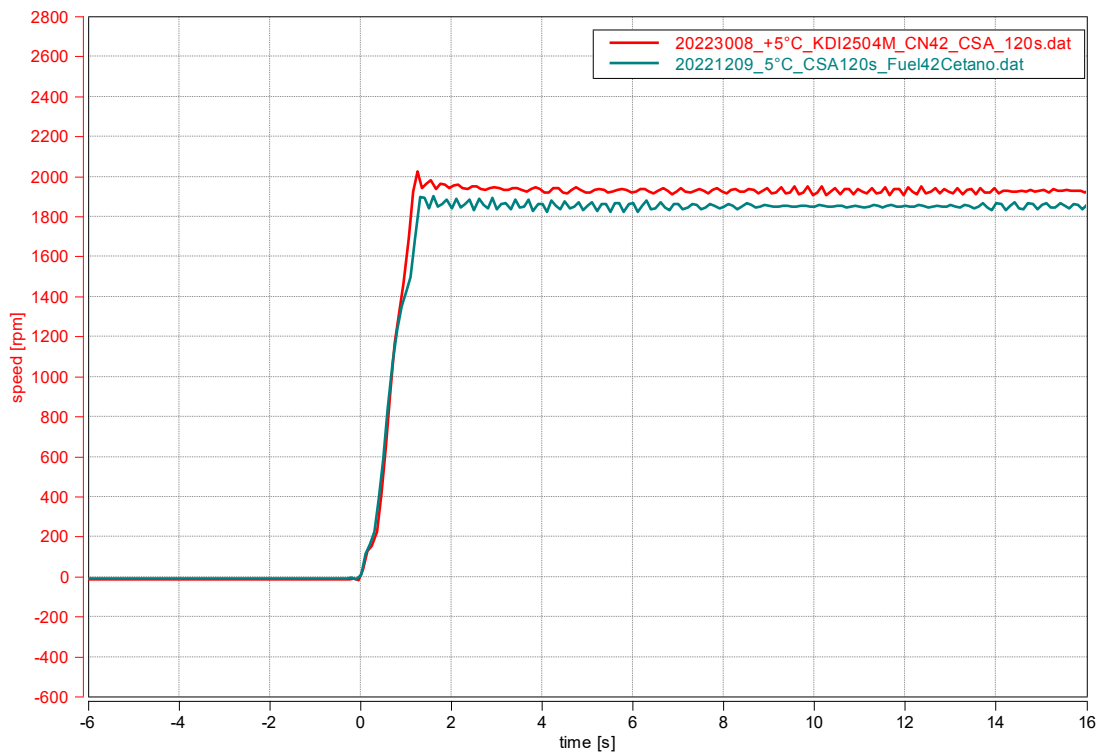


Figura 82: confronto giri motore a +5°C con gasolio cetano 42.

Il motore impiega pochi secondi per raggiungere il regime di velocità.

THC

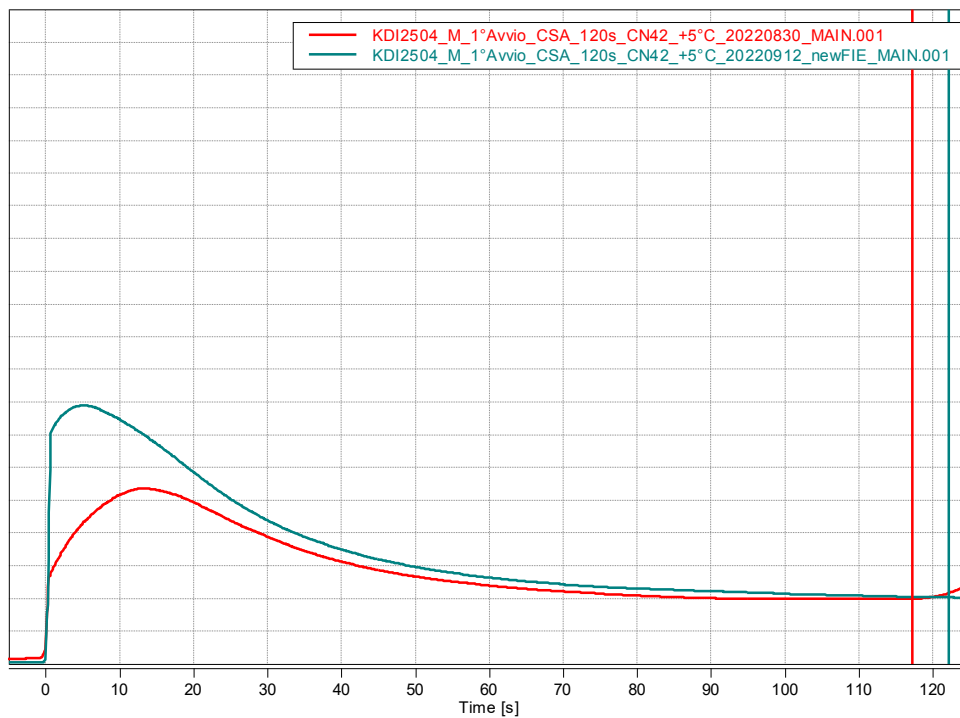


Figura 83: confronto THC a +5°C con gasolio cetano 42.

Osserviamo successivamente al picco iniziale una discesa con andamento simile per entrambe le prove con allineamento dei THC a valori bai e stabili prima della disattivazione del CA

NOx

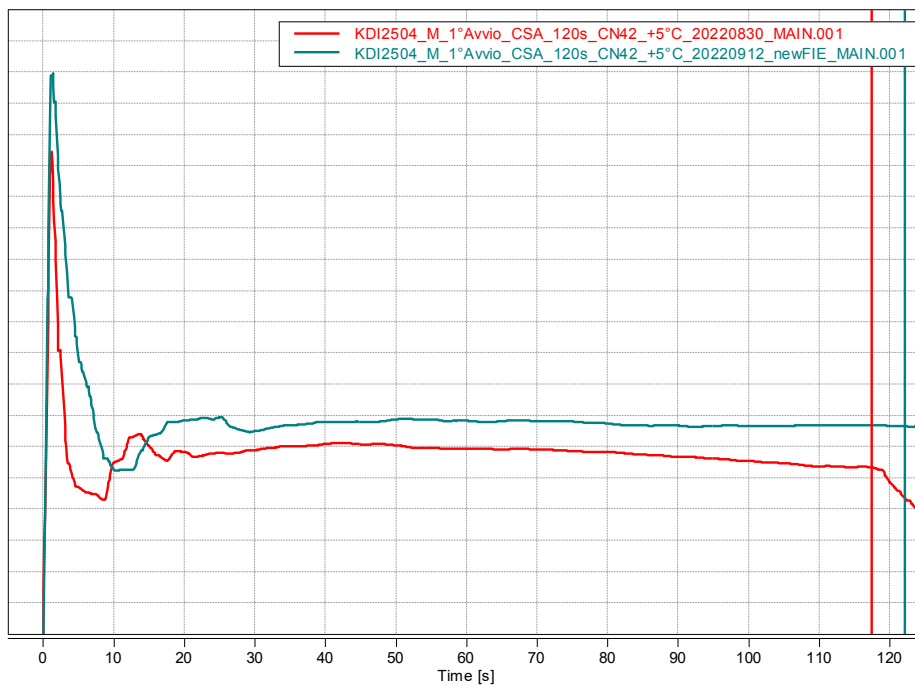


Figura 84: confronto NOx a +5°C con gasolio cetano 42.

I NOx decrescono dopo il picco iniziale e si assestano ad un valore asintotico.

Opacità k

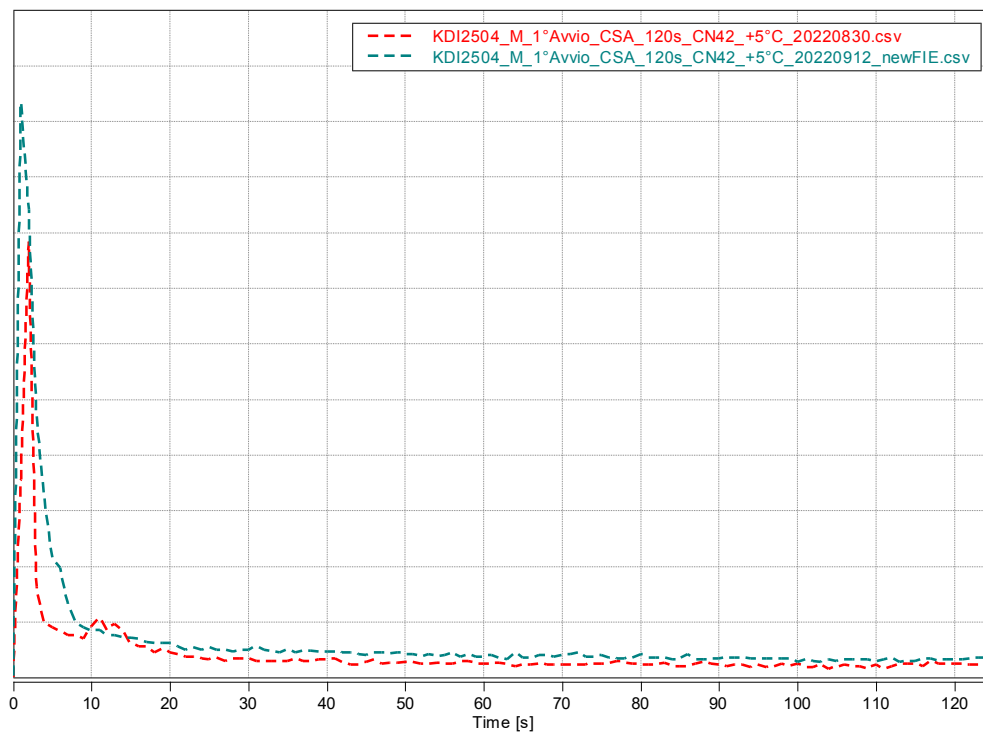


Figura 85: confronto opacità a +5°C con gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un picco iniziale esaurito il quale il fumo bianco scompare scendendo sotto il valore di misfiring sempre riferito alla specifica interna.

Delta gas di scarico

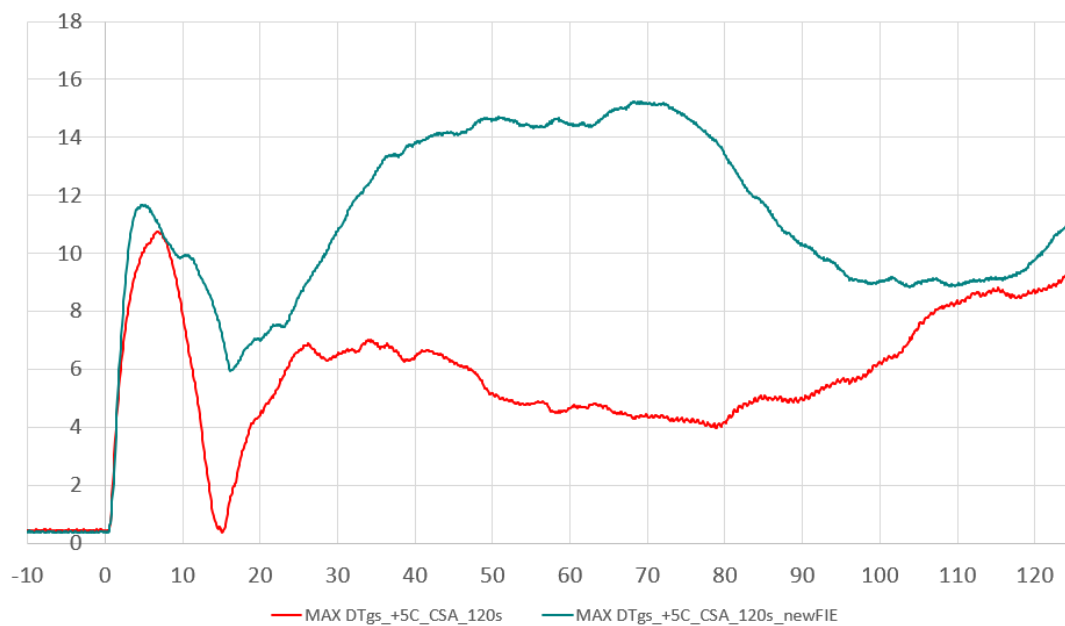


Figura 86: confronto DTgs a +5°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico è contenuto per entrambe le prove, massimo < 16°C.

Considerazioni prova

I THC sono ottimi per il tempo di CSA pari a 120 s.

I NOx si assestano su un valore asintotico contenuto.

L'opacità crolla dopo picco iniziale e raggiunge valore di soglia del fumo bianco in meno di 8 s.

IDTgs sono molto contenuti con il massimo $< 16^{\circ}\text{C}$.

Prova con CSA 120 s ottima per motore con pompe A e B.

5.2.4 Avviamento a +20°C con Grid Heater e gasolio cetano 42.

Temperatura cassone: +20°C

Gasolio: cetano 42

Grid Heater: disattivato

Componenti: pompa A

Attivazione CSA: 1 prova -> disattivo

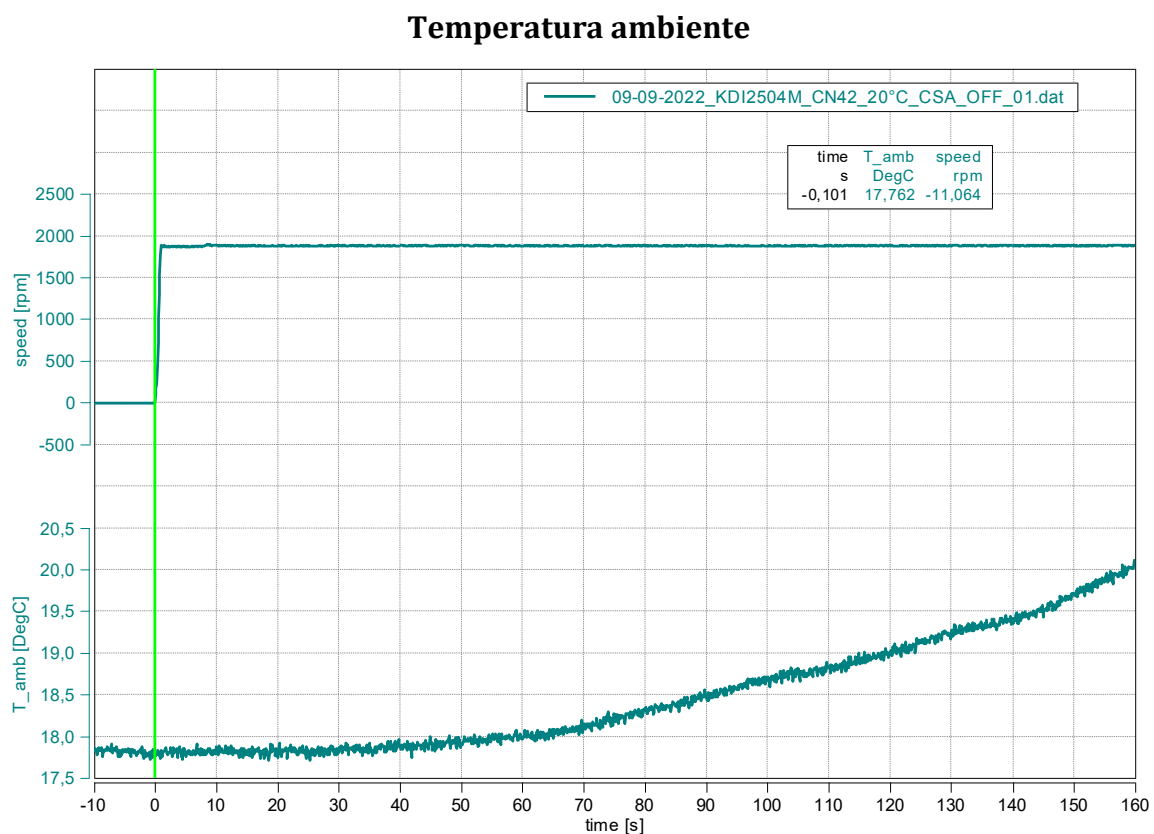


Figura 87: T_{amb} a +20°C con gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente della prova non è effettivamente +20°C, ma circa 18°C a causa di limiti tecnici nel raggiungere i +20°C. Il range del cassone frigo è -25°C <-> +5°C e quindi si è portato il cassone a +5°C per poi farlo riscaldare con la temperatura ambiente.

Temperatura acqua e manifold

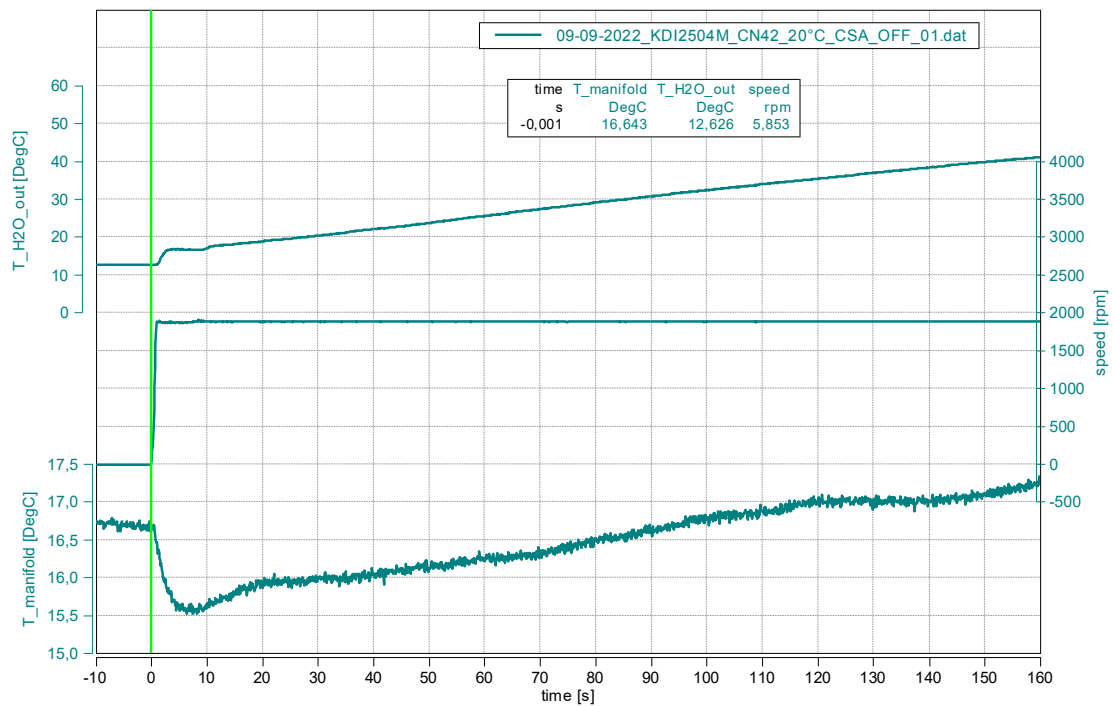


Figura 88: T_{H_2O} e $T_{manifold}$ a $+20^{\circ}\text{C}$ con gasolio cetano 42.

Giri motore

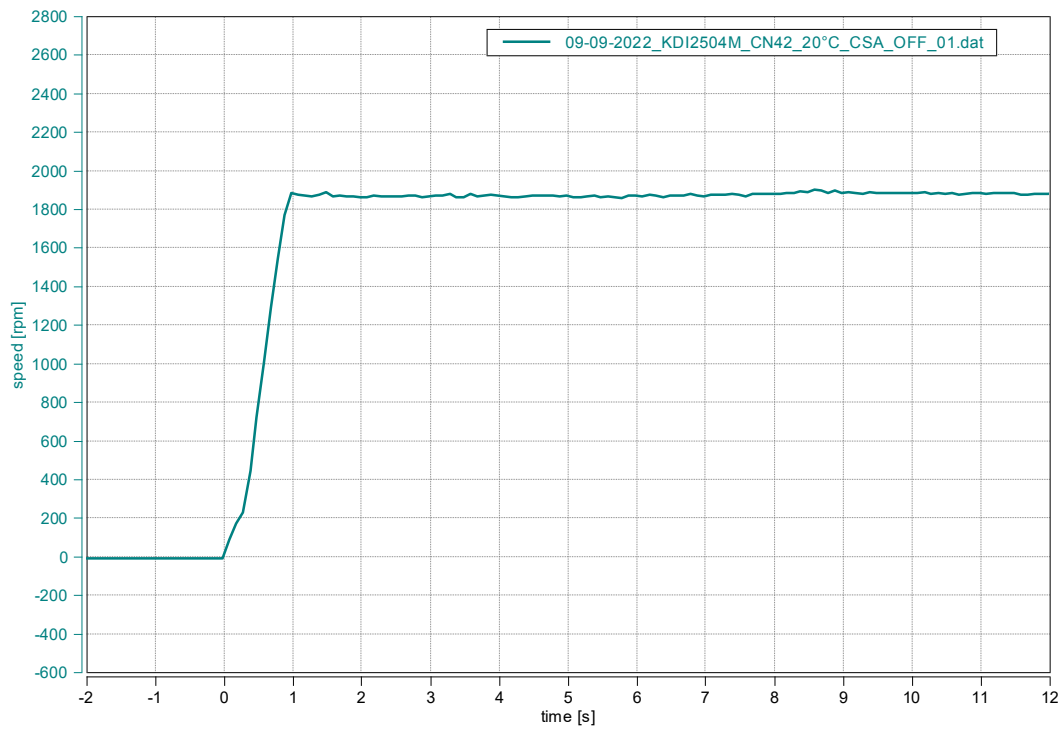


Figura 89: giri motore a $+20^{\circ}\text{C}$ con gasolio cetano 42.

Il motore impiega pochi secondi per raggiungere il regime.

THC

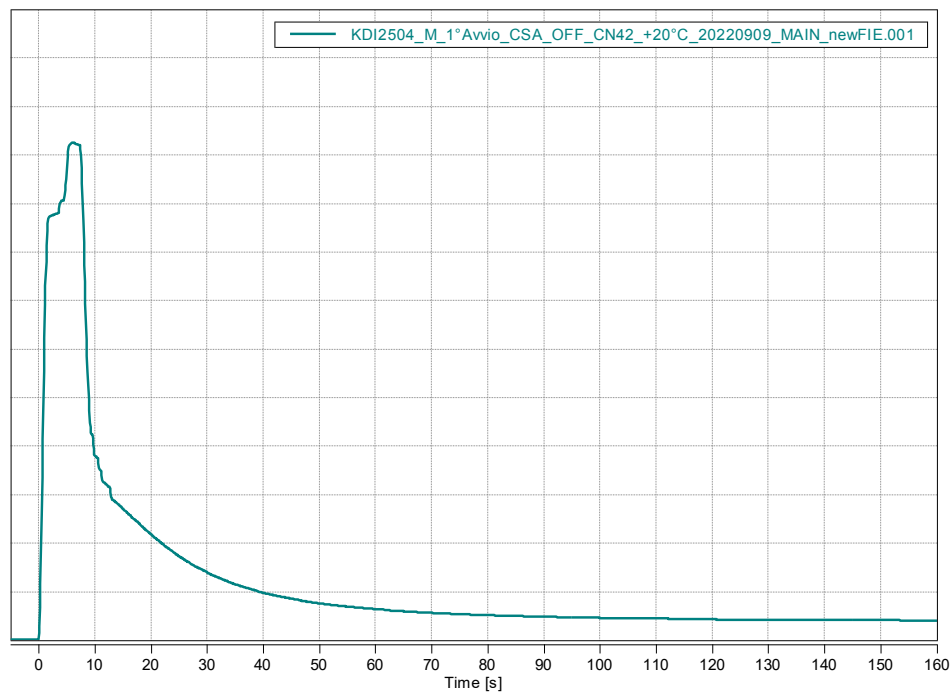


Figura 90: THC a +20°C con gasolio cetano 42.

I THC crollano vistosamente dopo 10 s.

NOx

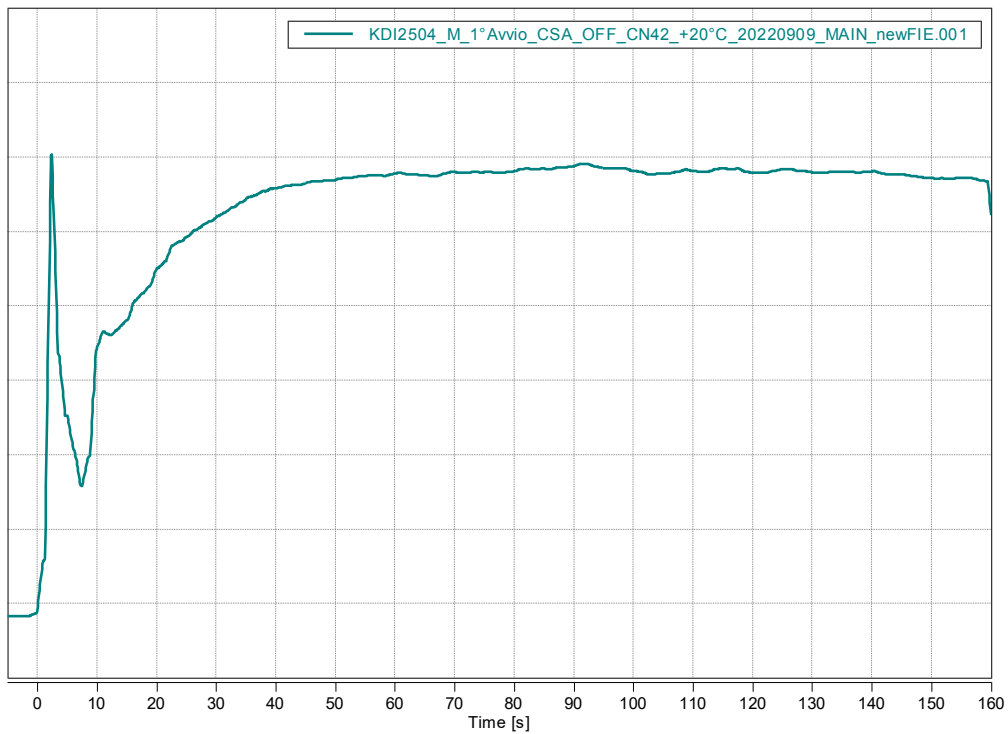


Figura 91: NOx a +20°C con gasolio cetano 42.

I NOx mostrano un picco iniziale che si esaurisce subito. Successivamente ricrescono fino ad allinearsi su un valore costante.

Opacità k

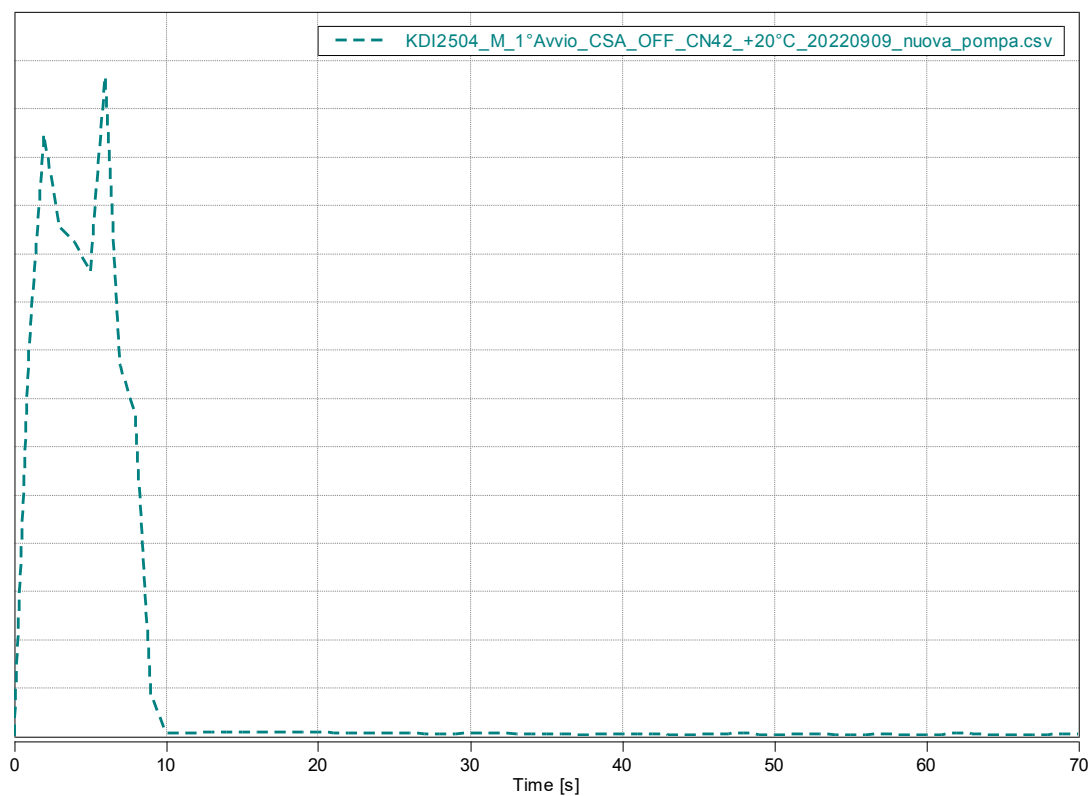


Figura 92: opacità a +20°C con gasolio cetano 42.

L'opacità andamento allineato con i THC e il fumo bianco scompare anch'esso dopo 10 s.

Delta gas di scarico

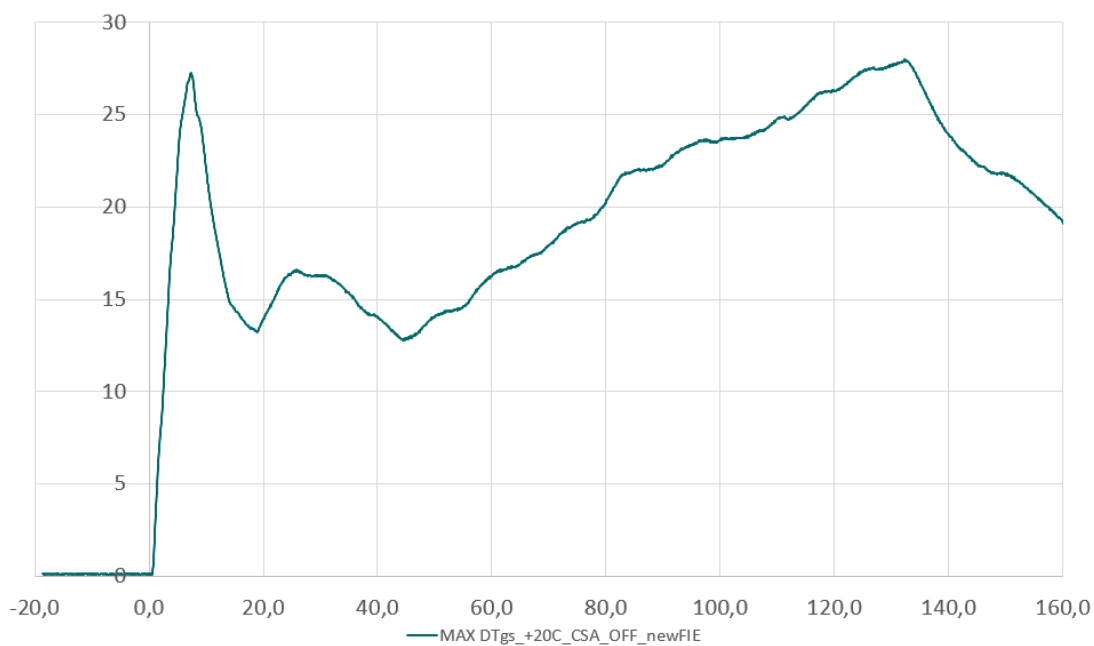


Figura 93: DTgs a +20°C con gasolio cetano 42.

Il delta fra i gas di scarico è contenuto ed ha un valore costantemente < 30°C.

Considerazioni prove

I THC risultano essere ottimi anche senza l'utilizzo del CSA.

I NOx si assestano su un valore fisso.

L'opacità crolla dopo picco iniziale in 10 s e raggiunge valore di soglia del fumo bianco nello stesso tempo.

I DTgs sono contenuti con il massimo < 30°C.

Confermata strategia CSA che prevede disattivazione di quest'ultimo alla temperatura di +20°C

5.3 Conclusioni prove KDI 2504 M

Le prove di avviamento a freddo del motore KDI 2504 M confermano la validità e l'efficacia della strategia CSA ottenuta dal motore KDI 1903 M

Entrambe le pompe utilizzate hanno dato riscontro positivo per questa verifica.

6 KDI 3404 TM

6.1 Scopo delle prove

Lo scopo di questa prova è quello di trovare una nuova strategia di attivazione del CSA anche per il motore KDI 3404 TM. Questo motore prevede da manuale l'utilizzo di un Block Heater per le temperature di avviamento inferiori a 20°C.

Per questo motore era previsto un CSA standard di 10 s per tutte le temperature di avviamento.

È stato prefissato come obiettivo della prova di verificare se il tempo di attivazione del CSA potesse essere portato a 0 s, ovvero non utilizzarlo per gli avviamenti a freddo del KDI 3404 TM.

6.2 Elenco prove

Di seguito è riportato l'elenco delle prove eseguite. Le prove sono state ridotte in quanto si è deciso di testare il motore solo per le prove più gravose in termini di temperatura e gasolio utilizzato.

Le prove effettuate sono ancora una volta analizzate nel dettaglio nelle pagine seguenti. Si pone ancora una volta all'attenzione il fatto che i cursori presenti nei grafici di THC e NOx indicano l'istante in cui si disattiva il CSA.

Le prove sono state eseguite azionando il motore a vuoto con taratura 70 kW @1800 rpm.

- **Avviamenti a -15°C con Block Heater e gasolio Cetano 42.**
- **Avviamento a +5°C con Block Heater e gasolio Cetano 42.**
- **Avviamenti a +20°C senza Block Heater e gasolio Cetano 42.**

6.2.1 Avviamenti a -15°C con Block Heater e gasolio Cetano 42

Temperatura cassone: -15°

Gasolio: Cetano 42

Fuel delay: 8 s

Grid Heater: disattivato

Block Heater: equipaggiato

Attivazione CSA: 2 prove -> attivo 10 s e disattivato

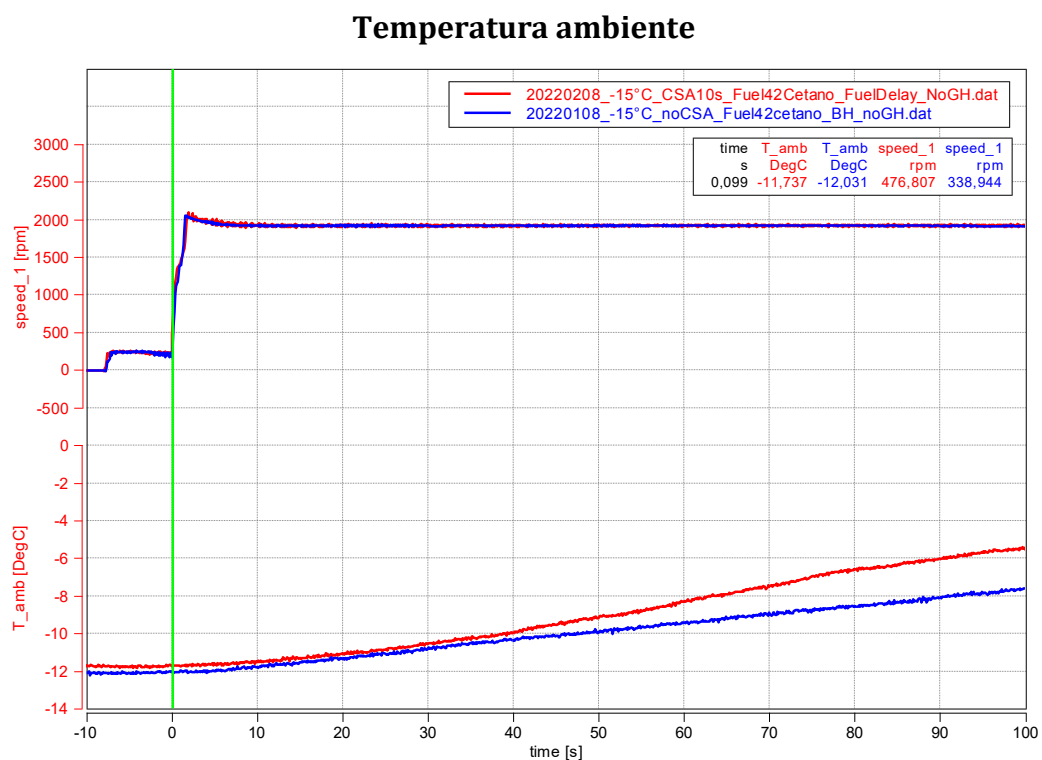


Figura 94: confronto T_{amb} a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente reale non è quella riportata da queste termocoppie, ma è di -15°C misurata con due termocoppie ai lati opposti del cassone frigo.

Le temperature ambiente qui riportate sono acquisite con termocoppia in prossimità del motore, il quale subisce un riscaldamento dovuto all'utilizzo del Block Heater.

Temperatura acqua e manifold

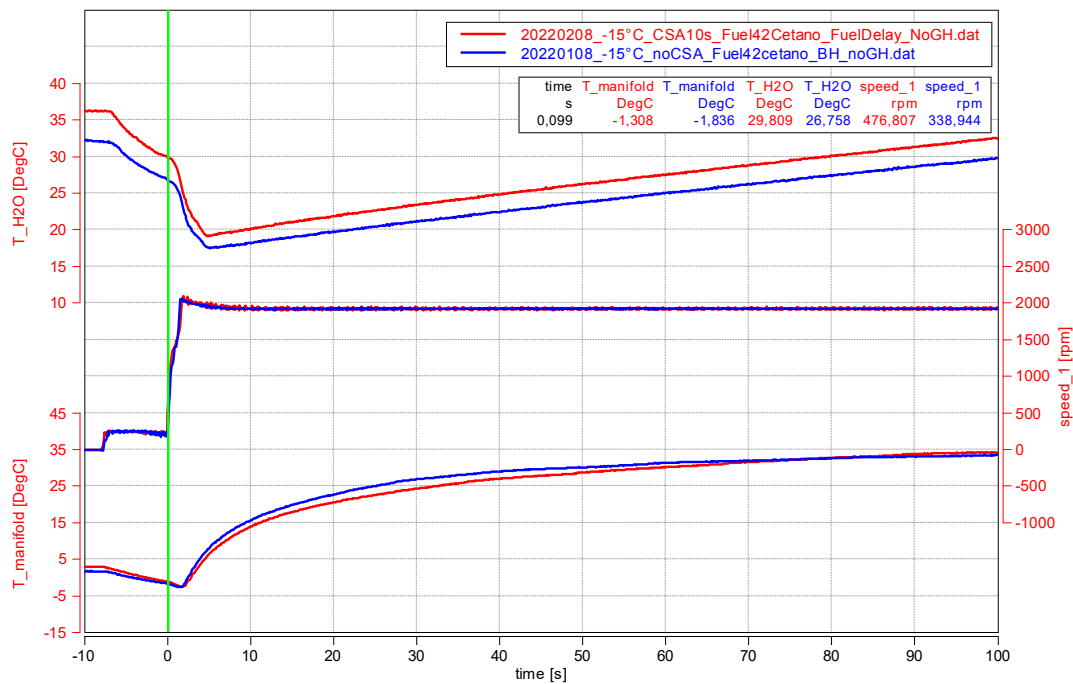


Figura 95: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Qui sono riportate le temperature effettive dell'acqua e del manifold misurate all'avviamento del motore. Si osserva come il Block Heater influenzi queste temperature riscaldando il motore prima dell'avviamento.

Giri motore

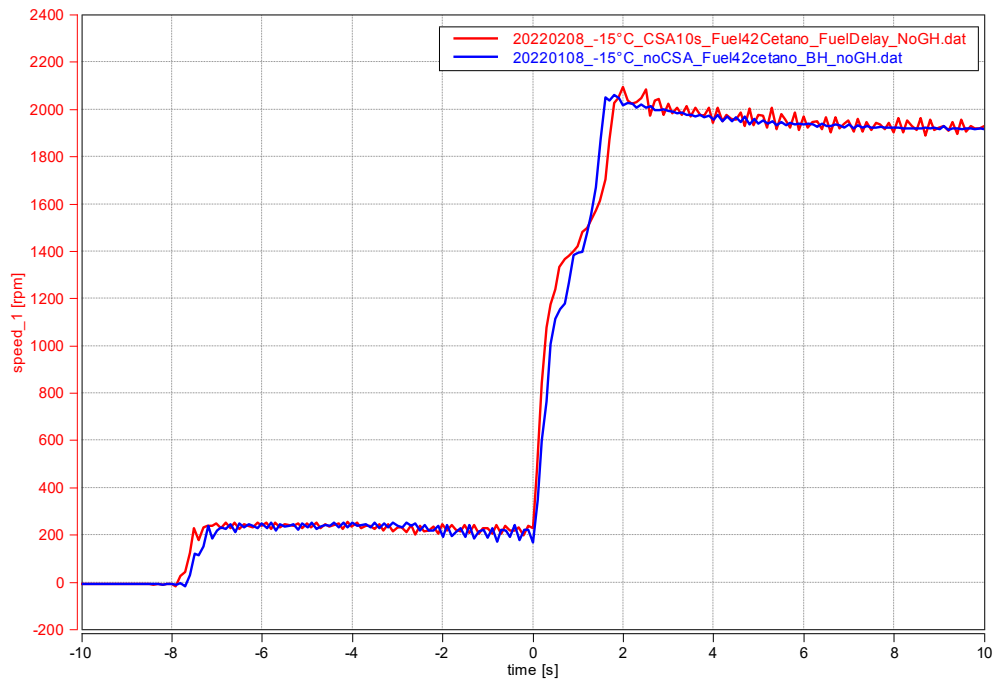


Figura 96: confronto giri motore a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Da questo grafico si osserva il fuel delay di 8 s e come il motore si avvii raggiungendo la velocità di regime in pochi secondi.

THC

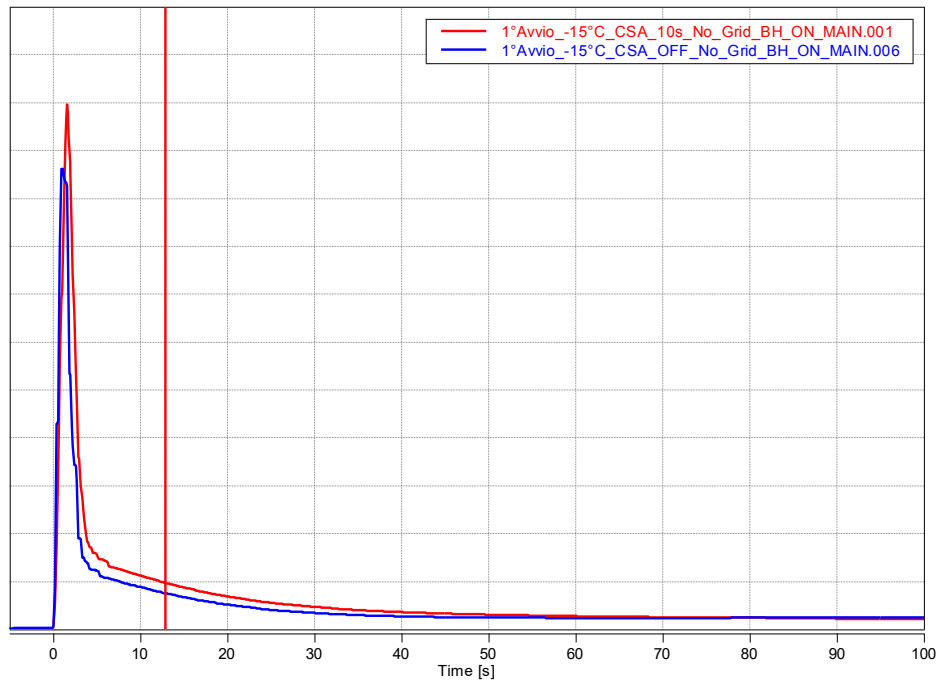


Figura 97: confronto THC a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Si osserva come gli andamenti dei THC siano confrontabili e non si percepisce l'influenza del CSA. L'unica differenza riguarda il picco iniziale che però non è soggetto all'attivazione del CSA perché si sviluppa durante il cranking e quindi prima che si attivi il CSA stesso. Il picco è legato ad altri fattori più casuali come quello legato all'utilizzo del gasolio Cetano 42 -15°C.

NOx

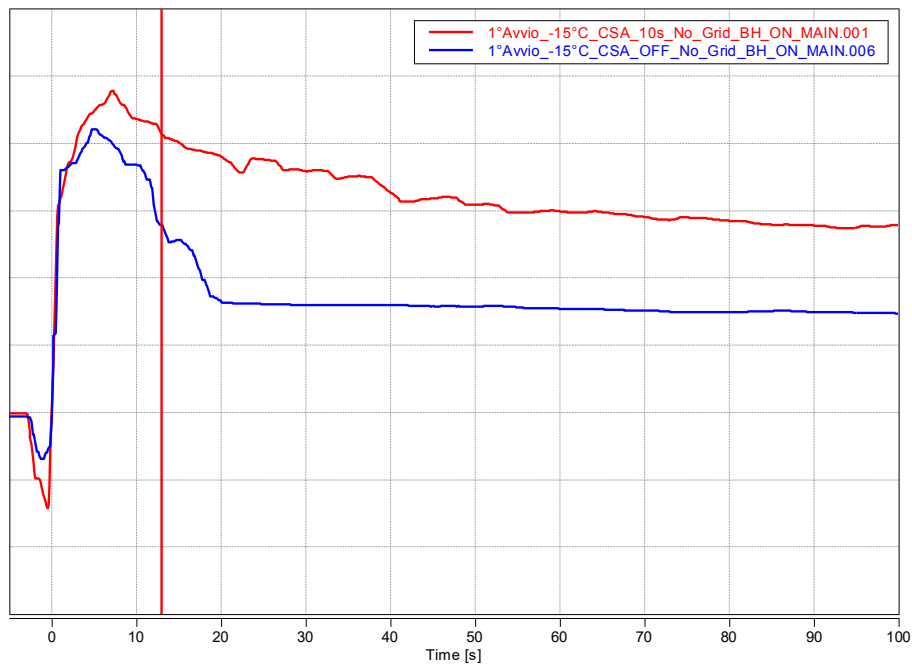


Figura 98: confronto NOx a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Si osserva un andamento dei NOx simile tra le due prove prima della disattivazione del CSA, con i NOx della prova con il CSA attivo che diminuiscono molto più gradualmente nelle fasi successive.

Opacità k

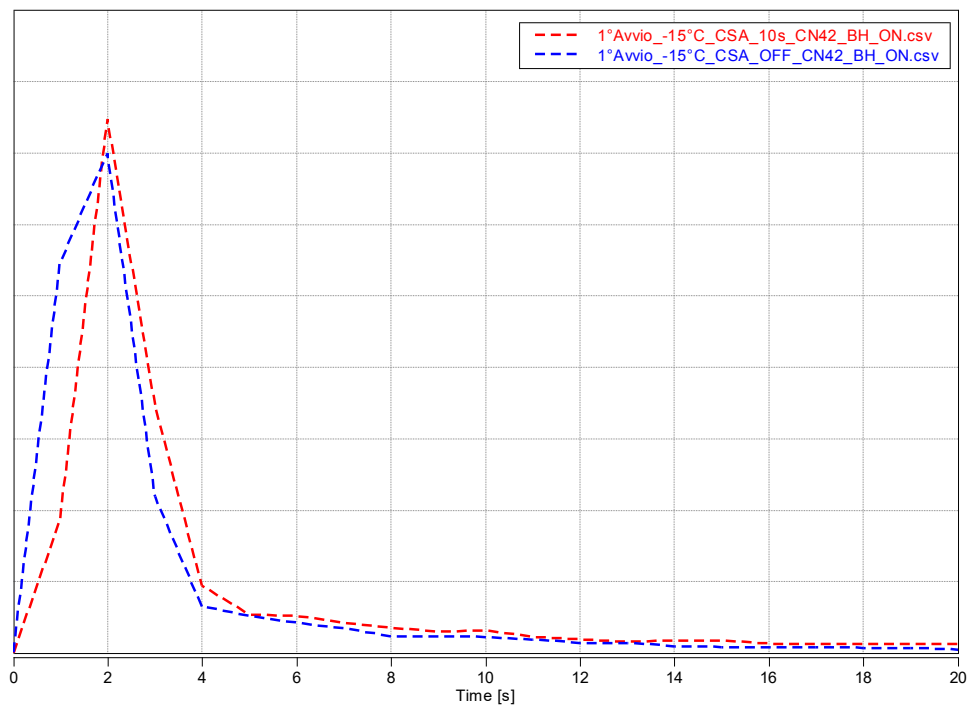


Figura 99: confronto opacità a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

L'opacità delle due prove mostra un andamento del tutto confrontabile con un picco iniziale che si esaurisce in 4 s.

Delta gas di scarico

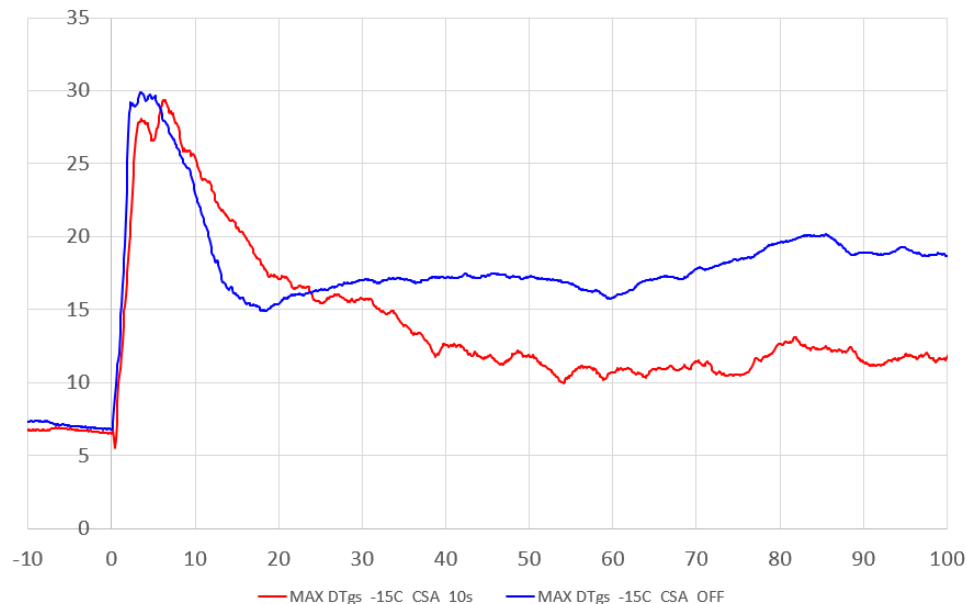


Figura 100: confronto DTgs a -15°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Per quanto riguarda i gas di scarico notiamo superato il picco iniziale il delta di temperatura massimo non supera i 20°C neanche per la prova con il CSA disattivato. Questa risulta essere infatti la prova che presenta la condizione peggiore.

Considerazioni prove

I THC a fronte del picco iniziale crollano con lo stesso andamento in pochi secondi sotto un valore di THC accettabile.

I NOx dopo il picco iniziale hanno sempre un andamento asintotico.

L'opacità crolla dopo il picco iniziale con lo stesso andamento per le due prove

I DTgs sono contenuti con il massimo $< 30^{\circ}\text{C}$.

Entrambe le prove mostrano andamenti simili, si può considerare quindi superfluo l'utilizzo del CSA per gli avviamenti a -15°C con gasolio cetano 42 e l'utilizzo del Block Heater.

6.2.2 Avviamento a +5°C con Block Heater e gasolio Cetano 42

Temperatura cassone: +5°C

Gasolio: Cetano 42

Fuel delay: 8 s

Grid Heater: disattivato

Block Heater: equipaggiato

Attivazione CSA: 1 prova -> **disattivato**

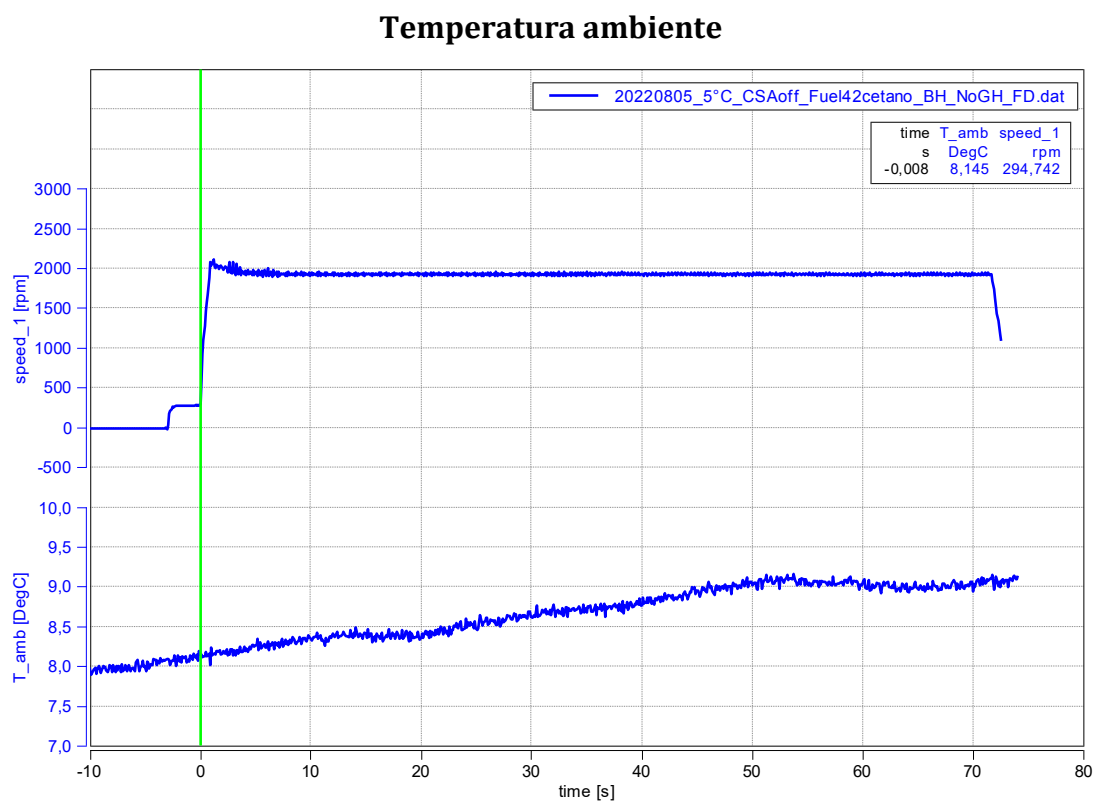


Figura 101: T_{amb} a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente reale non è quella riportata da questa termocoppia, ma è di +5°C. La temperatura ambiente qui riportata è acquisita con termocoppia in prossimità del motore, il quale anche in questa prova subisce un riscaldamento dovuto all'utilizzo del Block Heater.

Temperatura acqua e manifold

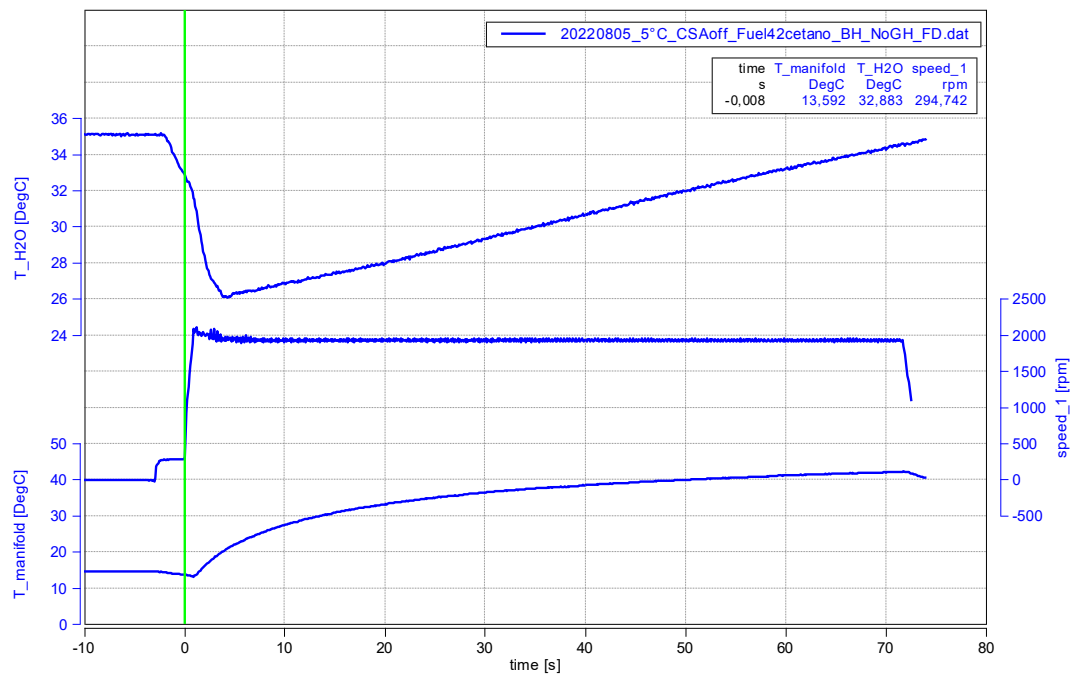


Figura 102: T_{H_2O} e $T_{manifold}$ a $+5^{\circ}\text{C}$ con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Qui è riportata la temperatura effettiva dell'acqua e del manifold misurata all'avviamento del motore. Si osserva come il Block Heater influenzi sempre queste temperature riscaldando il motore prima dell'avviamento.

Giri motore

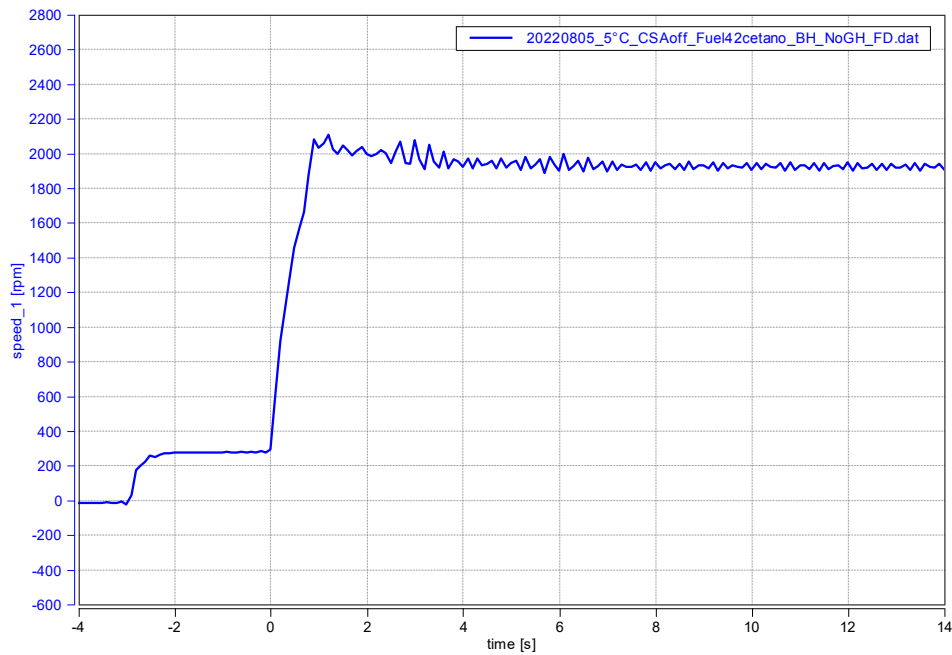


Figura 103: giri motore a $+5^{\circ}\text{C}$ con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Anche in questo avviamento si osserva il fuel delay e il motore impiega sempre pochi secondi ad avviarsi e raggiungere il regime di velocità.

THC

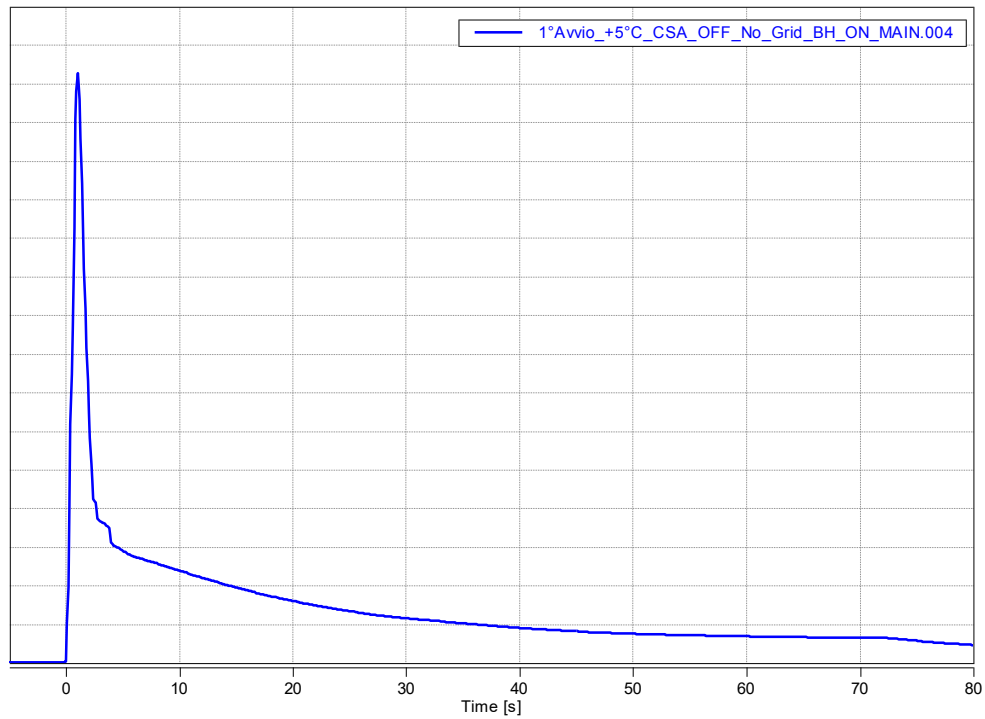


Figura 104: THC a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

L'andamento dei THC ha un solito picco con successiva discesa rapida che porta ad avere valori di THC bassi in brevissimo tempo. I dati evidenziano come il CSA attivo sarebbe superfluo.

NOx

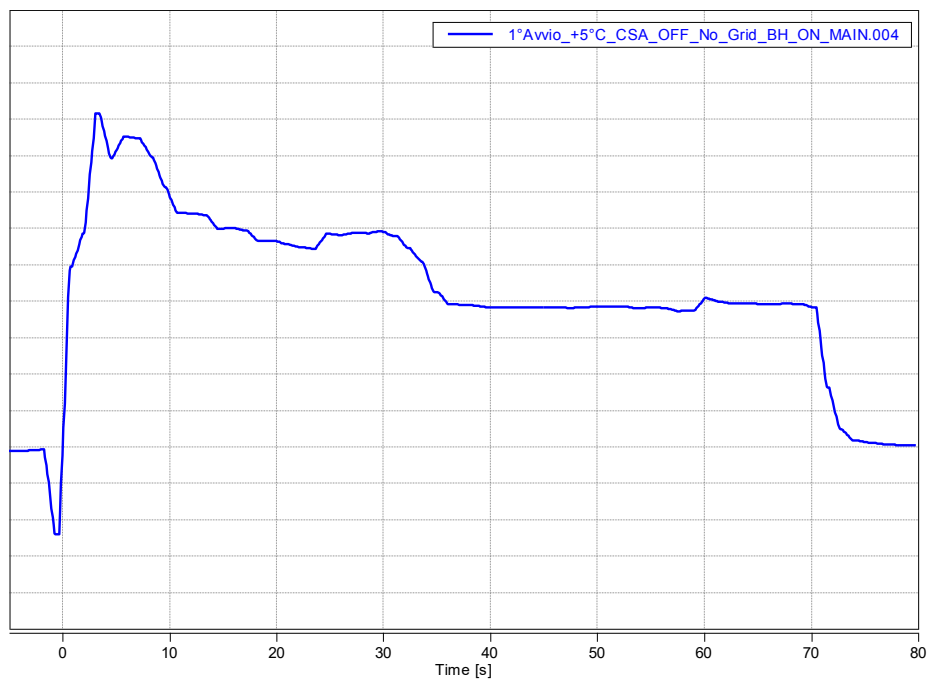


Figura 105: NOx a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

Si osserva un andamento dei NOx coerente con quello della prova a -15°C con CSA disattivato.

Opacità k

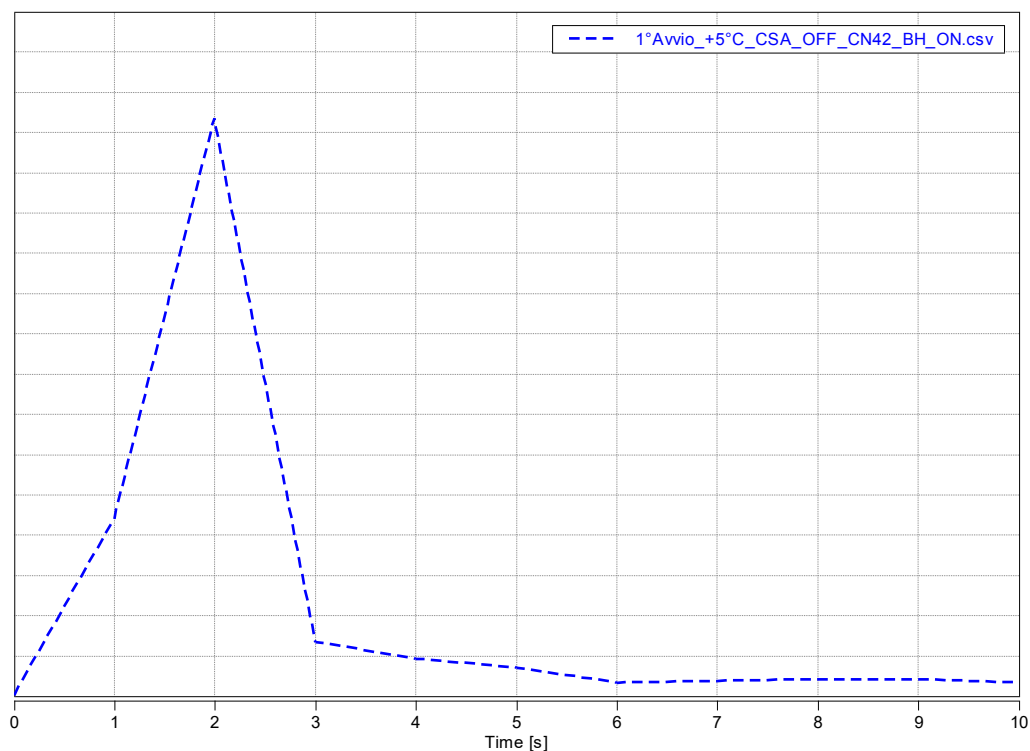


Figura 106: opacità a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

L'opacità mostra un andamento con picco iniziale breve in linea con le altre prove.

Delta gas di scarico

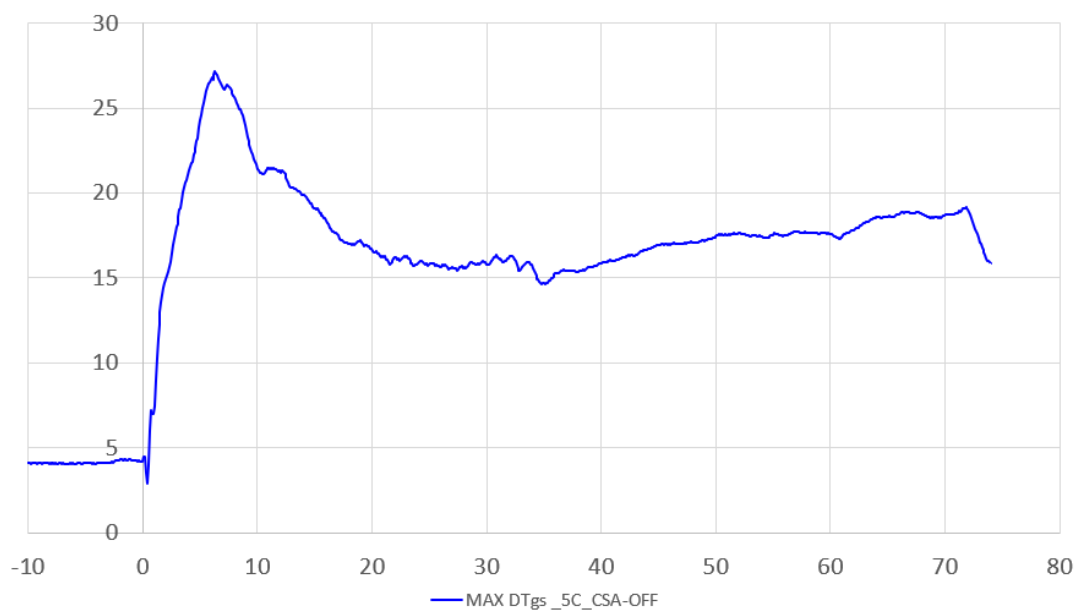


Figura 107: DTgs a +5°C con Block Heater attivo e gasolio cetano 42.

I gas di scarico sono simili alla prova a -15°C, superato il picco iniziale, hanno infatti un delta di temperatura massimo che non supera i 20°C.

Considerazioni prova

I THC a fronte del picco iniziale crollano in pochi secondi sotto un valore accettabile.

I NOx dopo il picco iniziale hanno un andamento asintotico.

L'opacità crolla dopo il picco iniziale e scende sotto il limite di visibilità del fumo bianco in 4 s.

Il DTgs è contenuto con massimo $< 30^{\circ}\text{C}$ e andamento simile alle prove precedenti.

Prova senza CSA mostra un ottimo andamento in linea con quella a -15°C , il motore non necessita del CSA per avviarsi a questa temperatura.

6.2.3 Avviamenti a +20°C senza Block Heater e gasolio Cetano 42

Temperatura cassone: +20°C

Gasolio: Cetano 42

Fuel delay: 8 s

Grid Heater: disattivato

Block Heater: non equipaggiato

Attivazione CSA: 2 prove -> attivo 10 s e disattivato

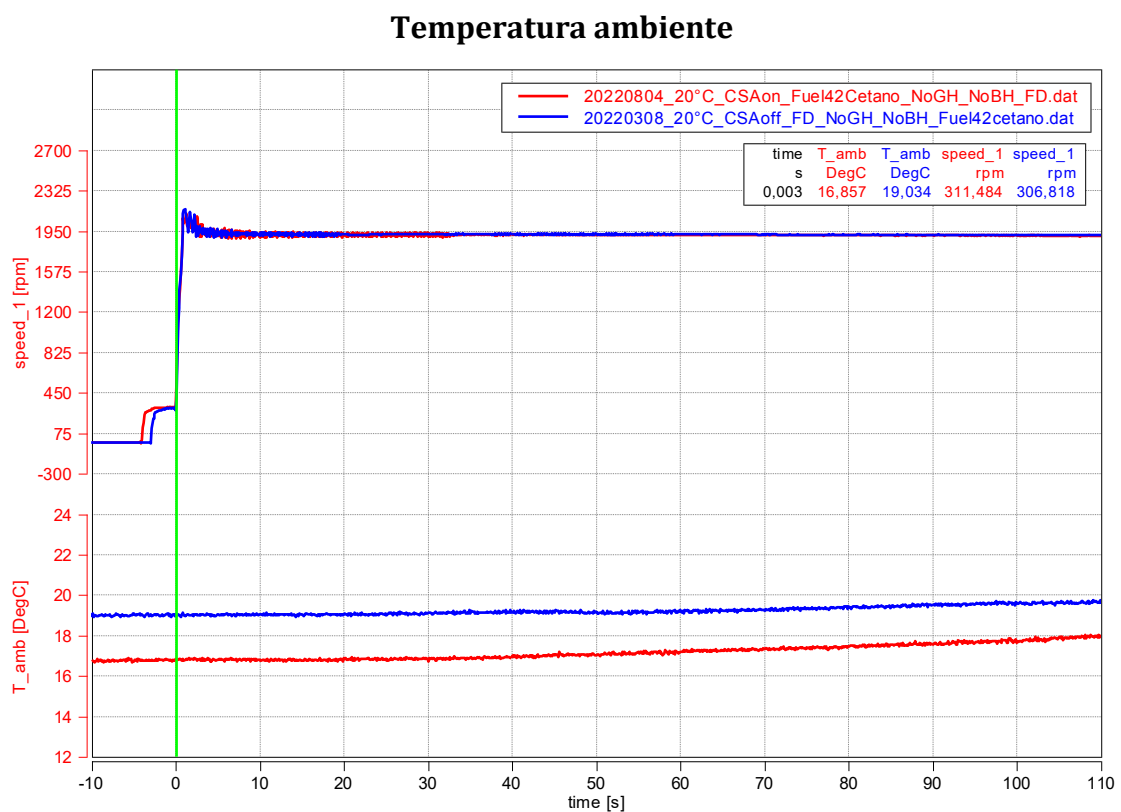


Figura 108: confronto T_{amb} a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.

La temperatura ambiente delle due prove differisce leggermente ma questo non crea discostamenti significativi per il confronto delle prove.

Temperatura acqua e manifold

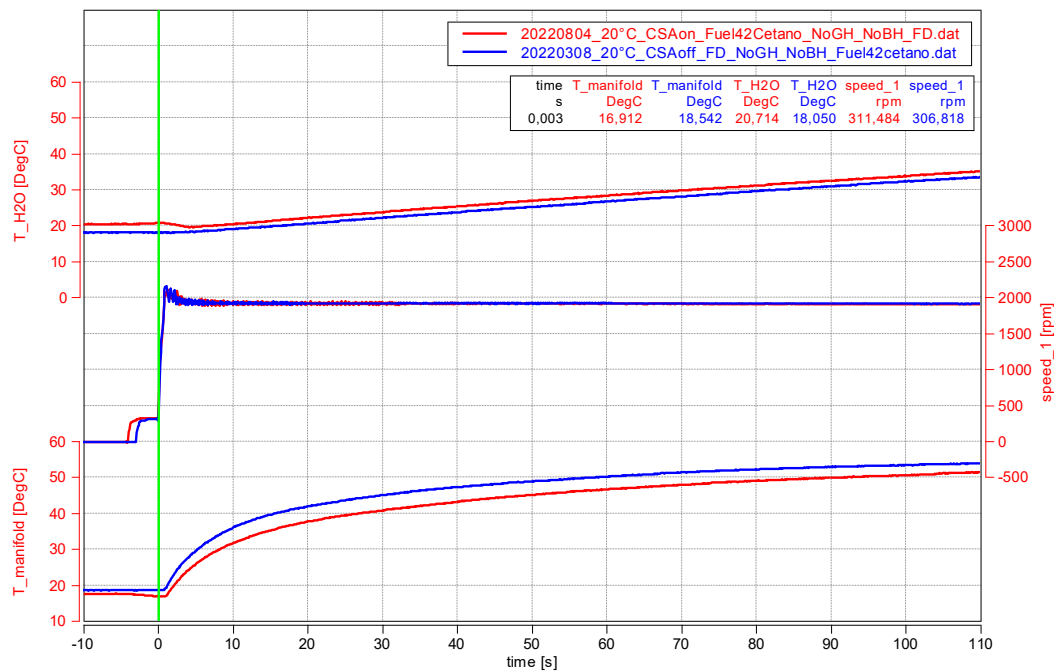


Figura 109: confronto T_{H2O} e $T_{manifold}$ a $+20^{\circ}\text{C}$ con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.

Anche le temperature di acqua e manifold differiscono leggermente, in questo caso sono maggiori quelle della prova con CSA poiché era stato raffreddato l'ambiente, ma il motore non aveva ancora raggiunto l'equilibrio termico.

Giri motore

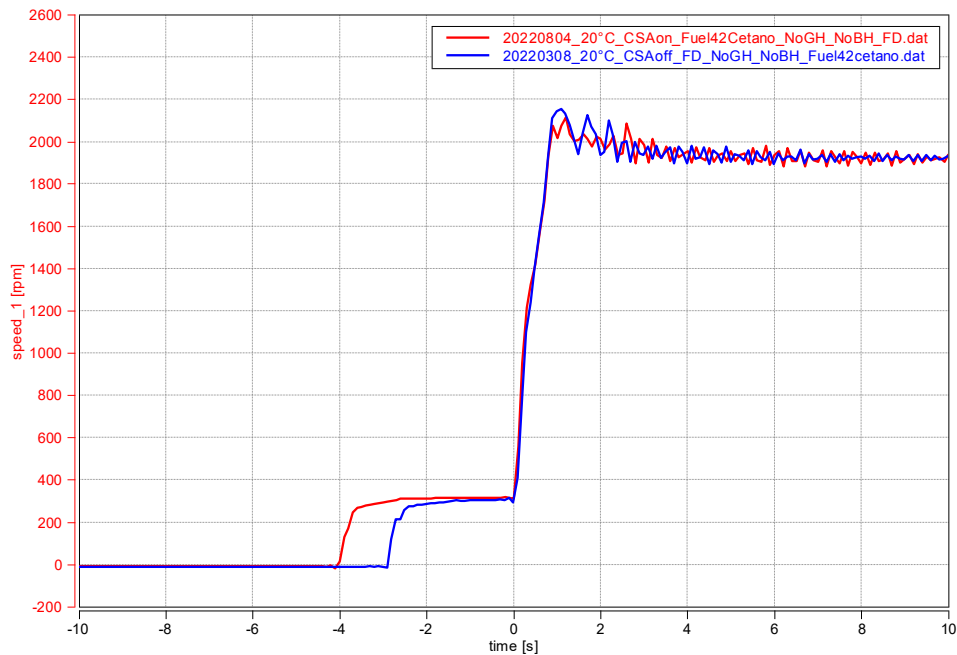


Figura 110: confronto giri motore a $+20^{\circ}\text{C}$ con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.

Il fuel delay è ridotto per questa prova e il motore raggiunge la velocità di regime sempre in un paio di secondi.

THC

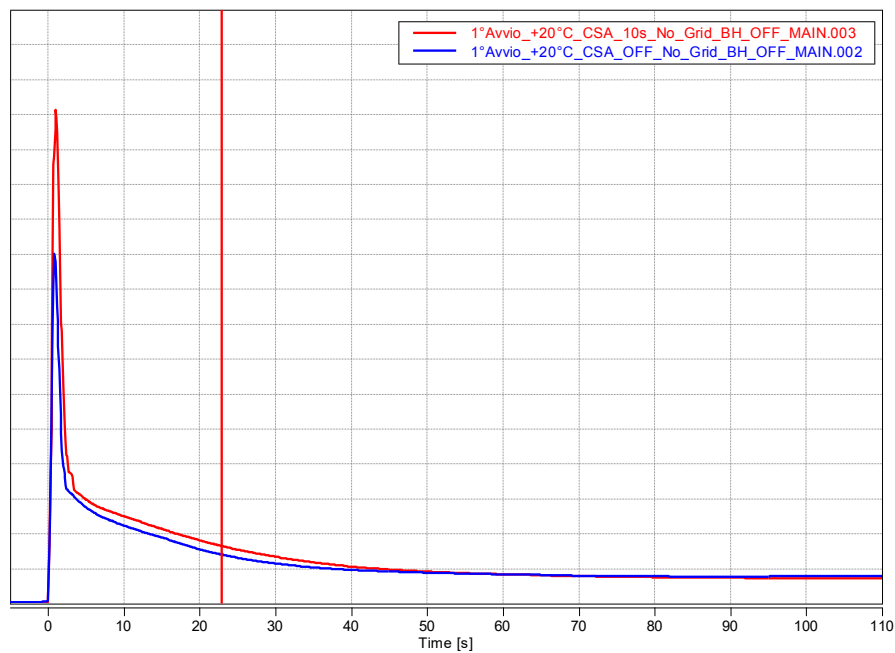


Figura 111: confronto THC a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.

Anche in questo caso escludendo il picco iniziale si ha un andamento dei THC molto simile e con le stesse pendenze leggermente traslate a causa del picco differente. Ancora una volta il CSA risulta superfluo per questo motore. In questo caso il CSA era stato attivato erroneamente per circa 20 s anziché 10 s, questo mette in evidenza come anche un CSA più prolungato non abbia effetto sull'abbattimento dei THC.

NOx

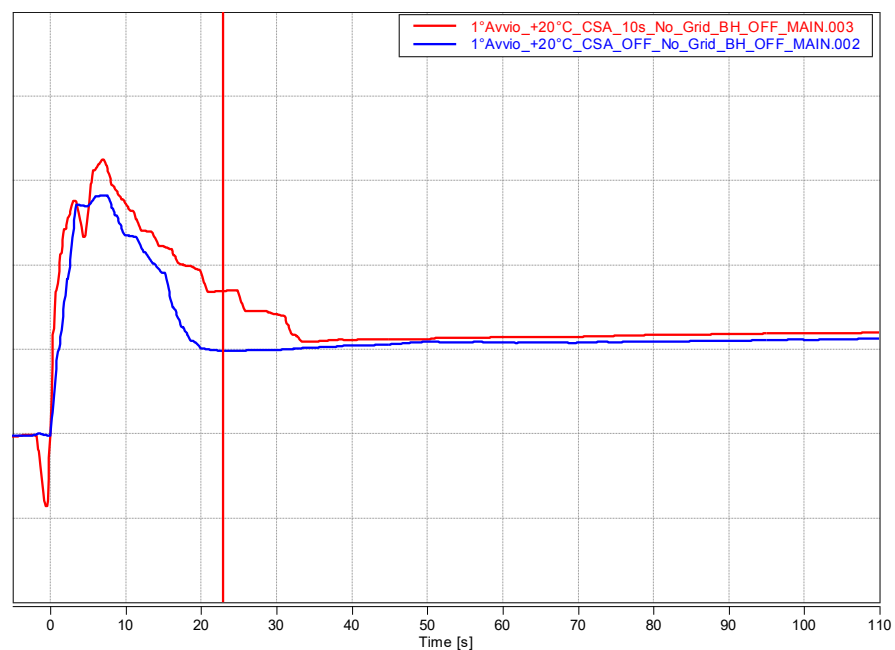


Figura 112: confronto NOx a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.

Non si osserva un cambiamento significativo dei NOx alla disattivazione del CSA con la curva con CSA attivo che impiega più tempo per decrescere e raggiungere valori bassi e stabili

Opacità k

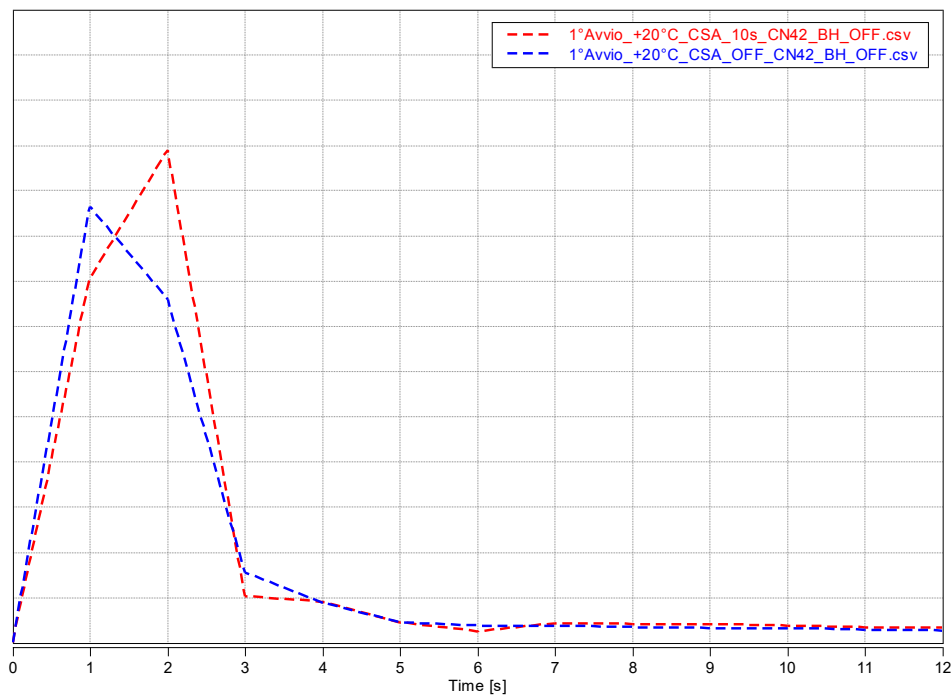


Figura 113: confronto opacità a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42.

L'opacità registra picchi confrontabili fra loro con durata del tutto confrontabile.

Delta gas di scarico

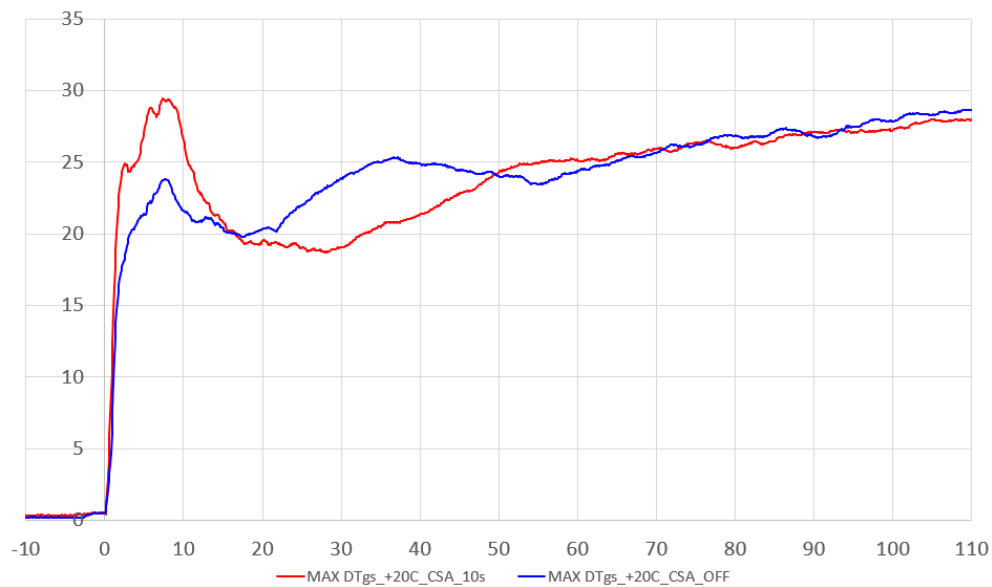


Figura 114: confronto DTgs a +20°C con Block Heater disattivo e gasolio cetano 42..

Il delta gas di scarico risente dell'attivazione del CSA rimanendo più contenuto fino alla disattivazione di quest'ultimo a circa 20-25 secondi.

Avvenuta la disattivazione però la sua curva risale e si sovrappone a quella con CSA disattivato non mostrando un effetto significativo del CSA al di fuori dei primi istanti dell'avviamento.

Considerazioni prove

I THC a fronte del picco iniziale differente crollano in entrambe le prove sotto valori accettabili in pochi secondi.

I NOx dopo picco iniziale hanno un andamento asintotico.

L'opacità crolla dopo il picco iniziale e scende sotto il limite di visibilità del fumo bianco in 4 s.

I DTgs sono contenuti con il massimo $< 30^{\circ}\text{C}$.

Il CSA è superfluo anche per queste prove senza Block Heater.

6.3 Conclusioni KDI 3404 TM

Per le prove con temperature inferiori a 20°C si può sintetizzare che il Block Heater apporti un grande beneficio nel riscaldamento globale del motore rendendo superfluo un timing di CSA anche minimo come quello di 10 s per l'abbattimento dei THC.

Anche per temperature superiori a 20°C si osserva come il CSA non abbia un impatto sugli inquinanti.

Si può concludere che il CSA può essere disattivato e quindi non essere utilizzato per il motore KDI 3404 TM a condizione che si utilizzi sempre il Block Heater sotto i 20°C .

Questa condizione può apparire restrittiva, ma essendo questi motori venduti prevalentemente per essere impiegati come generatori di emergenza si ha la necessità di avere un motore che si avvii in pochi secondi e che possa allo stesso tempo essere pronto a ricevere il carico richiesto. Il Block Heater aiuta ad avere avviamenti rapidi e a migliorare la lubrificazione della turbina a fronte della richiesta di carico.

7 Conclusioni

L'analisi di questa tesi è stata condotta raccogliendo ed elaborando i dati ottenuti dalle numerose prove anche quelle non analizzate in questa tesi perché meno significative al raggiungimento del risultato finale.

Lo studio ha prodotto positivamente due nuove strategie di attivazione del CSA per le famiglie di motori analizzate, le quali sono riportate di seguito.

Strategia finale motori: KDI 1903 M - KDI 2504 TM – KDI 2504 M

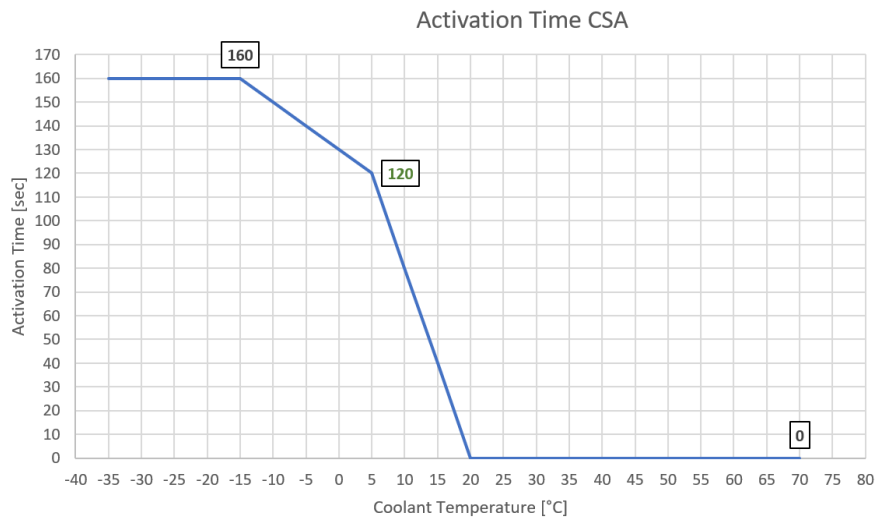


Figura 115: strategia CSA definitiva motori KDI1903M - KDI2504TM - KDI2504M.

Strategia finale motore: KDI 3404 TM

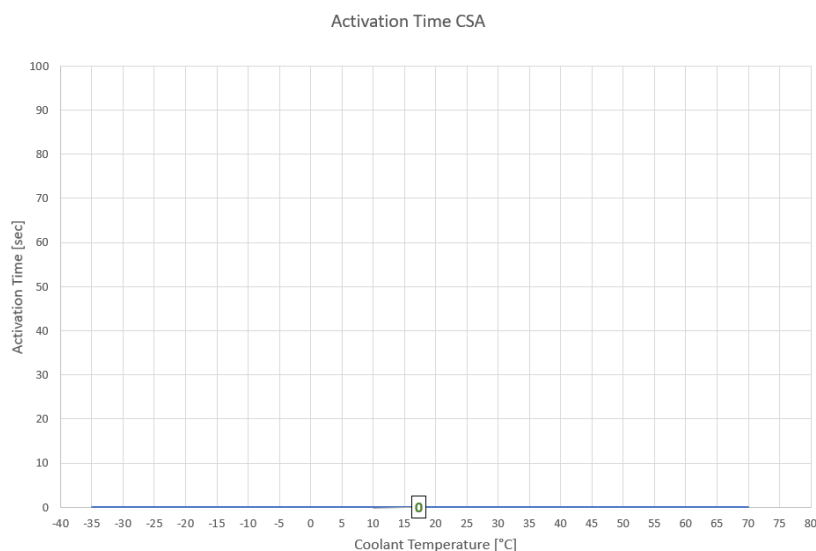


Figura 116: strategia CSA definitiva motore KDI3404TM.

L'obiettivo futuro di questa analisi sarà quello di verificare tali strategie con eventuali nuove tarature dei motori per rendere queste nuove strategie ancor più affidabili.

Ringraziamenti

Per iniziare vorrei ringraziare il professor Ezio Spessa per la sua disponibilità e per aver accettato di seguirmi in questo ultimo passo del mio percorso di laurea.

Un grosso ringraziamento va anche a tutto il personale degli uffici del direttivo tecnico di Kohler Engines. I quattro mesi passati nella loro sede per lo sviluppo della mia tesi sono stati di ispirazione per la mia crescita professionale e l'ambiente lavorativo in cui mi sono immerso è stato coinvolgente e umanamente piacevole sin dai primi giorni. Un ringraziamento speciale va soprattutto a Francesca e Luca che mi hanno seguito ed aiutato con lo sviluppo del mio lavoro in azienda.

Ringrazio la mia famiglia per avermi sempre fatto sentire il loro appoggio durante il mio percorso di studi.

Un ultimo ringraziamento ai miei amici più cari che non mi hanno mai fatto mancare il loro supporto e i loro consigli durante questi anni.