

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

TESI DI LAUREA

In

Motori A Combustione Interna E Propulsori Ibridi M

Analisi e sviluppo di algoritmi diagnostici per sonde lambda e catalizzatore al fine di ridurre le emissioni inquinanti di motori ad elevate prestazioni

CANDIDATO:

Sabino Saccone

RELATORE:

Prof. Ing. Nicolò Cavina

CORRELATORI:

Ing. Marco Fabbri

Ing. Filippo Carra

Ing. Marco Cangini

Anno accademico 2018/2019

Sessione III

Indice

Introduzione e obiettivi della tesi	1
--	---

Capitolo 1

Componentistica e cenno alle normative.....	2
---	---

1.1 Sonda lambda.....	3
-----------------------	---

1.2 Catalizzatore Trivalente.....	7
-----------------------------------	---

1.3 Normative e cicli di omologazione.....	9
--	---

Capitolo 2

Diagnosi implementata nella centralina controllo motore e sue criticità...	12
--	----

2.1 Diagnosi Catalizzatore.....	13
---------------------------------	----

2.2 Diagnosi del sistema della centralina controllo motore.....	16
---	----

2.3 Malfunzionamenti delle sonde lambda.....	21
--	----

2.4 Impatto della diagnosi sulle emissioni inquinanti.....	26
--	----

Capitolo 3

Implementazione e analisi modello Simulink.....	32
---	----

3.1 Analisi diagnosi in funzione della portata dei gas di scarico.....	33
--	----

3.2 Descrizione Modello Simulink.....	36
---------------------------------------	----

3.3 Validazione del modello e scelta dei parametri di calibrazione.....	49
---	----

Conclusioni e sviluppi futuri	59
--	----

Fonti bibliografiche e sitografia	60
--	----

Introduzione ed obiettivi della tesi

Il seguente lavoro di tesi è frutto della collaborazione con AlmaAutomotive s.r.l. e Maserati S.p.A., aziende operanti nel settore dell'automotive. L'obiettivo principale è stato quello di analizzare la diagnosi del catalizzatore e delle sonde lambda durante i cicli di guida previsti dalle normative NEDC e WLTP. L'analisi è stata sviluppata con il supporto dei software INCA, Matlab e Simulink. Il fulcro dello studio verte sul riconoscimento dei parametri critici che non permettono la corretta riuscita della diagnosi e come essa impatta sulle emissioni inquinanti. Per individuare le cause del fallimento della diagnosi è stato implementato un modello Simulink in grado di riprodurre le condizioni al contorno necessarie per far sì che la diagnosi giunga a compimento. Mediante tale modello è stato possibile tarare le soglie per ottimizzare il sistema di controllo.

Il capitolo 1 fornisce una panoramica riguardo i componenti coinvolti nella diagnosi del catalizzatore, con un breve cenno sulle normative e sui cicli di guida sui quali viene testata la diagnosi.

Nel capitolo 2 viene descritto dapprima il principio di funzionamento della diagnosi del catalizzatore. In seguito, si entra nel dettaglio dell'implementazione della diagnosi nel sistema della centralina controllo motore (fornitore e costruttore delle centraline montate a bordo delle vetture di produzione Maserati S.p.A.) per motori ad accensione comandata. Successivamente, vengono descritti gli errori sui componenti coinvolti e per i quali viene segnalato un malfunzionamento. Infine, viene analizzato l'impatto della diagnosi sulle emissioni inquinanti, focalizzando l'attenzione sul motivo per cui si riscontra un aumento di alcuni inquinanti rispetto ad altri.

Nel capitolo 3 si riportano dapprima i risultati ottenuti mediante uno script Matlab che analizza le misure ottenute su diversi cicli di guida, al fine di individuare una correlazione tra la durata della diagnosi e la portata dei gas di scarico in ingresso al catalizzatore. Successivamente, viene descritto in maniera dettagliata il modello Simulink implementato, in particolare i blocchi relativi alle condizioni al contorno dalle quali dipende l'attivazione della diagnosi e la sua buona riuscita. Dopodiché, viene preso in considerazione un esempio di ciclo di guida nel quale la diagnosi presenta diversi fallimenti e si mostra come si sono analizzate le variabili per capire quali portano a maggiori criticità. Infine, si riportano i risultati ottenuti grazie alla scelta di parametri di calibrazioni ottimali.

Capitolo 1

Componentistica e cenno alle normative

L'obiettivo principale di questo capitolo è quello di descrivere sinteticamente quali sono i componenti fondamentali utilizzati per la diagnosi del catalizzatore. Non si entrerà nello specifico di informazioni costruttive e si ometteranno descrizioni dettagliate delle reazioni chimiche che coinvolgono il catalizzatore ([1]), ([5]), in quanto esula dagli scopi di questo elaborato di tesi. Si forniranno dei concetti di base e il significato di alcuni termini, per rendere più chiaro il lavoro svolto durante il periodo di tesi.

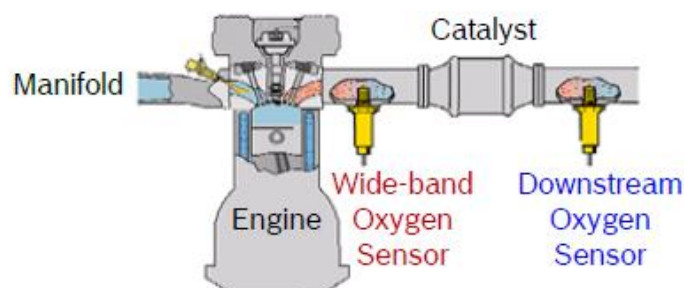


Figura 1.1: (layout condotto di scarico)

In figura 1.1 è evidenziata la posizione dei componenti *Downstream Oxygen Sensor* (sonda lambda HEGO, posizionata a valle del catalizzatore), del *Wide-band Oxygen Sensor* (sonda lambda UEGO, posizionata a monte del catalizzatore) e del *Catalyst* (Catalizzatore trivalente) nel condotto dei gas di scarico del motore. Verrà spiegato il loro principio di funzionamento.

Nella parte finale del capitolo si farà un cenno a quelle che sono le normative e i cicli di omologazione, presi in considerazione per lo studio dell'impatto della diagnosi del catalizzatore sulle emissioni inquinanti.

1.1 Sonda lambda

La sonda lambda è un sensore che viene utilizzato per ottenere informazioni riguardo la composizione dei gas di scarico. Risulta, pertanto, un componente fondamentale per poter controllare il rapporto di miscela (aria/combustibile). Il compito di tale sensore è quello di misurare la concentrazione di ossigeno all'interno dei gas di scarico e di comunicarlo alla centralina, sottoforma di segnale elettrico.

Il rapporto aria/combustibile è identificato da un parametro adimensionale denominato λ , definito dal rapporto:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{A}{F}\right)}{\left(\frac{A}{F}\right)_{st}}$$

dove (A/F) rappresenta il rapporto (kg aria) / (kg benzina) presente in camera di combustione; $(A/F)_{st}$ rappresenta lo stesso rapporto in condizioni stechiometriche. λ assume valore unitario quando la miscela è stechiometrica, < 1 quando vi è un eccesso di combustibile (miscela ricca) e > 1 quando vi è un eccesso di ossigeno (miscela magra).

Ci sono due categorie di sonde lambda utilizzate per il controllo motore: HEGO e UEGO.

La sonda HEGO (figura 1.2), detta anche sonda on/off o isterica, è stato il primo sensore di ossigeno ad essere costruito. Il cuore del sensore è costituito da un elettrolita solido che è separato dalla zona di transito dei fumi da uno strato di materiale ceramico; quest'ultimo è permeabile agli ioni di ossigeno e la temperatura ottima di funzionamento è di circa 600°C.

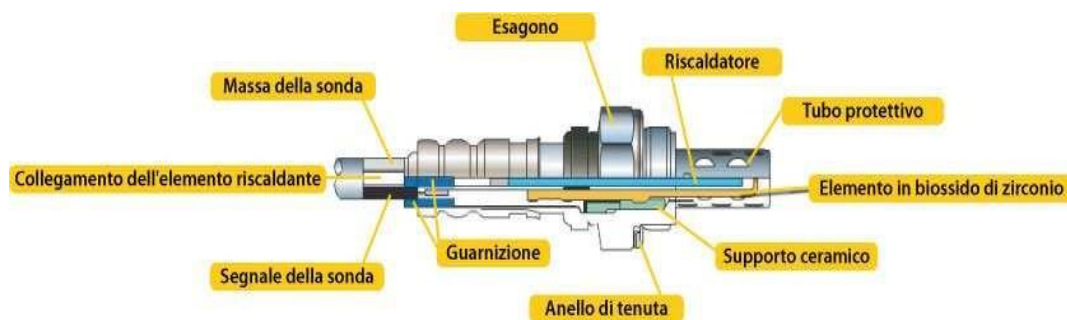


Figura 1.2: Struttura di una sonda HEGO

L'elettrolita fornisce una differenza di tensione (circa 800 mV) quando l'ambiente di misura presenta un titolo grasso ($\lambda < 1$), ovvero quando la differenza di concentrazione di ossigeno tra gas di scarico e aria ambiente è elevata; viceversa la differenza di tensione di assesta attorno ai 100mV quando la miscela presenta un eccesso d'aria ($\lambda > 1$). Il segnale elettrico in uscita dal sensore in funzione di λ , ovvero la sua caratteristica statica, si presenta in questo modo:

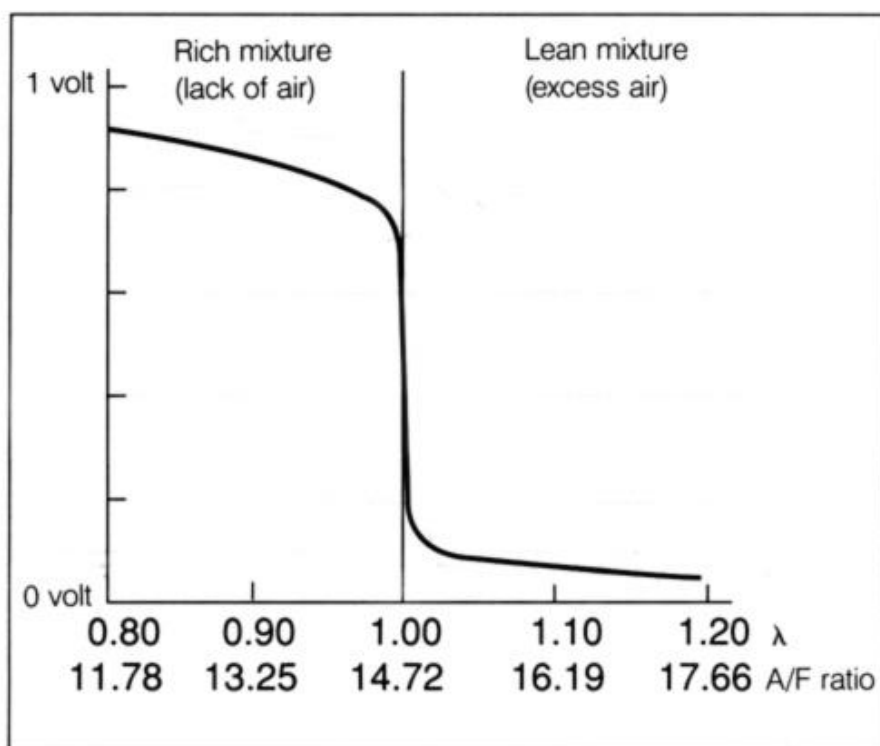


Figura 1.3: Tipica caratteristica statica di una sonda HEGO

Il lato interno del sensore è a contatto con l'aria dell'ambiente (di riferimento), mentre il lato esterno si trova a contatto con i gas combusti. Entrambi i lati sono rivestiti da un sottile strato poroso di platino che funge da elettrodo. L'ossido di zirconio favorisce la transizione degli ioni di ossigeno, permettendo la generazione di un potenziale tra i due elettrodi di platino. Infatti, quando la sonda raggiunge la temperatura di esercizio, gli ioni di ossigeno si spostano all'interno dell'elettrolita generando una differenza di potenziale elettrico. Questa tipologia di sonda offre prestazioni limitate nel controllo del motore, in quanto permette di mantenere efficiente il sistema di controllo del titolo solo per valori stechiometrici poiché non fornisce informazioni precise riguardo il valore di lambda. Viene impiegata come sonda a valle del catalizzatore per la diagnosi.

Per ridurre le emissioni di inquinanti si è reso necessario poter controllare i motori ad accensione comandata anche al di fuori del campo di funzionamento in condizioni stechiometriche. Per far fronte a tale necessità è stata sviluppata la sonda UEGO (figura 1.4), detta anche sonda lineare o a banda larga, la quale è in grado di misurare con maggiore precisione le variazioni di concentrazione di ossigeno all'interno dei gas di scarico. In particolare, essa è in grado di fornire un segnale proporzionale alla quantità di ossigeno residuo nei gas di scarico per un ampio range di λ , permettendo controlli in catena chiusa anche con lambda non stechiometrici ($\lambda \neq 1$).

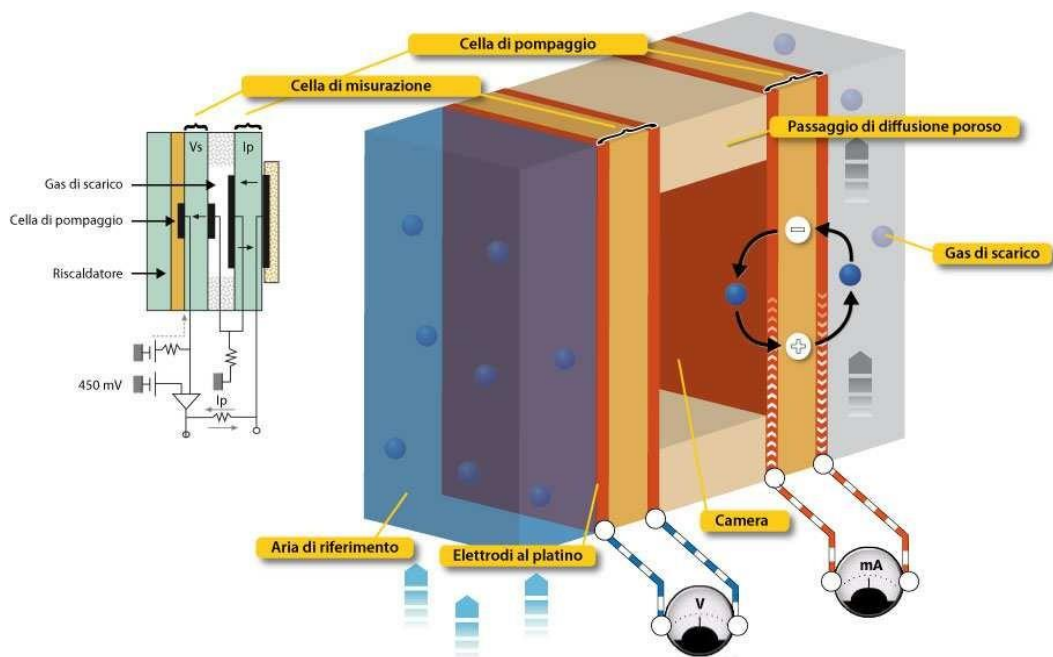


Figura 1.4: Struttura di una sonda UEGO

Il sensore è costituito da due celle, una di misura e una di pompaggio. Con l'ausilio della cella di misura, il tenore di ossigeno del gas di scarico che si trova nella camera di rilevazione viene misurato e confrontato con un valore nominale di 450 mV, per determinare se la miscela analizzata è grassa o magra. In caso di divergenza da questo valore, mediante l'attivazione di un flusso di pompaggio positivo o negativo (rispettivamente per miscela magra o ricca) sull'apposita cella, vengono pompate ioni di ossigeno in entrata o in uscita dalla camera di rilevazione, finché il valore della tensione della cella di misurazione non corrisponde nuovamente a 450 mV. La corrente pompata (I_p) (figura 1.5) è la grandezza di misura che descrive in modo lineare l'esatto valore della concentrazione di ossigeno della miscela e quindi del titolo.

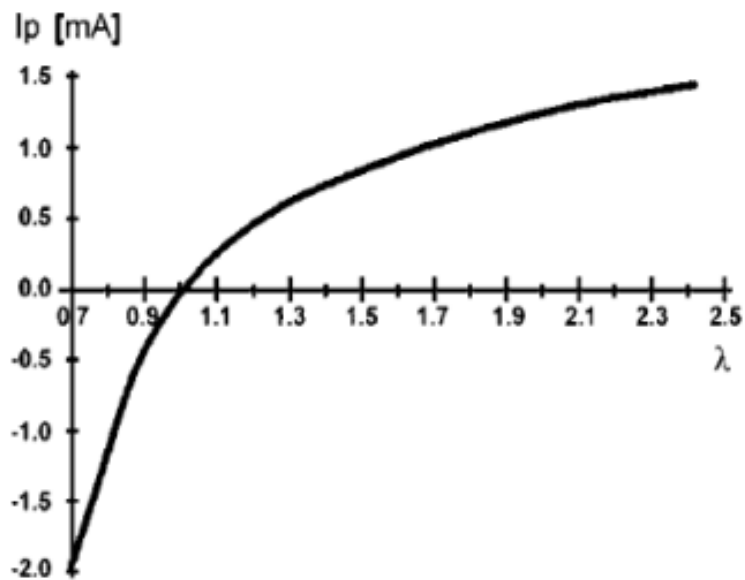


Figura 1.5: Tipica caratteristica di una sonda UEGO

Solitamente il segnale viene convertito in una tensione facendo circolare la corrente pompata all'interno di una resistenza elettrica di caratteristiche note. Tale sonda rappresenta un'evoluzione della precedente, difatti è come una sonda HEGO insieme ad un sistema di controllo che pompa corrente in una camera di misura. Analogamente alla precedente anche la sonda UEGO ha una temperatura ottima di esercizio (circa 650°C). Tale sonda è posizionata a monte del catalizzatore per controllare il titolo della miscela in maniera tale che la composizione dei gas di scarico in entrata al catalizzatore lo facciano lavorare nel range di massima efficienza.

1.2 Catalizzatore Trivalente

Il catalizzatore trivalente, TWC (*Three Way Catalyst*), ha un ruolo fondamentale per la riduzione delle emissioni inquinanti al fine di rispettare le normative. Il motore, in condizione di combustione ideale, genererebbe allo scarico unicamente CO_2 e H_2O . In una combustione reale i gas uscenti dai cilindri non hanno raggiunto l'equilibrio chimico o hanno subito reazioni chimiche diverse da quella ideale, e ciò porta alla formazione di inquinanti come HC, CO e NO_x (e particolato ([1]), che non verrà considerato in questo ambito in quanto il focus è sul catalizzatore trivalente).



Figura 1.6: Catalizzatore trivalente

A tal proposito il TWC è il sistema di post trattamento utilizzato poiché, mediante il principio della catalisi chimica, permette di ossidare CO e HC e allo stesso tempo ridurre gli ossidi di azoto (NO_x). Ciò è possibile controllando il valore di λ a monte del catalizzatore.

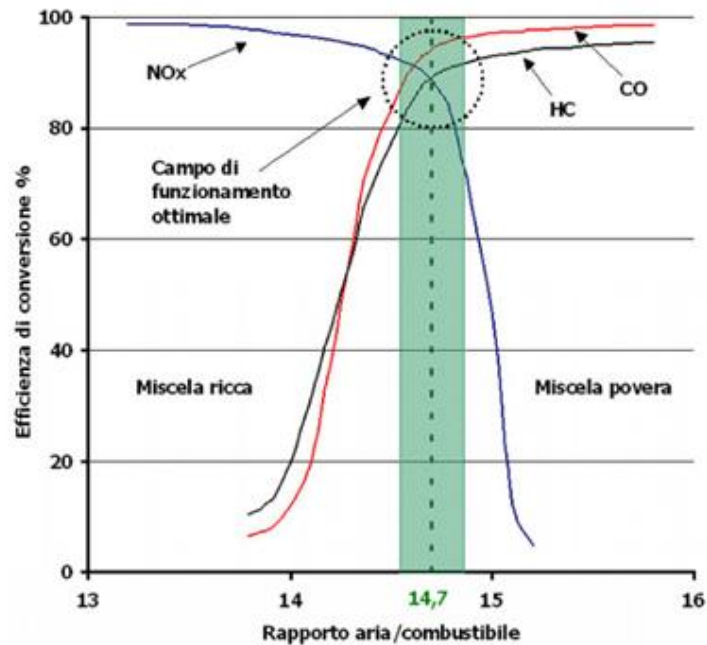


Figura 1.7: Efficienza di conversione in funzione di λ

Per quanto riguarda l'ossidazione di HC e CO, esso necessita di un λ leggermente magro per sfruttare la presenza di ossigeno; d'altra parte, ciò va a sfavorire le reazioni di riduzione dei NOx, che necessitano un λ a monte del catalizzatore ricco poiché si ha la massima efficienza di riduzione in assenza di ossigeno. Ciò porta a lavorare con un controllo che moduli il valore di λ attorno ad 1, alternando leggere variazioni in magro e in grasso e sfruttando la capacità di immagazzinare e rilasciare ossigeno del catalizzatore (figura 1.7). Per poter lavorare con la massima efficienza di abbattimento delle emissioni inquinanti, è necessario garantire una soglia di temperatura minima che il catalizzatore deve raggiungere, tipicamente intorno ai 250-300 °C. Lo stato di efficienza di un catalizzatore si misura in quantità di aria che riesce ad immagazzinare. Tale capacità è rappresentata dal calcolo dell'OSC (Oxygen storage Capacity).

Il calcolo utilizzato è il seguente:

$$OSC = \dot{m}_A \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot \Delta t \cdot 63.89$$

\dot{m}_A = portata di aria entrante nel sistema in $\frac{kg}{h}$.

λ = rapporto aria fuel normalizzato della miscela durante il calcolo dell'OSC.

Δt = tempo che intercorre tra la lettura della sonda a monte del catalizzatore di un valore di $\lambda > 1$ e la consecutiva lettura di un valore di tensione basso della sonda a valle del catalizzatore che indichi il passaggio a miscela magra.

63.89 = fattore di conversione da $\frac{kg}{h}$ a $\frac{mg}{s}$ inclusivo anche del fattore 0.23% di percentuale in massa dell'ossigeno contenuto nell'aria.

Il catalizzatore viene installato nel primo tratto del sistema di scarico. È costituito da un involucro esterno metallico che guida i gas combusti attraverso un letto di catalisi, in cui vengono a contatto con materiale attivo distribuito su una vasta area, in modo da favorire l'adsorbimento dei reagenti gassosi. In genere si utilizza un supporto poroso (monolite ceramico a celle passanti o supporto in lamiera di acciaio fittamente pieghettata e avvolta) sulla cui superficie viene depositato un materiale refrattario ad alta porosità (*washcoat*, in genere a base di allumina, cerio e zirconio), a sua volta impregnato di materiale catalizzante. Quest'ultimo è una combinazione di tre metalli nobili: Palladio e Platino, per catalizzare le reazioni di ossidazione di HC e CO, e Rodio, per catalizzare le reazioni di riduzione dei NOx. La quantità di metalli attivi presenti nel catalizzatore è circa l'1-2% in peso rispetto al *washcoat*.

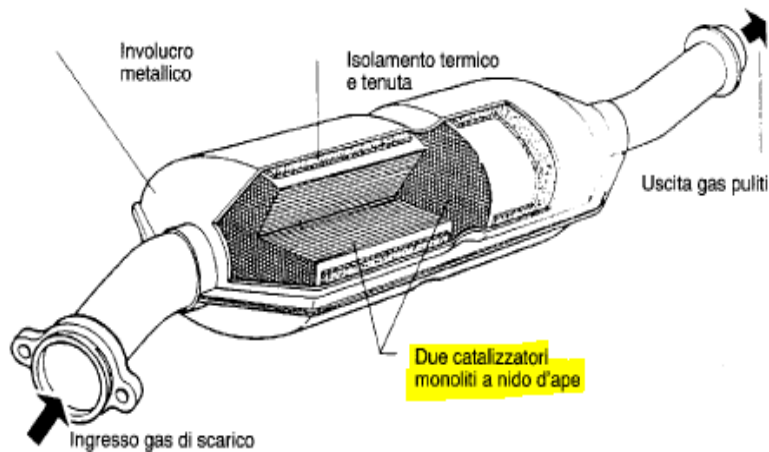


Figura 1.8: Esempio di struttura interna di un catalizzatore

1.3 Normative e cicli di omologazione

Con il termine “emissioni”, nel caso di autoveicoli, si intende tutto ciò che è contenuto nei gas di scarico di un motore a combustione interna, ossia i prodotti di combustione completa o incompleta. I principali gas inquinanti ritenuti dannosi e oggetto di limitazione dalle normative imposte dai Governi di alcuni paesi sono:

- il monossido di carbonio (CO);
- gli idrocarburi incombusti (HC);
- gli ossidi di azoto (NO_x);
- Particolato (SOOT);

La normativa OBD (On Board Diagnostics), introdotta per la prima volta in America, prevede un'autodiagnosi dei componenti della vettura che, se non funzionanti in maniera ottimale, comportano un aumento significativo delle emissioni inquinanti. Tale autocontrollo prevede la presenza di una spia sul quadro strumenti (MIL- Malfunction Indicator Lamp) che segnala il malfunzionamento dei componenti oggetto della diagnosi. In tale normativa si colloca la diagnosi del catalizzatore e delle sonde lambda. Inoltre, la normativa OBD ([2]) prevede anche la definizione di un indice denominato IUMPR (In use monitoring performance ratio) che definisce la frequenza delle diagnosi nell'uso quotidiano del veicolo.

Per misurare le emissioni inquinanti di un'auto e poterle comparare con quelle di altre vetture nelle stesse condizioni d'uso (o con i limiti di emissioni imposti dalle normative) si utilizzano particolari test, i cosiddetti “cicli di omologazione”. All'interno di questi cicli di guida è necessario che avvengano anche le diagnosi definite dall' OBD. La vettura viene guidata seguendo un tracciato che fissa in modo rigoroso, istante per istante, la velocità da mantenere e la marcia del cambio da utilizzare. Al terminale dell'impianto di scarico viene collegata un'attrezzatura che consente di raccogliere i gas combusti in appositi sacchi, a seguito di un processo di diluizione che simula l'immissione in atmosfera. Successivamente l'analisi chimica di questi gas permette di individuare la quantità, in grammi, di ogni elemento inquinante; tale valore viene poi rapportato alla lunghezza del percorso, ottenendo così la quantità di sostanza inquinante mediamente emessa per chilometro, espressa in g/km.

I dati sui quali è stata effettuata l'analisi fanno riferimento a due tipi di cicli di omologazione, il NEDC (“*New European Driving Cycle*”) e il WLTC (“*Worldwide harmonized light vehicles test Cycles*”).

Il ciclo NEDC è costituito dalla ripetizione di quattro cicli urbani alla velocità massima di 50 km/h e uno finale Extra-Urbano alla velocità massima di 120 Km/h (fig. 1.9).

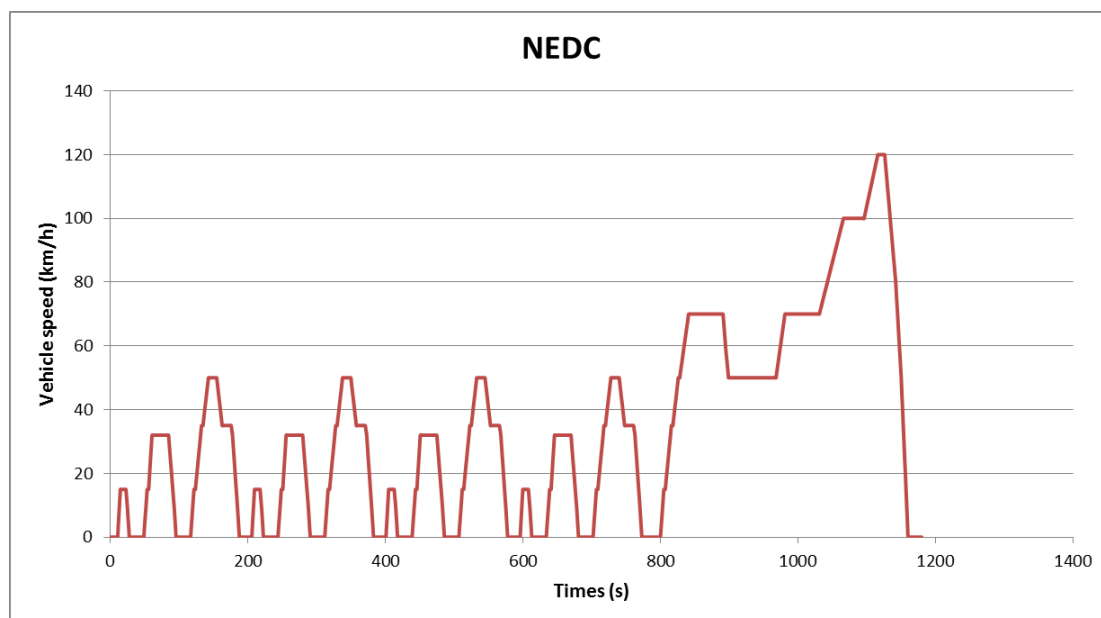


Figura 1.9: Ciclo di omologazione NEDC

Tale ciclo ha lo scopo di rappresentare l'uso tipico di una vettura in Europa. La durata complessiva del ciclo è di 1180 secondi e la distanza percorsa di 11.023 Km. L'ultimo aggiornamento riguardante tale ciclo di omologazione risale al 1997 per tale motivo è stato criticato di non essere abbastanza fedele alla riproduzione di condizioni e stili di guida reali.

Di conseguenza è stato sostituito il 1° Settembre 2017 dal ciclo WLTC figura 1.10

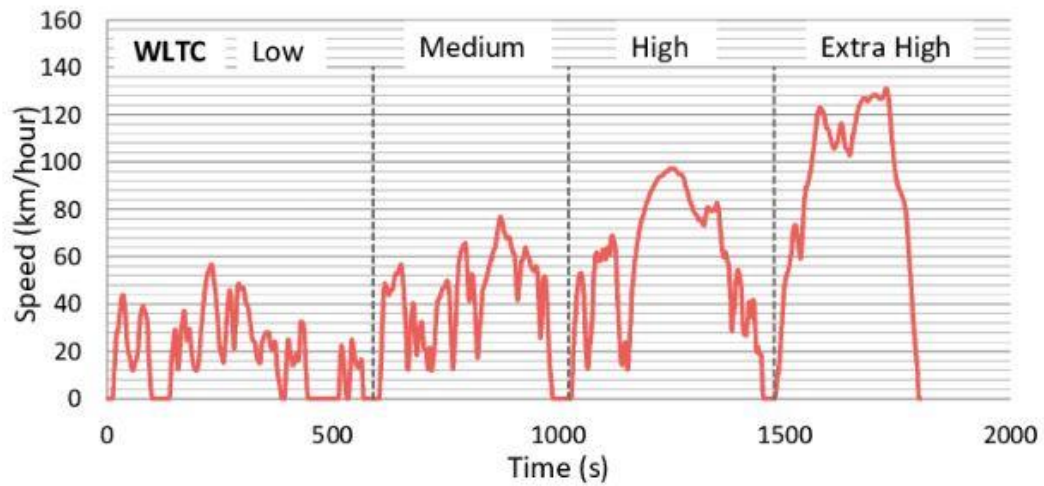


Figura 1.10: Ciclo di omologazione WLTC

Il ciclo WLTC è più severo in termini di emissioni poiché rispecchia molto di più una guida reale. I km da percorrere sono 23.25, la velocità media è più alta e anche la velocità massima è di 131 km/h, così come le accelerazioni. Come visibile in figura 1.10, esso rappresenta un ciclo con un andamento della velocità più vario.

Capitolo 2

Diagnosi implementata nella centralina controllo motore e sue criticità

L'obiettivo di questo capitolo è quello di descrivere dapprima il principio di funzionamento generale della diagnosi del catalizzatore. Dopodiché, si descrive in maniera dettagliata l'algoritmo di diagnosi implementato nella centralina control, le relative criticità che si possono verificare sui componenti che entrano in gioco e l'impatto sulle emissioni inquinanti dovuto all'azione intrusiva della diagnosi. Il primo paragrafo, dunque, è dedicato alla spiegazione delle condizioni al contorno necessarie perché la diagnosi possa essere realizzata e della strategia con la quale viene effettuata la stessa. Nel secondo paragrafo ci si sofferma sugli errori di misura che si possono presentare nel sistema, derivanti dalle dinamiche di risposta delle sonde lambda e dal calcolo dell'OSC (Oxygen Storage Capacity) del catalizzatore. Infine, l'ultimo paragrafo descrive l'impatto della diagnosi sulle emissioni inquinanti, cercando di illustrare perché si pone maggiore attenzione su alcuni inquinanti rispetto ad altri.

2.1 Diagnosi del catalizzatore

La diagnosi del catalizzatore consiste nel valutare lo stato di affidabilità e di efficienza di abbattimento degli inquinanti con l'invecchiare del componente. Esso infatti è un componente che a bordo di una vettura ha un peso economico rilevante ed è necessario che la sua vita utile sia maggiore di quella del veicolo stesso, per evitare di sostituirlo e per evitare che le vetture abbiano emissioni inquinanti che non rispettino i limiti imposti da normativa. L'invecchiamento del catalizzatore comporta una perdita di capacità di immagazzinare ossigeno. Un catalizzatore nuovo immagazzina una certa quantità di mg di O₂. Con la riduzione di tale capacità, il sistema di controllo implementato non è più adatto a garantire emissioni basse. Lo scopo della diagnosi è quello di misurare la capacità residua del componente. A tal fine, si utilizzano due sonde lambda, una a monte e una a valle del catalizzatore. L'efficienza del catalizzatore non dipende solo dalla sua capacità di immagazzinare ossigeno ma anche dalla temperatura alla quale si trova. La diagnosi viene quindi effettuata a catalizzatore caldo (circa 700°C). Per permettere la misurazione di mg di ossigeno che il catalizzatore può immagazzinare esso viene svuotato di O₂ e poi riempito con una quantità nota di ossigeno. Prima di spiegare come il catalizzatore viene svuotato e riempito di O₂ bisogna fare delle precisazioni sul comportamento dei sensori lambda. Come già detto il motore lavora con un titolo di miscela che oscilla leggermente attorno al valore stechiometrico. Nel momento in cui il controllo provvede a cambiare il lambda target, mediante un gradino ad un valore di lambda minore o maggiore di 1, gli effetti non saranno visibili immediatamente sulla sonda a monte catalizzatore ma risulteranno filtrati, a causa della dinamica della sonda UEGO. La sonda lambda a valle catalizzatore rileverà il cambio di titolo dopo un tempo ancora maggiore, dovuto al fatto che bisogna aspettare un tempo di trasporto dei gas di scarico (tempo che i gas arrivino alla sonda a valle) e al fatto che il catalizzatore immagazzina una parte dell'ossigeno presente nei gas (o lo rilascia), fungendo così da filtro. Tale diagnosi è intrusiva, dal momento che disturba il funzionamento del motore stesso. Inoltre, negli intervalli di tempo in cui si effettua la diagnosi, le emissioni inquinanti sono più alte poiché si esce dalle condizioni ottimali di funzionamento del catalizzatore.

La figura 2.1 mostra, in via del tutto generica, l'andamento dei segnali delle sonde lambda ai gradini imposti dal sistema necessari ad effettuare lo svuotamento e il riempimento del catalizzatore.

Ad un certo istante " t_R ", viene forzato un gradino di λ_T (lambda target) in grasso (minore di 1), la sonda a monte misurerà tale cambiamento di titolo con un ritardo dato da $(t_{MR} - t_R)$ e la sonda a valle effettuerà lo switch del segnale, da stechiometrico a grasso, dopo un tempo ancora maggiore $(t_{VR} - t_R)$. La differenza di tempi di risposta tra la sonda a monte e quella a valle è dovuta al fatto che tra loro è interposto il catalizzatore che funge da filtro. L'intervallo $(t_{VR} - t_{MR})$ è il tempo necessario allo svuotamento di ossigeno del catalizzatore, poiché dall'istante in cui la sonda monte misura un titolo grasso l'ossigeno presente nel catalizzatore sarà utilizzato per le ossidazioni di HC e CO fino al suo esaurimento. Lo svuotamento del catalizzatore sarà indicato da t_{VR} che indica, l'istante in cui la sonda lambda a valle misura un titolo grasso, e significherà che il catalizzatore sarà vuoto di ossigeno. Da questo momento in poi il controllo porterà, con un gradino, il λ_T (lambda target) ad un valore maggiore di 1, magro (t_L).

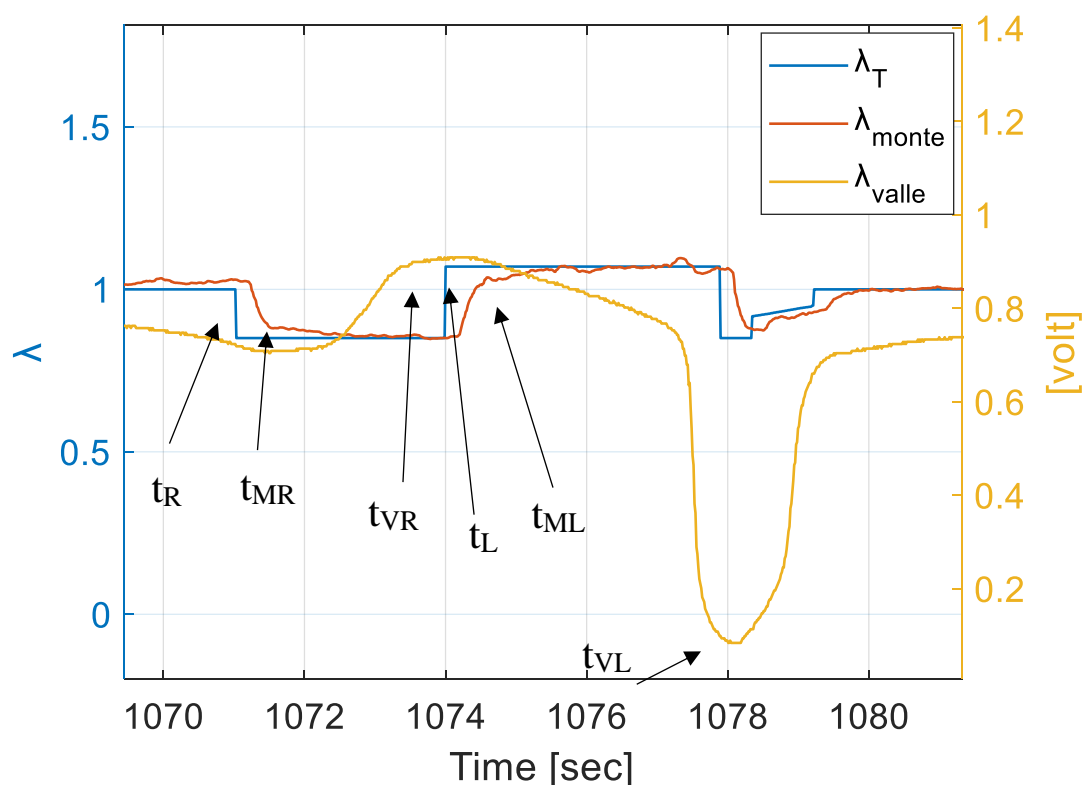


Figura 2.1: Andamento lambda target e misurato durante una diagnosi

Analogamente a quanto succede nel gradino in grasso la sonda monte misurerà un

valore del titolo maggiore di 1 ad un istante di tempo t_{ML} . Da tale istante il catalizzatore comincia ad immagazzinare ossigeno in eccesso fino a quando non sarà pieno. Il tempo di riempimento del catalizzatore è definito dall'intervallo di tempo ($t_{VL} - t_{ML}$). Infatti, t_{VL} rappresenta l'istante di tempo in cui la sonda a valle misurerà un segnale di tensione che indica che i gas di scarico in uscita dal catalizzatore hanno una composizione con eccesso di ossigeno, ciò significa che il catalizzatore non riesce più ad immagazzinare ossigeno (non filtra) poiché pieno. Grazie alle informazioni fornite dalle sonde lambda possiamo calcolare la quantità di ossigeno che può immagazzinare il catalizzatore poiché è definito in maniera esatta l'intervallo temporale durante il quale il catalizzatore immagazzina ossigeno.

Utilizzando il calcolo dell'OSC del catalizzatore (Pag. 8) si può valutare se il componente ha un'efficienza superiore alla soglia minima. Per come è concepita la diagnosi, a valle viene utilizzata una sonda HEGO poiché ci interessa solamente la transizione da grasso a magro e viceversa. Ciò comporta un risparmio in termini economici dato che una sonda UEGO è più costosa.

2.2 Diagnosi del sistema della centralina controllo motore

Per quanto riguarda il controllo implementato nella centralina controllo motore, oggetto di studio di questo lavoro di tesi, la diagnosi viene eseguita attraverso le seguenti modalità.

Essa viene chiamata “Parallelizzazione” dal momento che vengono analizzati simultaneamente lo stato della sonda UEGO a monte, del catalizzatore stesso e della sonda HEGO a valle. Essa viene effettuata montando in vettura un catalizzatore vecchio per valutarne lo stato di affidabilità ed efficienza dopo un certo tempo di utilizzo noto. Nell’algoritmo di controllo vi è una macchina a 5 stati che decide come operare la diagnosi. La diagnosi viene effettuata durante il ciclo di guida solo nel caso in cui le condizioni al contorno fisiche siano verificate. Esse sono:

- Condizioni globali, legate al funzionamento del motore, del veicolo e a parametri inerenti alle condizioni ambientali.
- Condizioni legate alla portata dei gas di scarico in ingresso al catalizzatore.
- Condizioni legate alla temperatura alla quale lavora il catalizzatore.
- Condizioni legate all’avviamento, nel quale vengono prese in considerazione portata dei gas di scarico, temperatura, e affidabilità delle misure delle sonde lambda ad inizio ciclo.
- Condizioni legate allo spurgo del canister.

Se il sistema verifica la contemporanea presenza delle condizioni al contorno sopracitate la diagnosi può procedere. Inoltre, tali condizioni devono rimanere vere per tutta la durata dell’operazione. Qualora durante il processo di diagnosi anche una sola delle condizioni non sia verificata, il sistema abortisce il tentativo di diagnosi in corso e provvederà a cominciarne uno nuovo quando saranno nuovamente verificate tutte le condizioni.

Nella figura 2.2 si illustra lo schema dell'algoritmo implementato nella centralina controllo motore.

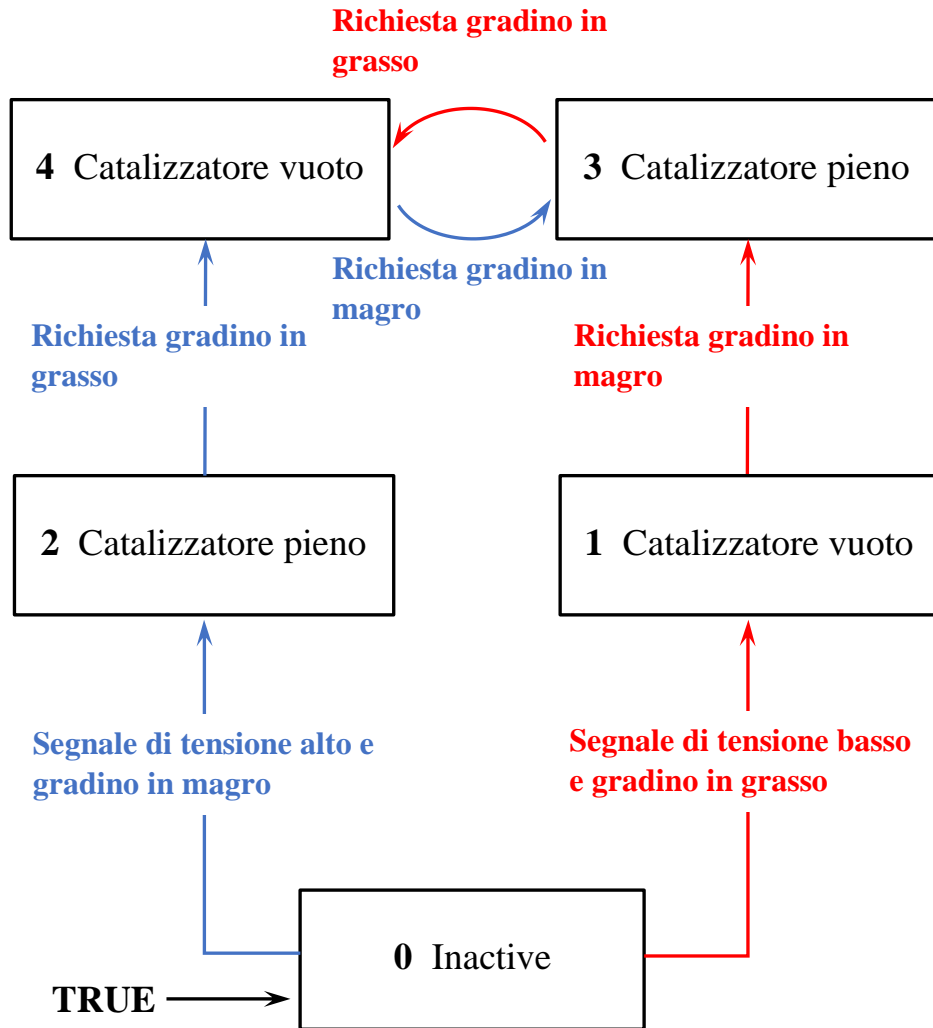


Figura 2.2: Macchina a stati

La macchina a stati si trova nello stato di inattività quando i flag associati alle condizioni al contorno non sono verificati. Nel momento in cui il bit del flag di attivazione si trova su “TRUE”, viene attivata la diagnosi e il sistema valuta il segnale di tensione della sonda a valle del catalizzatore per decidere la direzione del primo gradino di λ_T da fornire. In generale se la sonda HEGO a valle del catalizzatore misura un segnale di tensione molto alto significa che il catalizzatore è vuoto di ossigeno poiché il titolo è molto ricco, e la diagnosi partirà con un gradino in magro (senso orario). Viceversa, se il segnale di tensione sarà molto basso significa che il catalizzatore è già pieno di ossigeno poiché il titolo in generale è magro, in questo caso si richiede un gradino in grasso (senso antiorario).

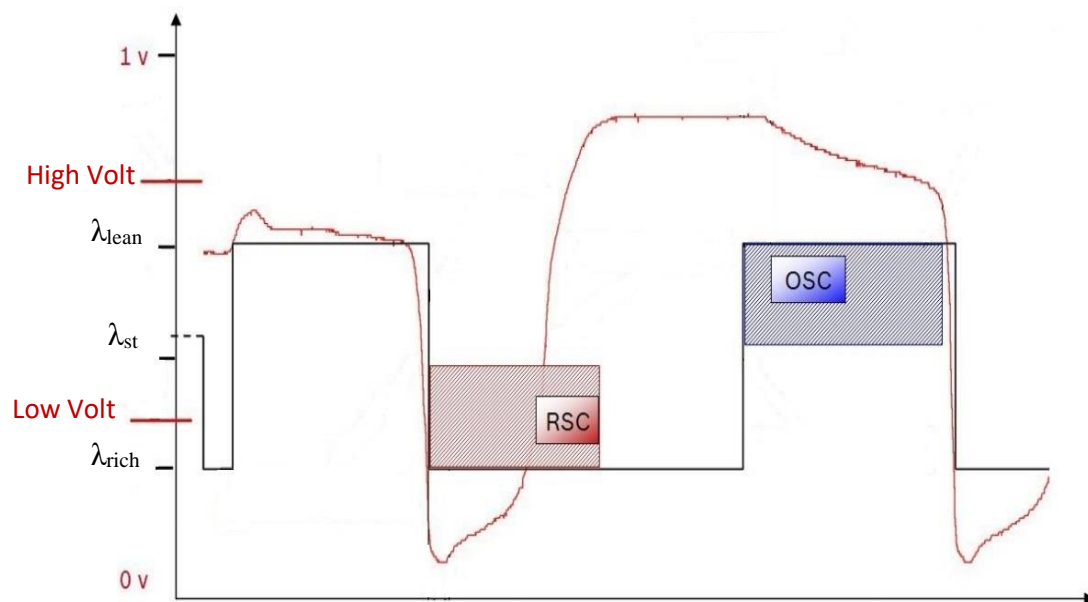


Figura 2.3: Caso 1

- In figura 2.3 è mostrato l'andamento del lambda target e della tensione della sonda lambda a valle nel caso in cui il segnale elettrico misurato in Volt sia molto alto, superiore ad una soglia prestabilita. Ciò significa che la miscela è molto ricca ($\lambda < 1$) e quindi si presume che il catalizzatore sia vuoto di ossigeno. In questo caso il sistema di controllo forza un gradino di lambda target in magro per riempire di ossigeno il catalizzatore. Questo step nella maggioranza dei casi è solo una fase di pre-condizionamento; in altri termini il sistema non misura l'OSC e i tempi di risposta delle sonde lambda nella transizione da grasso a magro. Una volta raggiunta una soglia di tensione del sensore a valle bassa, per la quale si è certi che il catalizzatore sia pieno di ossigeno, viene forzato un gradino in grasso. In questo caso vengono analizzati dal sistema i tempi di risposta dinamica dei sensori a monte e valle del catalizzatore nella transizione del titolo LtR (lean to rich) da magro a grasso. Il sistema di controllo aspetta di misurare una tensione abbastanza alta da confermare che il catalizzatore sia vuoto di ossigeno e viene forzato nuovamente un gradino in magro. In questo caso vi è un'analisi delle sonde analoga alla precedente ma considerando lo switch RtL (rich to lean) da grasso a magro, valutando i tempi di risposta delle due sonde. In contemporanea comincia il calcolo dell'OSC. La diagnosi si conclude dopo che la sonda a valle vede una condizione di magro, con uno spurgo del catalizzatore dall'ossigeno in eccesso per riportare il lambda di funzionamento a valori che permettano l'utilizzo del catalizzatore in condizioni di massima efficienza. In figura è rappresentato l'RSC (Rich storage capacity) del catalizzatore, esso viene calcolato in maniera analoga all'OSC prendendo

in considerazione la parte di fuel presente nei gas di scarico invece dell'ossigeno. Ai fini della diagnosi implementata nella centralina motore l'RSC non viene preso in considerazione. Nel caso in cui il segnale della sonda a valle del catalizzatore non è così alto da superare la soglia per la quale ci si trovi nel caso appena descritto, il sistema forzerà un gradino in grasso per essere certi di non avere residui di O_2 nel catalizzatore che potrebbero falsare la misura dell'OSC. Tale scenario segue gli step che saranno spiegati di seguito inerenti al caso in cui il segnale elettrico sia molto basso (figura 2.4).

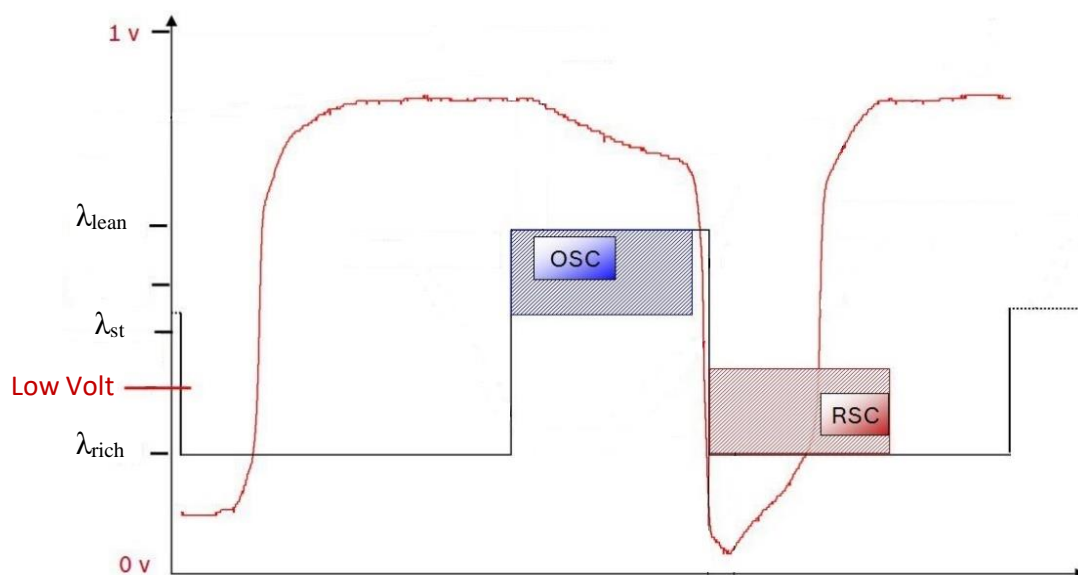


Figura 2.4: Caso 2

- In figura 2.4 è mostrato il caso in cui il segnale elettrico della sonda misurato in Volt è basso (miscela magra). Il sistema forza un gradino di lambda grasso per svuotare di O_2 il catalizzatore. Non appena la sonda a valle vede un valore di tensione abbastanza alto da essere certi di avere il catalizzatore vuoto di ossigeno segue un gradino in magro. In tale istante comincia l'analisi della dinamica delle sonde per la transizione RtL, e il calcolo dell'OSC. In seguito al raggiungimento del valore di tensione per il quale il catalizzatore viene valutato pieno di ossigeno, il sistema procede con un gradino di lambda in grasso per l'analisi dei tempi di risposta delle sonde alla transizione LtR. Anche in questo caso la diagnosi si conclude con una fase di spurgo del catalizzatore dall'ossigeno in eccesso per riportare il lambda target a valori di funzionamento che assicurano le condizioni di massima efficienza del catalizzatore.

Nel caso specifico dei motori presi in analisi, la diagnosi avviene sempre seguendo la seconda strada. Questo perché ci si trova sempre nella condizione di miscela

stechiometrica e di conseguenza con un valore di tensione della sonda a valle non troppo elevato. In figura 2.5 è rappresentato lo stato della macchina che segue la sequenza 0-1-3-4, corrispondente ad una direzione antioraria della figura 2.2 e ad un funzionamento che rispecchia il caso 2 appena descritto.

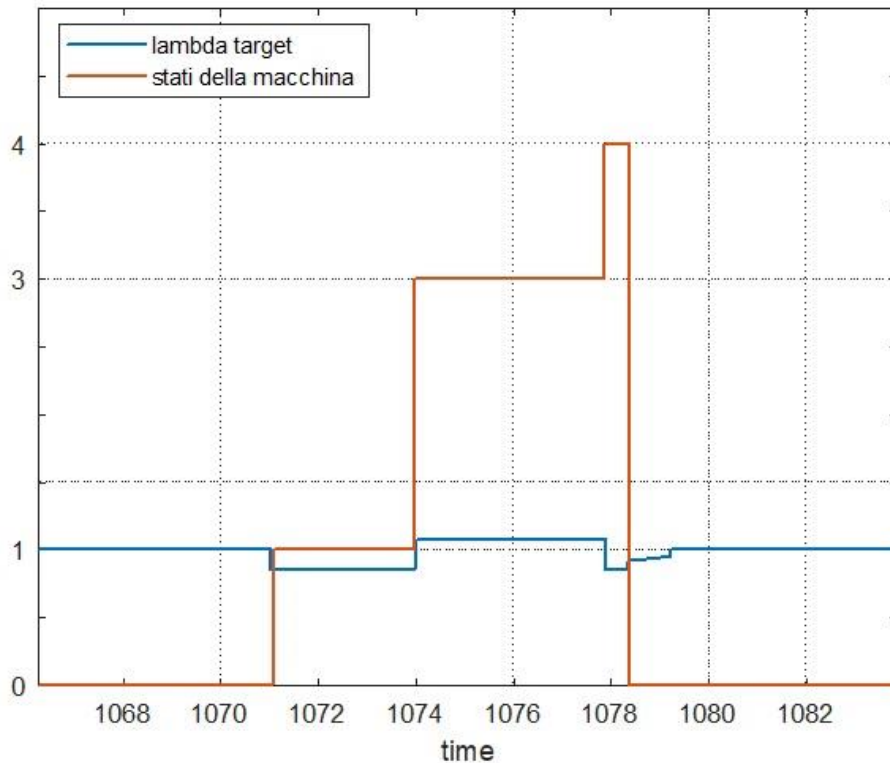


Figura 2.5: Stati della macchina in diagnosi

Una volta conclusa la diagnosi, il sistema valuta la risposta dinamica delle sonde per accertarsi che i tempi non siano maggiori a delle soglie stabilite. Nel caso in cui tali limiti non vengano rispettati, vengono settati degli errori sulle lambda e la diagnosi viene considerata fallita e la misura di OSC non valida. In questo caso si provvederà alla sostituzione della sonda incriminata del malfunzionamento. D'altra parte, se non vengono settati tali errori il controllo valuta la misura dell'OSC per capire lo stato di efficienza del catalizzatore. Tale misura va confrontata con una soglia minima che indica se il componente è ancora utilizzabile. In tutti i casi di diagnosi negativa (OSC sottosoglia) viene accesa la spia MIL che indica che c'è un malfunzionamento nei componenti.

2.3 Malfunzionamenti delle sonde lambda

Per quanto concerne i segnali della sonda a monte e di quella a valle del catalizzatore, essi sono affetti da ritardi nella risposta. Tali ritardi possono essere:

- Ritardi di delay (ritardo della risposta)
- Ritardi di slow transition (lentezza nelle transizioni LtR e RtL)

Quando viene fatta una diagnosi il sistema di controllo valuta se vi sono malfunzionamenti sulle sonde lambda poiché questi possono condizionare il calcolo dell'OSC. In altri termini, il valore del calcolo potrebbe essere falsato da risposte dinamiche troppo lente e per tal motivo non valide ai fini della valutazione dello stato di affidabilità del catalizzatore.

Per quanto riguarda la sonda a monte del catalizzatore, nella figura 2.6 si evincono i due tipi di ritardi alla risposta dinamica del sensore.

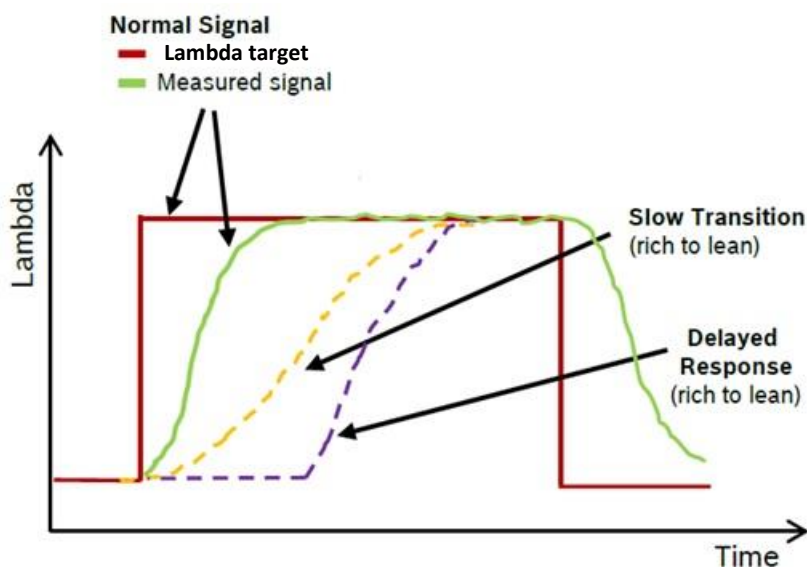


Figura 2.6: Errori nella sonda a monte

Quando viene imposto un gradino di lambda target (segnale rosso), ci si aspetta una risposta del sensore per il segnale da esso misurato con un andamento simile al segnale verde. Tale risposta può essere affetta da un ritardo anomalo sul tempo di transizione da un titolo di miscela ricco ad uno magro; in altri termini la sonda impiega troppo tempo a misurare il cambiamento di titolo.

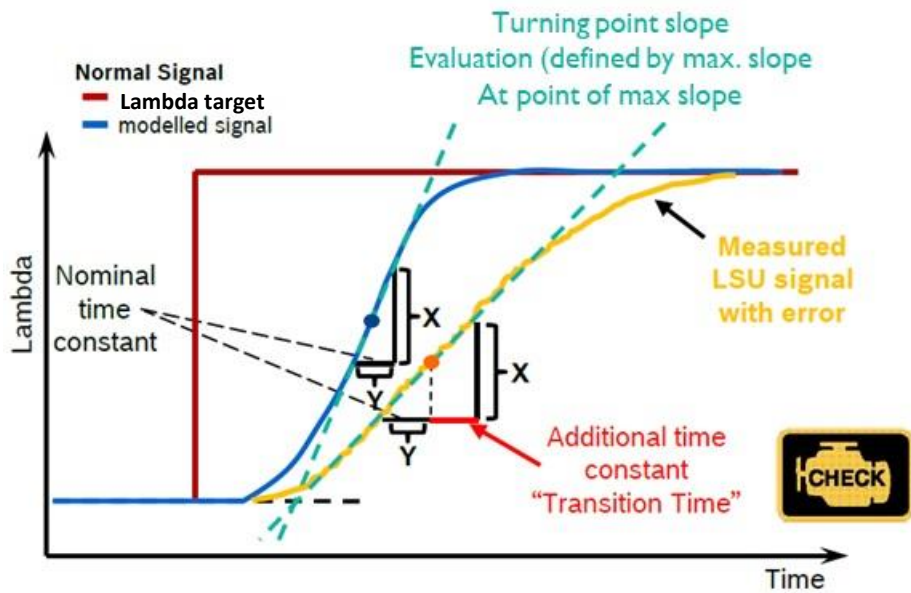


Figura 2.7: Errore di slow transition sonda a monte

Considerando la sonda come un sistema del primo ordine, il controllo calcola la derivata della curva nel punto di massima pendenza. Se tale derivata è minore della pendenza nominale significa che il ritardo di risposta della sonda è troppo grande, e di conseguenza viene settato un errore in centralina.

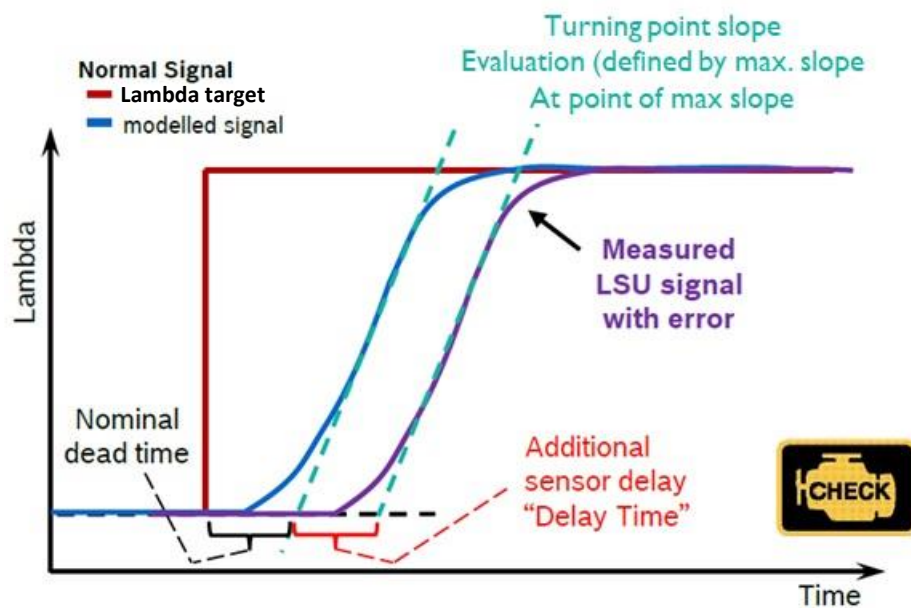


Figura 2.8: Errore di delay sonda a monte

La figura 2.8 mostra il secondo tipo di ritardo che si può riscontrare nella misura effettuata dal sensore di monte. La sonda comincia a misurare l'inizio del cambio di titolo dopo un certo tempo di ritardo rispetto al segnale nominale. La pendenza massima della curva, valutata tramite la derivata prima, è maggiore o uguale al valore nominale ma il punto di flesso si riscontra dopo un certo tempo. Analogamente alla valutazione precedente, se tale ritardo risulta essere maggiore di una certa soglia la centralina setta un errore e il calcolo dell'OSC risulta non essere valido.

Per quanto concerne il sensore a valle del catalizzatore si possono presentare le stesse tipologie di errori di misura.

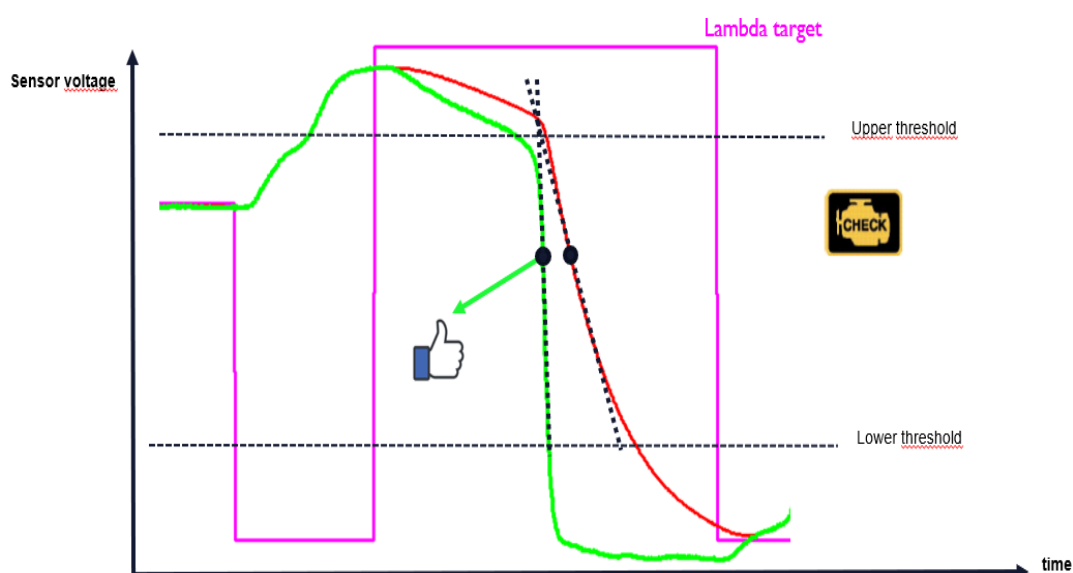


Figura 2.9: Ritardo di risposta di slow transition sonda a valle

In figura 2.9 è presentata la differenza tra una sonda “sana” (verde) e una affetta da un malfunzionamento (rosso). Il sistema di controllo misura il massimo gradiente del segnale in Volt e viene calcolato il tempo di transizione per andare da un voltaggio alto (Upper threshold, che indica un titolo grasso) ad un voltaggio basso (Lower threshold, che indica un titolo magro). Se tale tempo di transizione risulta essere maggiore di una certa soglia, viene settato un errore in centralina.

Per quanto riguarda la misura del ritardo di delay della sonda a valle (figura 2.10), viene valutato il tempo di risposta prendendo in considerazione come inizio la “discesa” del voltaggio del segnale (quando la sonda a valle comincia a “vedere” il cambio di titolo). La misura comincia al massimo valore in Volt del segnale, in questo istante vengono calcolati due tempi (T1 e T2). Il calcolo del tempo T2 termina quando il segnale ha raggiunto un $\Delta V2$ definito e, analogamente, il calcolo del tempo T1 quando si

raggiunge un $\Delta V1$. Il controllo, a questo punto, calcola il gradiente in tale intervallo di tempo con l'obiettivo di ottenere un fattore di correzione per il tempo di ritardo. In seguito, viene sottratto al tempo $T1$ il fattore di correzione ottenendo così il ritardo (Delay time). Nel caso del segnale rosso il ritardo calcolato risulta essere troppo elevato. Ciò comporterebbe un ritardo significativo e non accettabile nel misurare un voltaggio basso (titolo magro). In questo caso viene settato un errore in centralina per il quale è necessario rivedere lo stato di affidabilità della sonda a valle del catalizzatore.

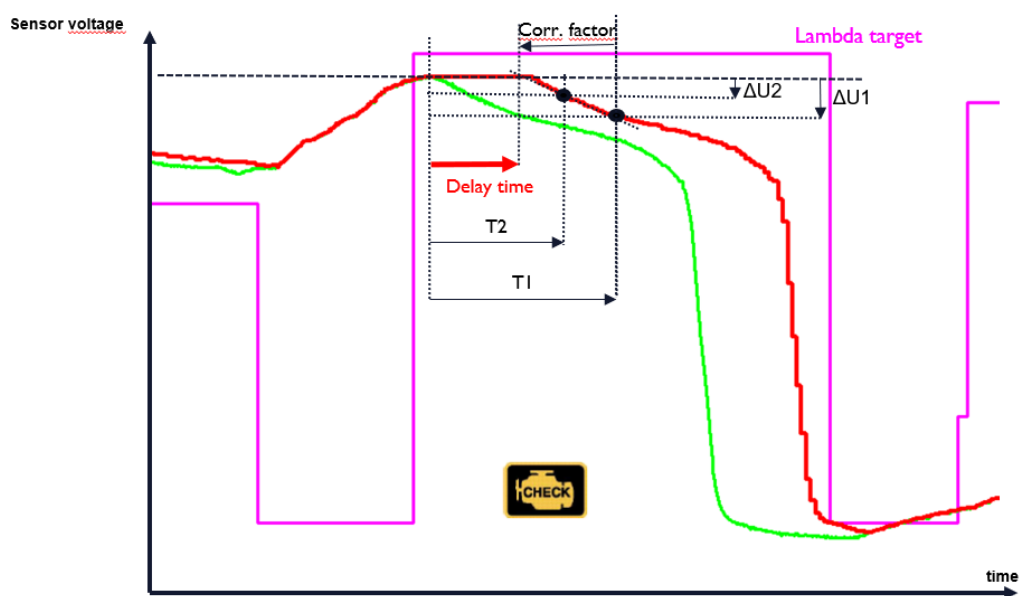


Figura 2.10: Errore di delay sonda a valle

In figura 2.11 è visibile come, prendendo in considerazione il segnale verde, e calcolando il fattore di correzione, si riesce a recuperare l'errore sul ritardo della risposta, ne consegue che per il segnale verde non viene settato un errore in centralina.

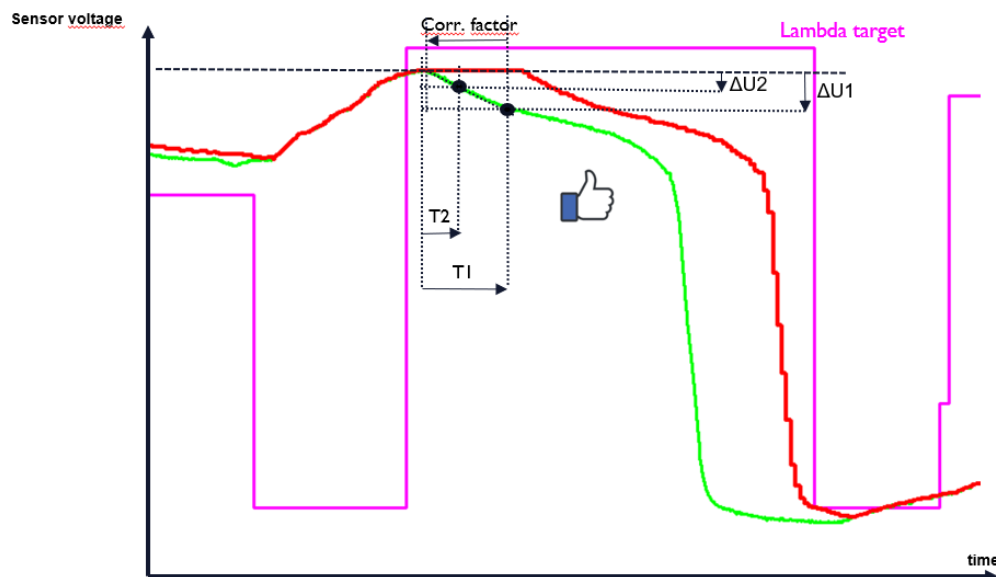


Figura 2.11: Errore di delay sonda a valle

La correzione dei ritardi di risposta inerenti alle sonde lambda è fondamentale per la corretta riuscita della diagnosi del catalizzatore. Qualora ci fosse un ritardo di risposta troppo grande sulla sonda a monte del catalizzatore o sulla sonda a valle nel misurare il cambio di titolo da grasso a magro, comporterebbe una falsificazione del calcolo dell'OSC. Nel caso in cui la sonda a monte rilevasse in ritardo il cambio di miscela in magro allora il calcolo dell'integrale comincerebbe in ritardo sottostimando la quantità di ossigeno immagazzinata. D'altra parte, se l'errore di misura fosse dovuto alla sonda a valle, ci sarebbe una sovrastima del calcolo. La centralina quindi, ultimata la diagnosi, valuta la correzione degli errori delle sonde lambda e nel caso della presenza di ritardi di risposta superiori alle soglie impostate scarta il valore di OSC calcolato poiché non ritenuto attendibile. Questo sistema di diagnosi permette di rilevare un malfunzionamento delle sonde, che dovranno essere sostituite, senza imputare direttamente la causa del problema ad una scarsa efficienza del catalizzatore. L'assenza di un sistema di diagnosi delle sonde comporterebbe una sostituzione inutile del catalizzatore, con un ingente spreco economico dal momento che il problema, in questo caso, non risiede effettivamente in tale componente.

2.4 Impatto della diagnosi sulle emissioni inquinanti

Come accennato ad inizio capitolo, quella del catalizzatore è una diagnosi intrusiva. Durante il processo di diagnosi il catalizzatore esce dalle condizioni ottimali di funzionamento, comportando un aumento delle emissioni inquinanti. Nel momento in cui inizia la diagnosi, si è visto che il primo step comporta lo svuotamento di ossigeno dal catalizzatore. Ciò significa che non sarà più disponibile O_2 utile all'ossidazione di HC e CO, con un aumento delle emissioni di tali inquinanti. D'altro canto, proseguendo con la diagnosi si arriva al riempimento del catalizzatore di ossigeno, con conseguente diminuzione della capacità di riduzione dei NOx e un aumento di tali inquinanti durante il gradino in magro. È chiaro quindi che la necessità di evitare dei fallimenti della diagnosi è strettamente legato alla necessità di ridurre il più possibile le emissioni degli inquinanti appena citati durante un ciclo di guida.

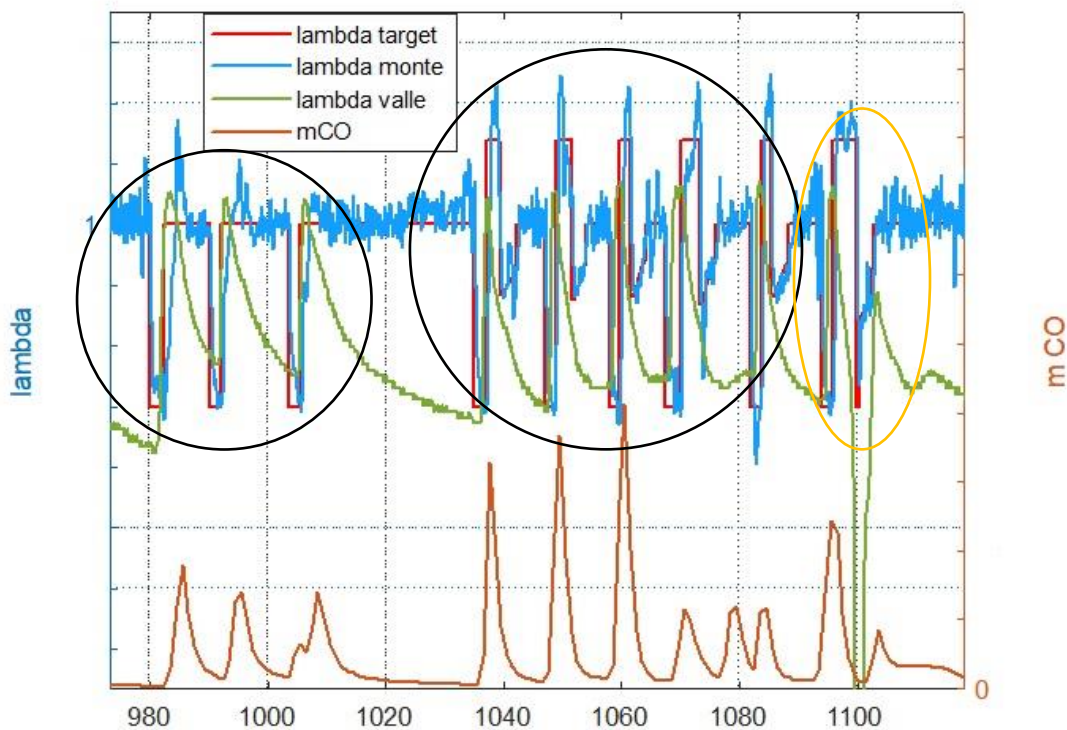


Figura 2.12: Andamento CO durante diagnosi

A tal proposito è stata effettuata un'analisi su 4 cicli di guida NEDC nei quali sono presenti dei fallimenti di diagnosi e si è evinto come l'impatto maggiore si ha sulle emissioni di CO. Si considera, per brevità, solo uno dei cicli di guida analizzati.

In figura 2.12 sono state cerchiare in nero tutte le diagnosi fallite, mentre quella cerchiata in arancio si è conclusa con successo, in quanto solamente nell'ultima

vengono effettuati tutti gli step descritti nel paragrafo 2.2. Si noti che in questo caso la sonda a valle catalizzatore raggiunge un valore molto basso, che indica una miscela magra e un completo riempimento del catalizzatore di ossigeno. Si evince inoltre come ad ogni gradino grasso di lambda vi è un aumento della portata in massa di CO.

Di seguito, in figura 2.13, le medesime osservazioni possono essere fatte in riferimento alle emissioni di HC.

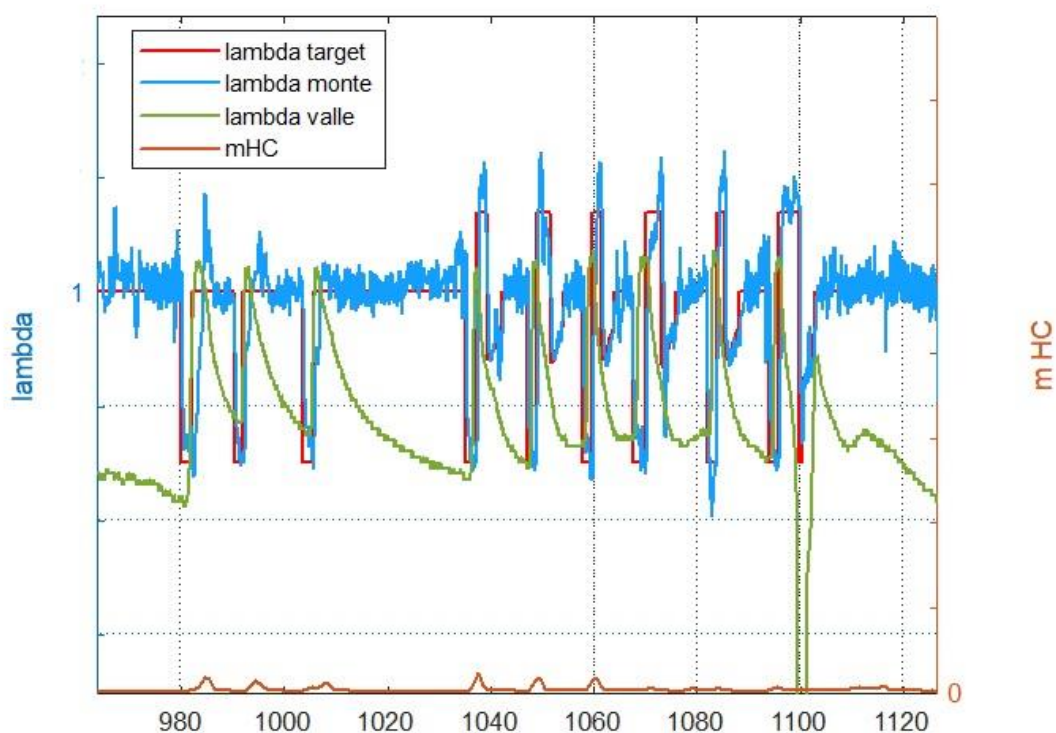


Figura 2.13: Andamento HC durante diagnosi

Infine, la figura 2.14 mostra come la curva rossa (andamento degli inquinanti NOx) presenta un aumento significativo solo in corrispondenza di un gradino in magro che duri abbastanza tempo da permettere il riempimento di ossigeno del catalizzatore.

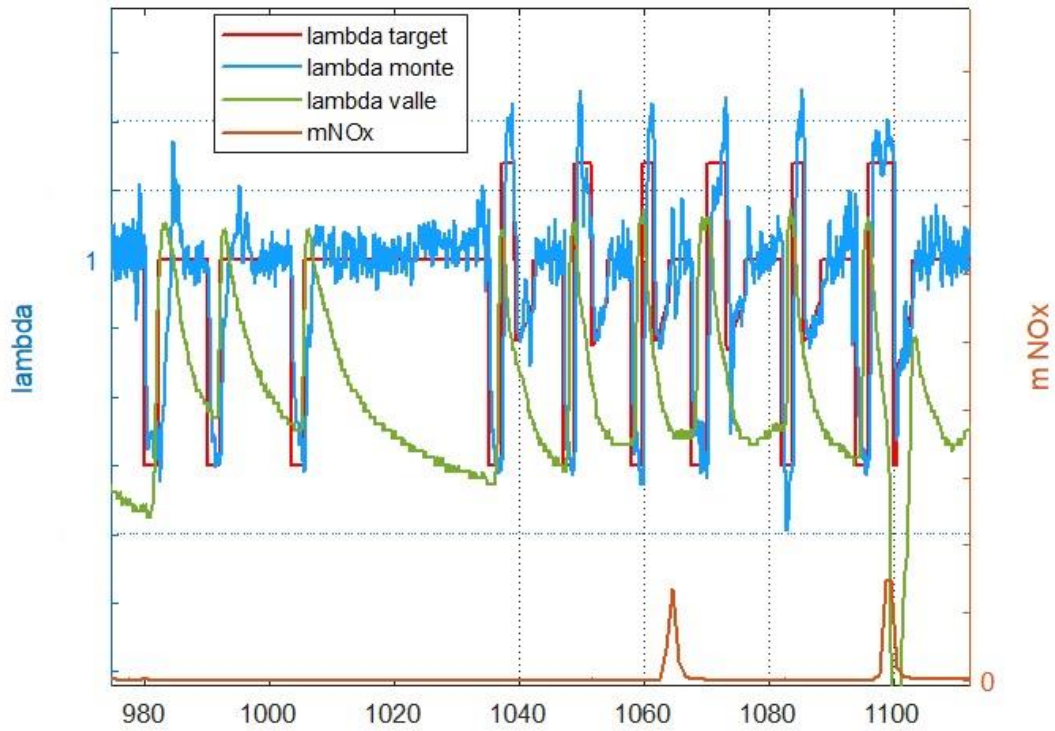


Figura 2.14: Andamento NOx durante diagnosi

Da un'analisi più accurata, calcolando la cumulata delle emissioni, è risultato chiaro, come da aspettative, che il problema principale risiede nell'aumento considerevole di emissioni di CO. Le figure seguenti mostrano l'andamento delle cumulate, in relazione allo stesso ciclo di guida delle figure 2.12, 2.13 e 2.14

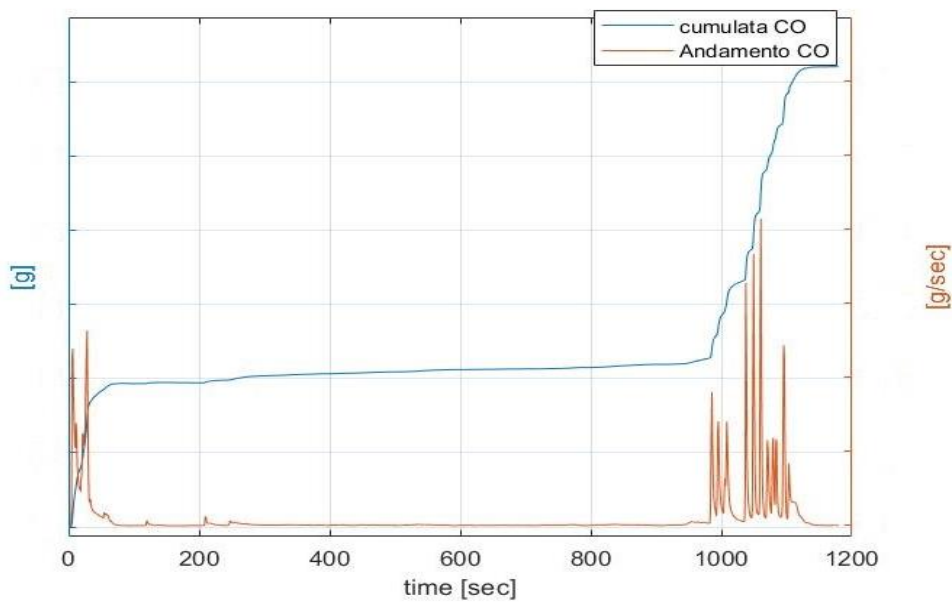


Figura 2.15: CO

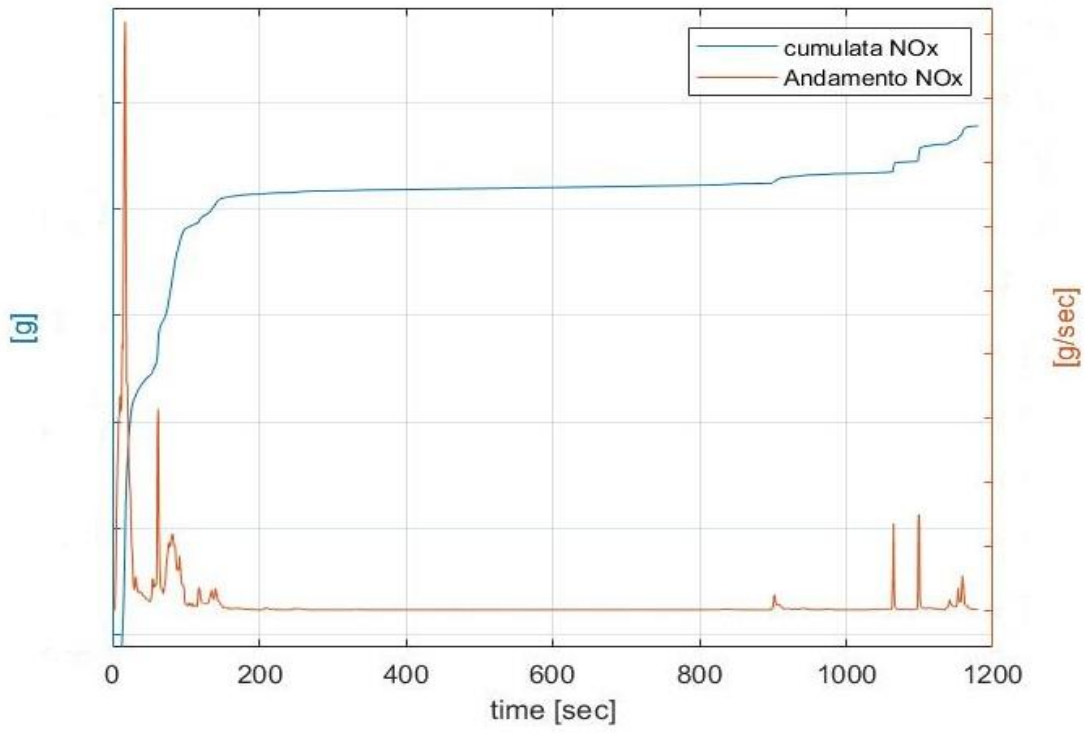


Figura 2.16: NOx

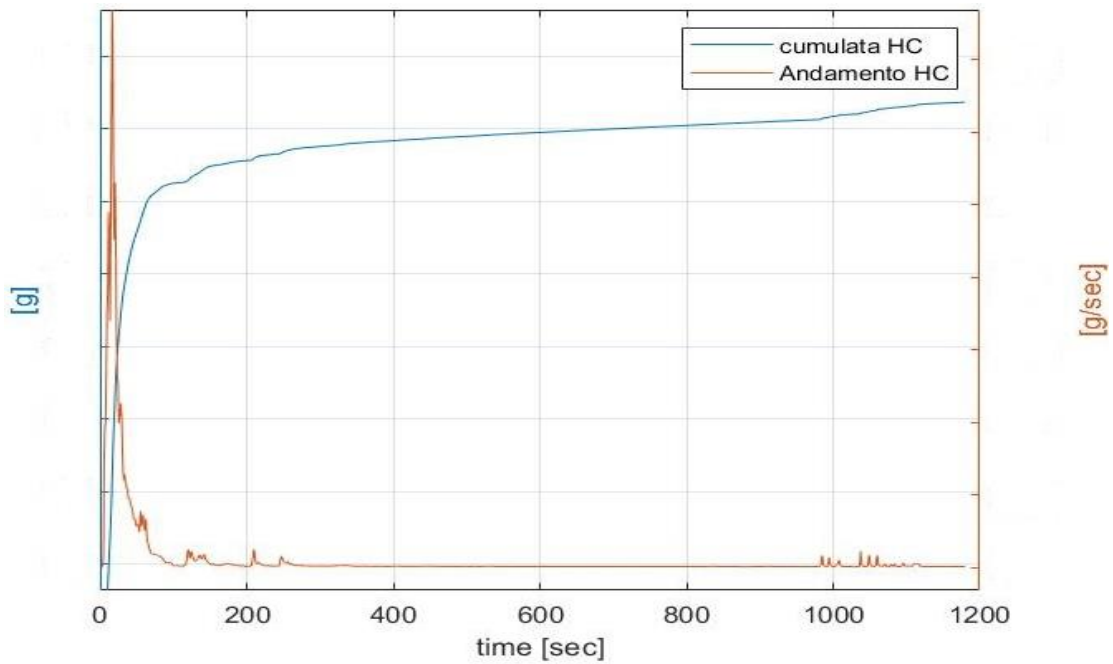


Figura 2.17: HC

Nei grafici delle figure 2.15, 2.16, 2.17, l'andamento in blu si riferisce alla cumulata e l'andamento in rosso alla portata dei vari inquinanti su tutto il ciclo. I picchi visibili dopo 980 secondi si riferiscono a quelli presi in considerazione nelle figure 2.12, 2.13 e 2.14.

Dalle cumulate si evince come le emissioni di CO siano le più significative. Questo poiché la diagnosi, come spiegato nel paragrafo 2.2 comincia sempre con un gradino in grasso per essere certi di svuotare il catalizzatore. Durante tale gradino non c'è ossigeno disponibile per l'ossidazione di CO, e di conseguenza la cumulata aumenta sensibilmente ad ogni tentativo fallito. La motivazione per la quale le emissioni di NOx rispetto a quelle di CO sono meno significative risiede nel fatto che il fallimento della diagnosi avviene sempre prima di aver completato il gradino in magro. Ciò significa che fintanto che il catalizzatore non è completamente pieno di O₂ è possibile avere reazioni di riduzione di NOx.

Capitolo 3

Implementazione e analisi modello Simulink

L'obiettivo di questo capitolo conclusivo è quello di mostrare i risultati ottenuti. In primo luogo, vengono spiegate le analisi fatte sulla portata dei gas di scarico in relazione alla durata della diagnosi. Successivamente viene spiegato in ogni singola parte la logica con la quale opera il modello Simulink implementato al fine di simulare le condizioni al contorno per le quali la diagnosi risulta fattibile. Infine, viene mostrata l'analisi fatta sui risultati ottenuti e l'approccio utilizzato per raggiungere dei parametri ottimali di calibrazione.

3.1 Analisi diagnosi in funzione della portata dei gas di scarico

Come primo passo dell'analisi della diagnosi sono state analizzate delle misure su dei cicli NEDC e WLTC, per cercare una correlazione tra la portata dei gas di scarico e il tempo che il sistema impiega ad effettuare una diagnosi. Per ogni misura, nel caso in cui il sistema non riesce a concludere la diagnosi effettuerà nuovi tentativi fintanto che non ne riesca ad andare a buon fine almeno uno. Dalla formula del calcolo dell'OSC ci si aspetta che se la portata di aria aumenta, il tempo necessario per riempire il catalizzatore risulterà essere minore e quindi il calcolo dell'OSC viene concluso prima; di conseguenza anche la diagnosi stessa verrebbe conclusa in un tempo minore. Ciò va a favore della buona riuscita della diagnosi, poiché sarà necessario che le condizioni al contorno valide per effettuarla rimangano vere per un tempo minore.

Tale risultato è stato confermato e si è rivelato utile poiché il tempo può essere una variabile fondamentale nella riuscita della diagnosi.

Mediante uno script Matlab si è proceduto analizzando separatamente il tempo di svuotamento/riempimento del catalizzatore, l'andamento della portata dei gas di scarico e il suo integrale, rispettivamente durante il gradino in grasso e quello in magro della diagnosi. Il risultato si è rivelato evidente soprattutto nel gradino magro poiché le condizioni nelle quali avviene sono definite in maniera più chiara. In altri termini, facendo riferimento alla diagnosi del sistema della centralina controllo motore descritta nel capitolo 2, si è evinto che si parte sempre con un gradino in grasso, utilizzato come un preconditionamento (lo si effettua per essere certi di non avere residui di ossigeno prima di passare in magro). Ciò comporta che la durata di questo primo step varia sensibilmente in base all'ossigeno residuo presente nel catalizzatore. Tale quantità di ossigeno residua non è nota. Ciò non ha permesso di avere un trend chiaro nella correlazione tra la portata dei gas di scarico e la durata dello svuotamento del catalizzatore durante il gradino grasso. A tal proposito si riporta in figura 3.1 l'andamento dell'integrale delle portate dei gas di scarico nei gradini in grasso conclusi (primo step della diagnosi), sia nel caso in cui la diagnosi dopo il gradino in grasso riesca ad essere conclusa, che nel caso venga abortita. In figura 3.1 si può notare come non viene confermata la logica per la quale per una portata più alta il catalizzatore si dovrebbe svuotare in maniera più veloce; ciò, come già sottolineato, è dato dal fatto che in ogni diagnosi il gradino grasso non comincia nelle stesse condizioni di quantità di ossigeno residuo presente nel catalizzatore.

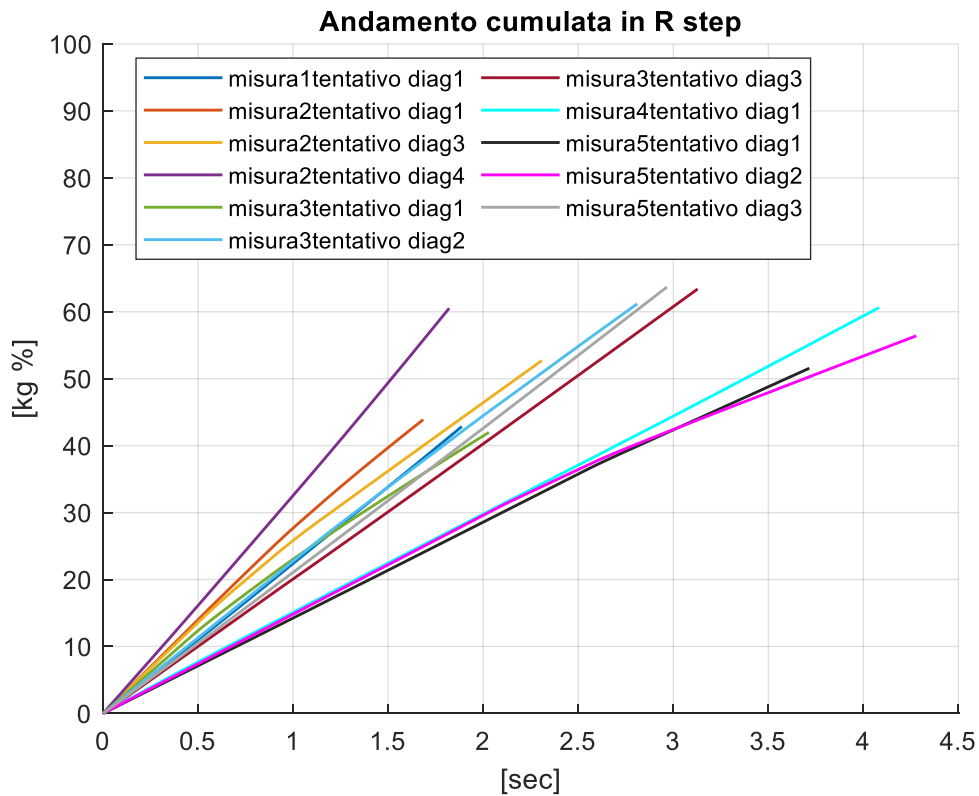


Figura 3.1: Correlazione cumulata gas di scarico – tempo di svuotamento catalizzatore

In particolare, in figura 3.1 ogni curva rappresenta l'integrale della portata di gas durante il gradino in grasso di ogni singolo tentativo di diagnosi. La “misura” si riferisce al ciclo di guida e “tentativo di diag” al tentativo di diagnosi effettuato all'interno del ciclo di guida.

Invece, per quanto riguarda il gradino in magro (figura 3.2), si è certi che esso inizia quando il catalizzatore è vuoto e termina quando è pieno.

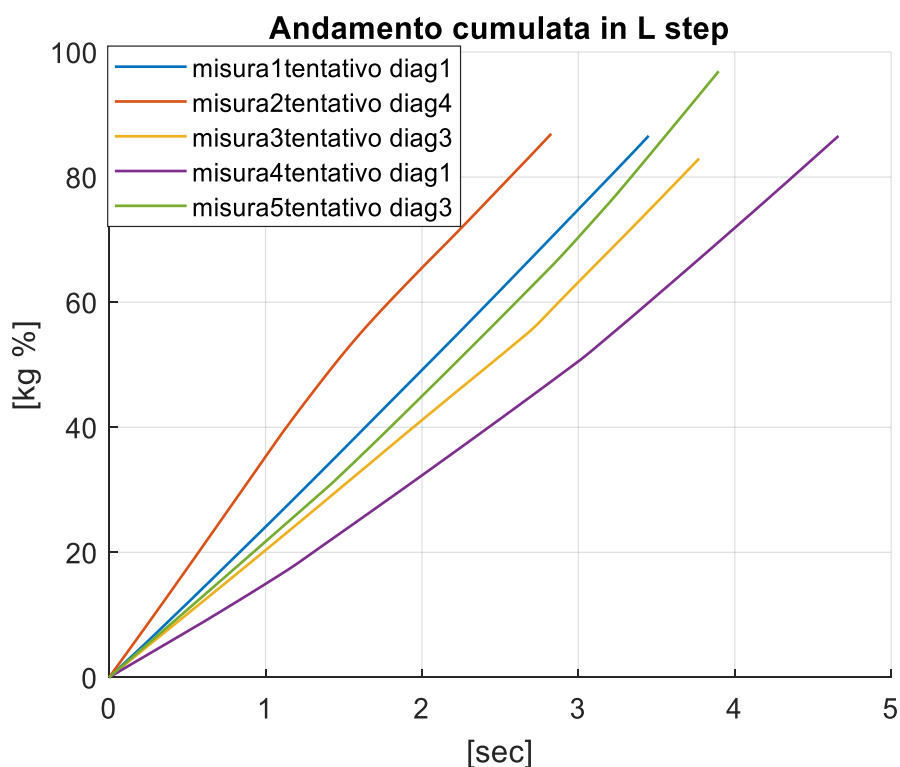


Figura 3.2: Correlazione cumulata gas di scarico – tempo di riempimento catalizzatore

Come visibile in figura 3.2 l'andamento della pendenza delle cumulate dei gas di scarico nei gradini in magro è più alta per un tempo più basso ma il valore massimo è pressoché lo stesso. Ciò conferma che per portate alte il catalizzatore impiega meno tempo a riempirsi di ossigeno e di conseguenza la diagnosi impiega meno tempo ad essere conclusa.

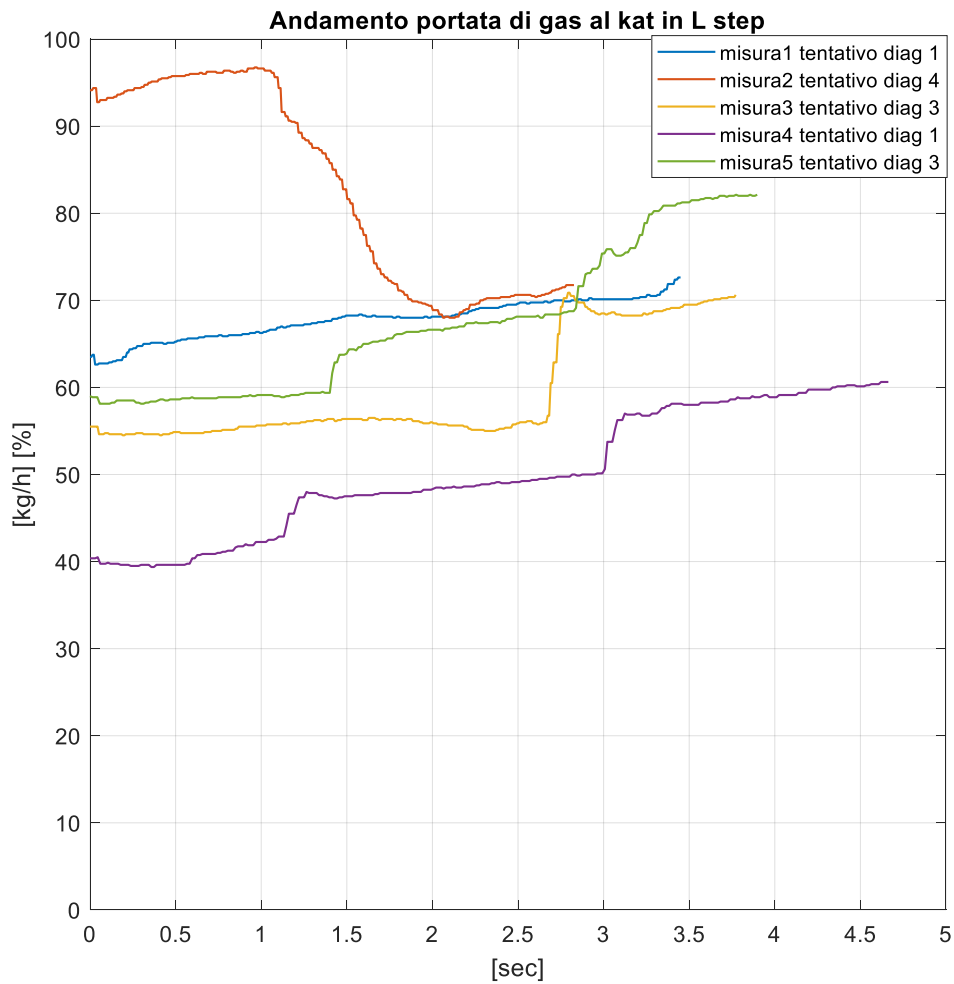


Figura 3.3: Correlazione andamento portata dei gas di scarico – tempo di riempimento catalizzatore

Le cumulate di figura 3.2 non sono altro che l'integrale delle portate riportate in figura 3.3. Tali portate si riferiscono in ugual modo al gradino in magro. A riprova di quanto affermato per le cumulate, si nota che per portate mediamente maggiori la durata del gradino in magro è minore

3.2 Descrizione Modello Simulink

Per analizzare nel dettaglio i motivi per i quali la diagnosi fallisce è stato implementato un modello Simulink che riproduce le condizioni necessarie per avviare la diagnosi. Come detto in precedenza, tali condizioni devono rimanere vere per tutta la durata della diagnosi.

In ogni blocco di diverso colore vi sono le analisi delle condizioni necessarie per far

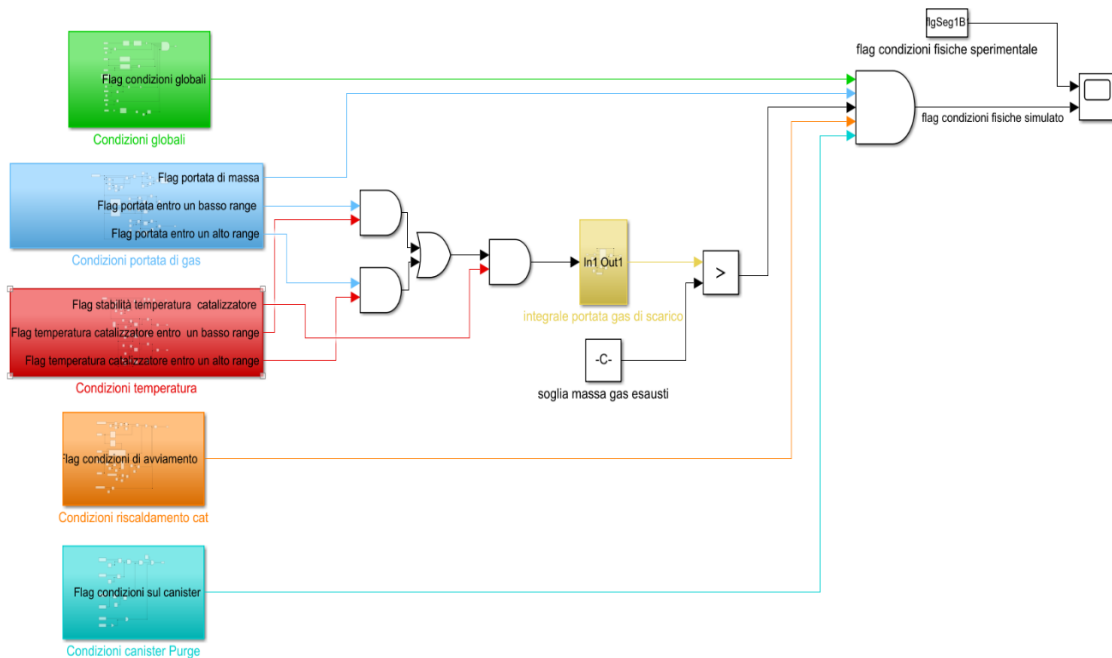


Figura 3.4: Modello simulink

partire la diagnosi (Figura 3.4). Gli output sono tutti dei segnali di 0 (FALSE) o di 1 (TRUE). Tali output vanno in un AND (destra della figura) che avrà 1 come output se tutte le condizioni in entrata sono verificate. La diagnosi viene attivata quando il “flag condizioni fisiche” è settato a 1 e continua fino a quando rimane vero tale valore.

Si analizza ora nello specifico ogni singolo blocco. Per quanto riguarda quello verde “condizioni globali”, al suo interno vi sono delle condizioni generiche di funzionamento da rispettare, legate al motore, al veicolo o alle condizioni ambiente.

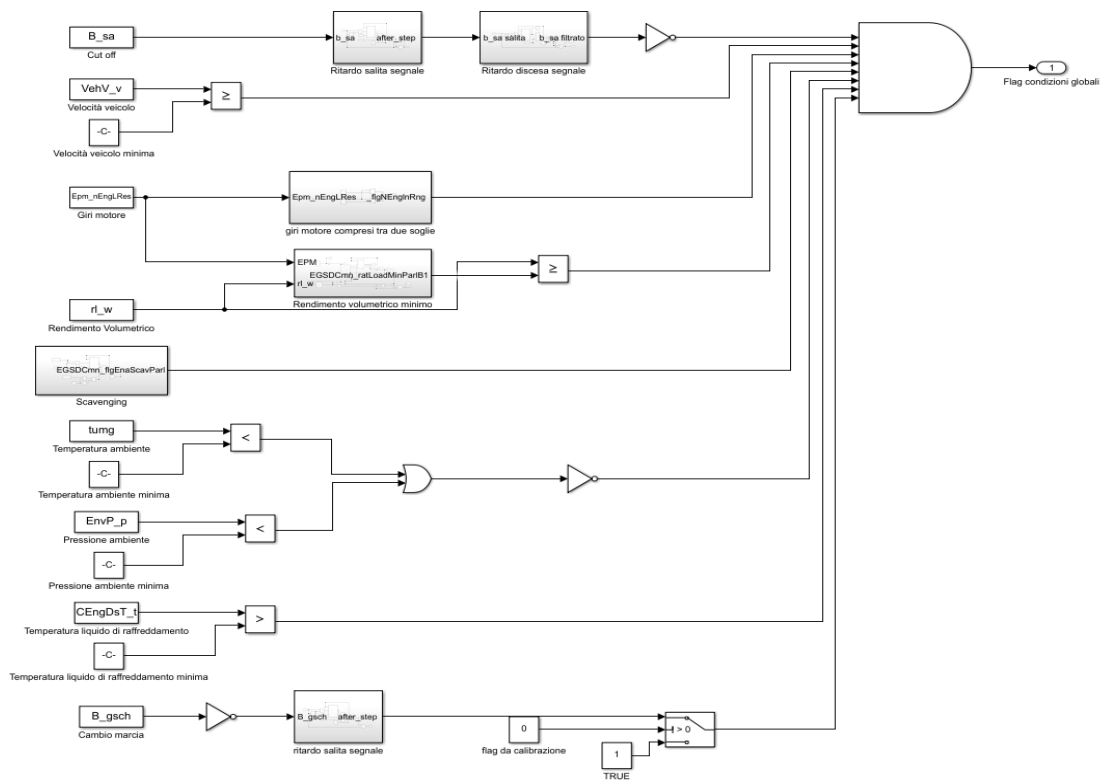


Figura 3.5: Blocco “condizioni globali”

Sulla sinistra vi sono tutti i confronti tra le variabili e le rispettive soglie da rispettare. Gli output di tali confronti sono degli 0 e degli 1 che vanno in un AND che avrà come output 1 se tutte le condizioni sono verificate. Il flag in uscita dall’AND poi andrà nell’AND di figura 3.4 per attivare le condizioni fisiche generali.



Figura 3.6: Parte del blocco condizione cut - off

La prima condizione tiene conto del cut-off dei cilindri (spegnimento dei cilindri in fase di rilascio del pedale). Se il segnale B_sa vale 1 significa che c’è del cut-off; ciò comporterebbe delle mancate iniezioni e di conseguenza un titolo estremamente magro che andrebbe a falsare la diagnosi. Sono poi presenti due blocchi in serie. Il primo, “Ritardo salita del segnale”, ritarda la salita di 2 secondi, nel momento in cui il segnale B_sa passa da 0 a 1, perché un cut-off che durasse meno di tale intervallo di tempo non andrebbe ad inficiare sul titolo e sulla diagnosi. Di seguito, invece, il blocco “Ritardo discesa segnale” ritarda di 2 secondi il passaggio del segnale da 1 a 0, poiché quando

da un cut-off si torna all'accensione dei cilindri il sistema aspetta tale intervallo di tempo per permettere al titolo di tornare a valori accettabili per effettuare la diagnosi. Infine, il NOT fa sì che quando si ha 0 (cut-off disattivato) esso diventi 1 e contribuisca in maniera esatta nell'AND per permettere che ci sia diagnosi, analogamente in maniera opposta qualora B_sa fosse 1.



Figura 3.7: Parte del blocco condizione Velocità veicolo

La condizione successiva si riferisce alla velocità del veicolo, la quale deve essere superiore ad un minimo stabilito (figura 3.7).

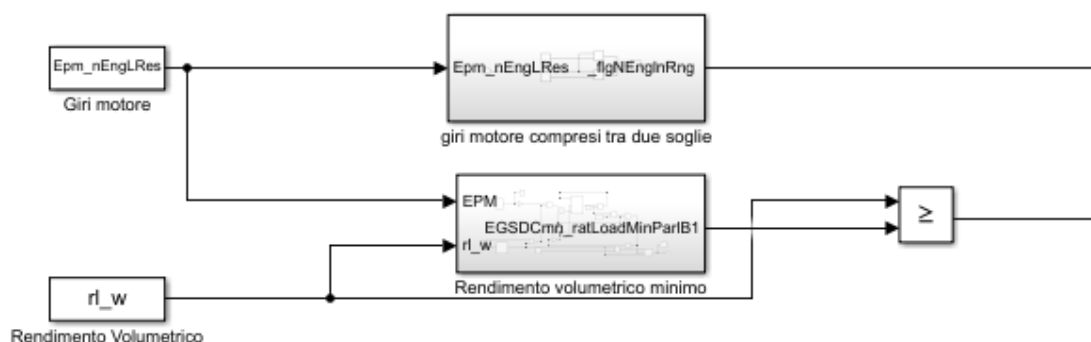


Figura 3.8: Parte del blocco condizione rendimento volumetrico

La parte rappresentata in figura 3.8 prende in considerazione i giri del motore, che devono essere sempre compresi tra un valore minimo ed uno massimo e il rendimento volumetrico. Esso deve essere maggiore di una soglia che dipende dal regime al quale si trova il motore. Per tale motivo i giri del motore entrano anche nel blocco "Rendimento Volumetrico minimo", dove è presente una mappa che in funzione dei giri fornisce la soglia di rendimento volumetrico da rispettare.



Figura 3.9: Parte del blocco condizione scavenging

Nel blocco di figura 3.9 viene preso in considerazione il fenomeno dello Scavenging. Esso consiste nello sfruttare la fase di incrocio dell'apertura delle valvole di aspirazione e di scarico. In questo modo una parte di aria fresca in entrata ai cilindri “spinge” i gas combusti nel collettore di scarico con l'obiettivo di fornire più portata alla turbina. All'interno del blocco vi è un integrale che viene attivato qualora il rapporto di scavenging sia minore di una certa soglia, in tal caso si calcola la massa di aria aspirata dal motore, la quale se maggiore di una soglia prestabilita (dal momento che non c'è più scavenging si aspetta che passi una certa massa di aria) ha in uscita 1 che contribuisce all'AND delle condizioni globali.

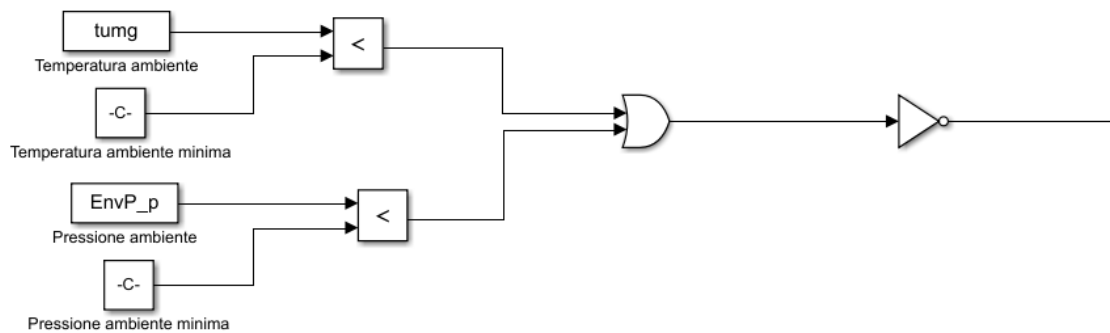


Figura 3.10: Parte del blocco condizione su temperatura e pressione ambiente

La parte rappresentata in figura 3.10 verifica che entrambe le grandezze, temperatura e pressione ambiente, siano maggiori contemporaneamente della loro rispettiva soglia. Le due grandezze vengono poste minori di una soglia. Grazie alla logica dell'OR a valle dei due confronti e del NOT a valle dell'OR, solo nel caso in cui Temperatura e pressione siano entrambe maggiori delle soglie, si ha in uscita un valore 1 diretto all'AND per l'attivazione del flag delle condizioni globali.

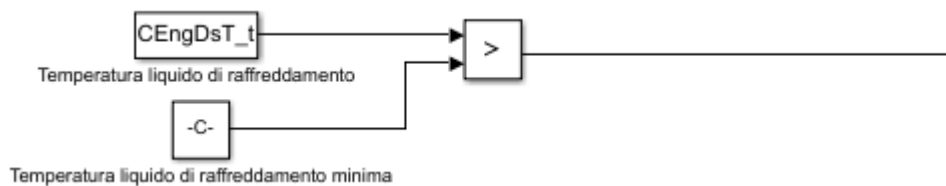


Figura 3.11: Parte del blocco condizione sulla temperatura del motore

La figura 3.11 rappresenta la condizione sulla temperatura del liquido di raffreddamento del motore. Si impone che la temperatura del liquido di raffreddamento in uscita dal motore sia superiore ad un valore stabilito, ovvero che il motore sia regimato termicamente.

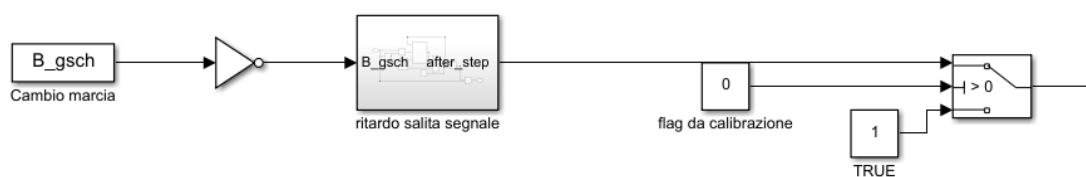


Figura 3.12: Parte del blocco condizione sul cambio di marcia

In figura 3.12 è rappresentata la condizione sul cambio di marcia, la quale utilizza la stessa logica utilizzata per il cut off. Quando vi è una cambiata il segnale *B_gsch* diventa uno e il NOT lo porta a zero. Successivamente, quando il segnale torna a 0 il NOT lo porta ad 1, ma il blocco “ritardo salita segnale” ritarda tale passaggio di 1 secondo. A valle vi è uno switch comandato da un flag. Tale flag viene messo in centralina come parametro di calibrazione e nelle misure analizzate esso è impostato a 0. Ciò vuol dire che a prescindere dalla presenza di cambiate nell’AND finale andrà sempre il valore 1.

Si prosegue con l'analisi del blocco azzurro della figura 3.4.

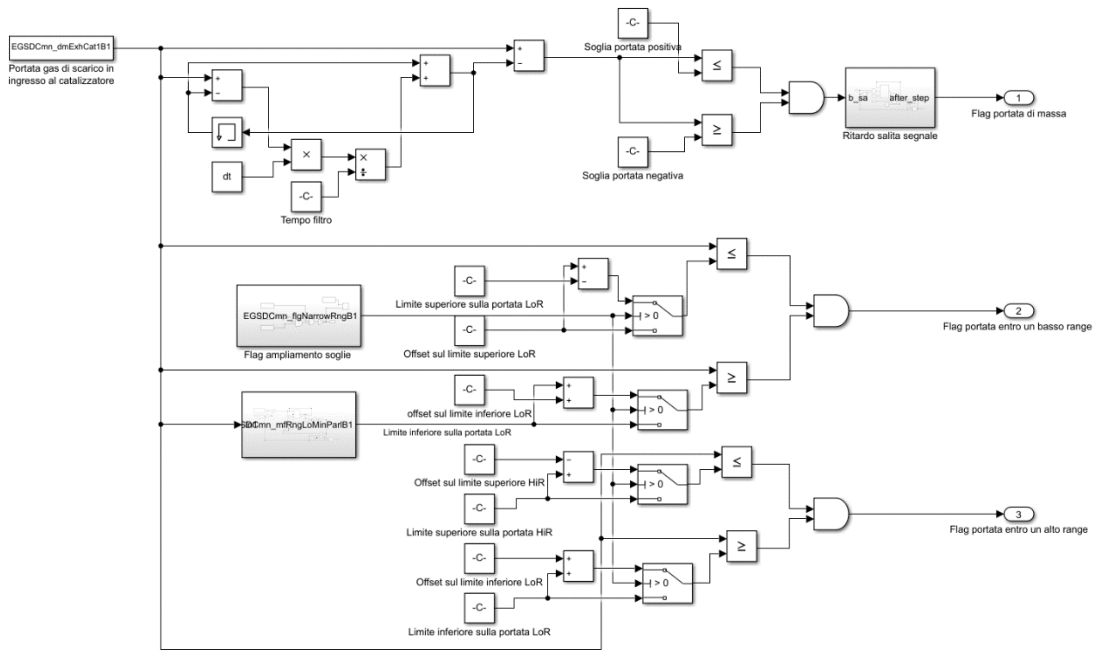


Figura 3.13: Blocco condizioni portata dei gas di scarico

In tale blocco (figura 3.13) viene presa in considerazione la portata dei gas di scarico e viene confrontata con diversi tipi di soglie. È presente un blocco “*Flag ampliamento soglie*” che, quando viene settato a 1, fa sì che dai vari switch entri una soglia con un valore meno restrittivo. Ciò è dovuto al fatto che, quando la diagnosi viene attivata, il motore presenta delle instabilità e il flag appena descritto viene attivato per far sì che le soglie siano meno limitanti e aiutino il proseguo della diagnosi fintanto che non viene recuperata una stabilità del motore.

La prima parte del blocco cerchiata in rosso effettua un filtro passa-basso del segnale di portata di gas in ingresso al catalizzatore.

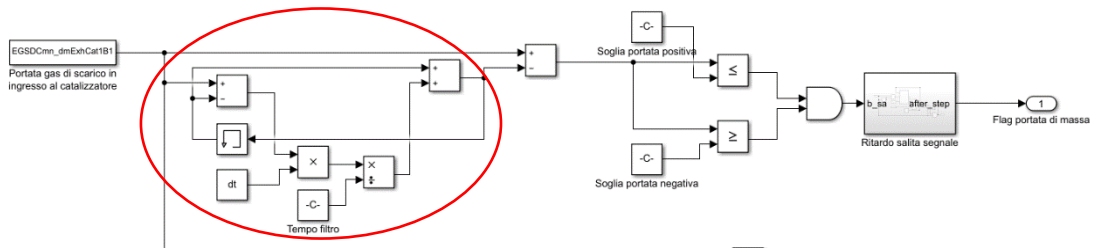


Figura 3.14: Parte del blocco sul confronto del segnale di portata filtrato

Il filtro è modellato secondo la seguente formula.

$$val(new) = val(old) + (in - val(old)) * \frac{dt}{T}$$

Il segnale di portata viene poi sottratto a sé stesso filtrato con l'obiettivo di vedere i transitori veloci. Il risultato viene confrontato con due soglie, poiché deve essere compreso tra un valore positivo e uno negativo per verificare che non vari troppo. Qualora fosse vera la condizione, il flag viene alzato con un ritardo e contribuisce direttamente all'AND del flag delle condizioni fisiche di figura 3.4.

La seconda parte del blocco rappresenta il confronto della portata all'interno di due soglie definite che rappresentano un range ristretto al quale la portata deve stare (figura 3.15).

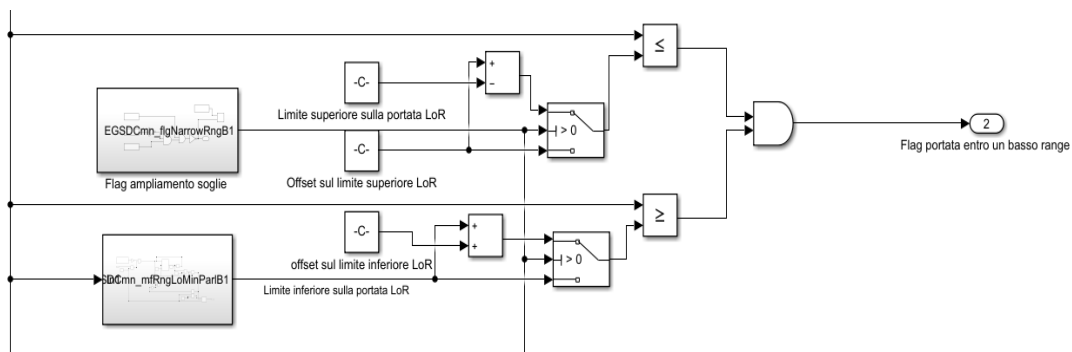


Figura 3.15: Parte del blocco sul confronto della portata dei gas di scarico entro un basso range

In questa parte è ben visibile come la portata debba essere compresa tra due soglie che possono variare e quindi, come detto in precedenza, ampliarsi in base al “Flag ampliamento soglie”. Qualora le condizioni fossero verificate, il “Flag portata entro un basso range” non va direttamente all'AND delle condizioni fisiche ma passa per altre condizioni logiche (figura 3.4), che saranno descritte in seguito.

La parte finale del blocco, in maniera analoga a quanto descritto per la figura 3.15, fa un confronto della portata all'interno di due soglie che rappresentano un range basso.

Anche nel caso di figura 3.16 il “Flag ampliamento soglie” influisce sui valori dei threshold imposti. In maniera analoga l’uscita del “Flag portata entro un alto range” è diretto ad altri operatori logici e non direttamente all’attivazione del Flag delle condizioni fisiche.

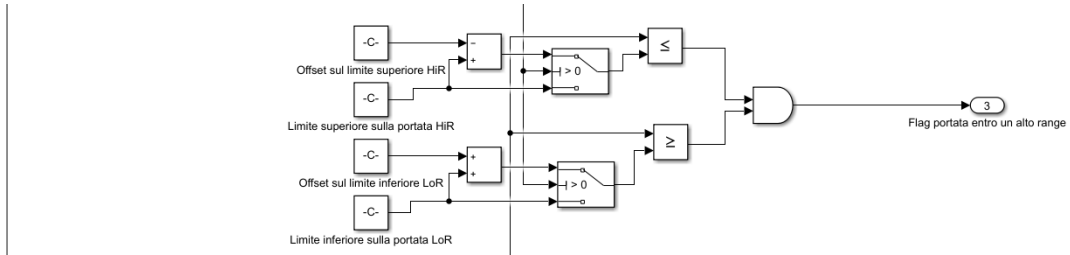


Figura 3.16: Parte del blocco sul confronto della portata dei gas di scarico entro un alto range

Per quanto riguarda il blocco rosso di figura 3.4, la variabile fisica analizzata è la stima della temperatura del catalizzatore.

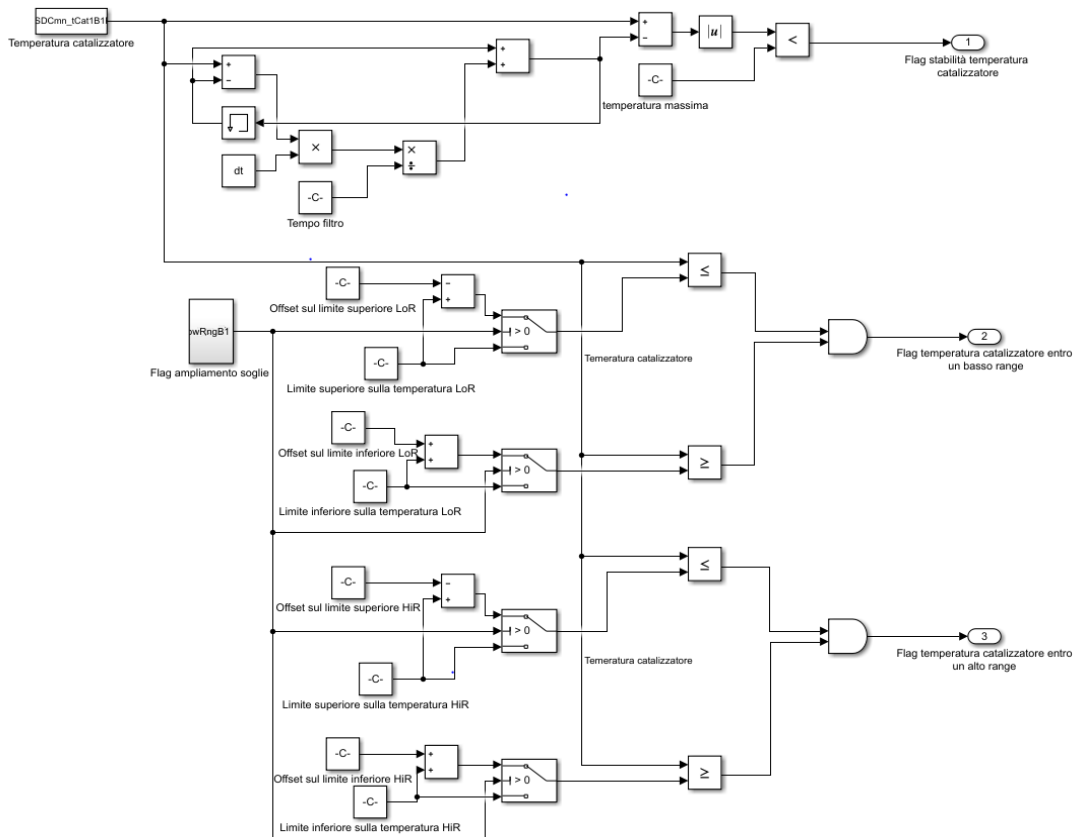


Figura 3.17: Blocco condizioni temperatura

Analogamente a quanto visto per la portata dei gas di scarico, anche in questo caso (figura 3.17) è presente un “Flag ampliamento soglie” che può influire sui vari confronti.

La prima parte del blocco effettua un filtraggio del segnale della temperatura stimata del catalizzatore analogo a quello fatto per la portata. A valle del filtraggio (figura 3.18) viene preso in considerazione il segnale in valore assoluto e confrontato con una soglia.

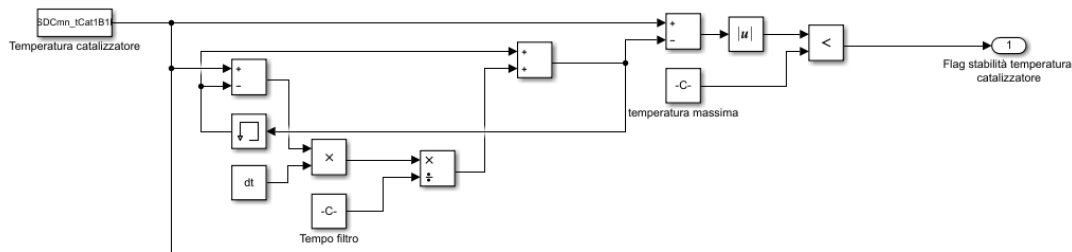


Figura 3.18: Parte del blocco sul confronto del segnale di temperatura filtrato

Qualora il valore di temperatura fosse minore di una temperatura massima si ha 1 nel “Flag stabilità temperatura catalizzatore”. Tale flag non contribuisce in maniera diretta al flag delle condizioni fisiche ma va prima in altri operatori logici.

La seconda parte (figura 3.19) prende in considerazione il segnale di temperatura e viene confrontato tra due soglie che rappresentano un range basso in cui la temperatura deve stare.

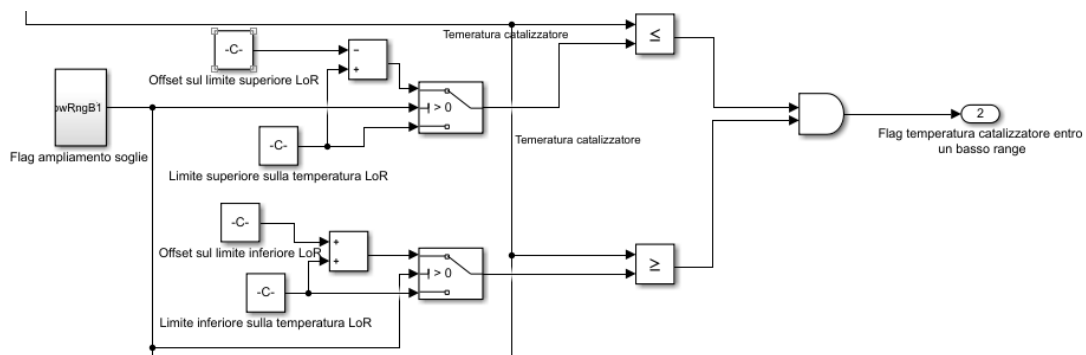


Figura 3.19: Parte del blocco sul confronto della temperatura entro un basso range

Come detto, su tali soglie influisce anche il discorso dell’ampliamento delle stesse per “aiutare” la diagnosi. L’uscita dal confronto, qualora rispettato, attiva il “Flag temperatura catalizzatore entro un basso range” che come i casi della portata è diretto ad altri operatori logici.

In ultimo la temperatura deve essere compresa tra due soglie rappresentanti un range alto (figura 3.20).

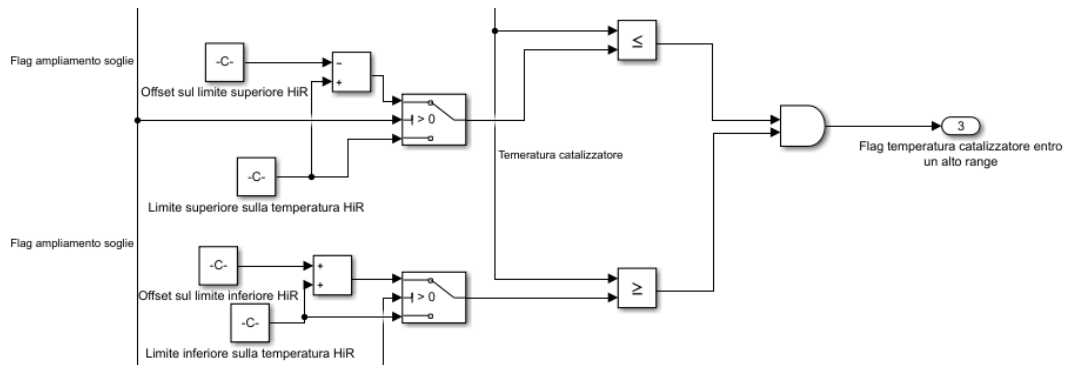


Figura 3.20: Parte del blocco sul confronto della temperatura entro un alto range

Qui si hanno le stesse considerazioni fatte per il caso di figura 3.19.

Ora, facendo riferimento alla figura 3.21, si passa all'analisi dei flag in uscita dai blocchi rosso e azzurro appena descritti, i quali, come già accennato in precedenza, non contribuiscono direttamente all'AND per il "Flag delle condizioni fisiche generali".

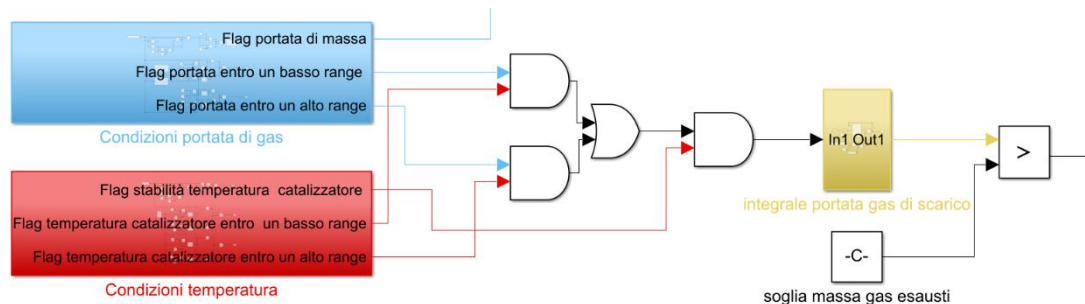


Figura 3.21: Parte del modello in cui vengono valutate le uscite dei flag delle condizioni di portata di gas e Condizioni temperatura utili all'attivazione dell'integrale della portata dei gas di scarico

Come visibile in figura 3.21, i Flag di portata e temperatura riferiti al basso range e quelli riferiti all'alto range vanno ad alimentare due AND distinti. A loro volta l'output alimenta un OR (per far sì che questo abbia in uscita un 1 è necessario che sia 1 solo una delle due entrate) e infine l'uscita dell'OR entra in un AND insieme al "Flag stabilità temperatura catalizzatore". Se le entrate dell'ultimo AND sono verificate, viene attivato il calcolo dell'integrale della portata in massa dei gas di scarico. Se il risultato è maggiore della "soglia massa gas esausti", si ha in uscita un valore 1 che confluisce nell'AND generale delle condizioni fisiche (figura 3.4).

In sintesi, per far sì che il calcolo dell'integrale avvenga, è necessario che la temperatura del catalizzatore sia stabile e che sia verificata contemporaneamente una sola delle due condizioni su temperatura e portata di gas di scarico in uno dei due range, alto o basso.

Il blocco arancio della figura 3.4 rappresenta le condizioni da rispettare in fase di avviamento del motore (figura 3.22).

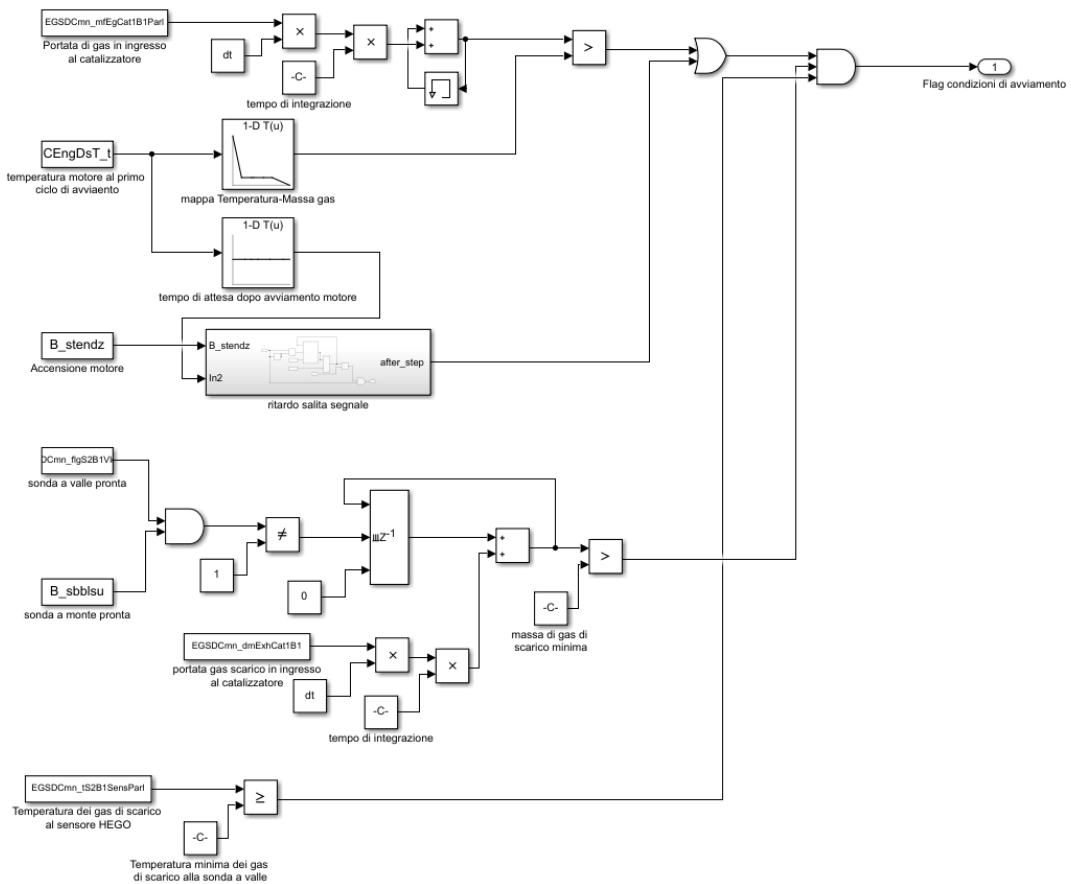


Figura 3.22: Blocco sulle condizioni di avviamento

La prima parte rappresenta le condizioni di portata dei gas di scarico e di temperatura del motore in fase di avviamento di ogni ciclo di guida.

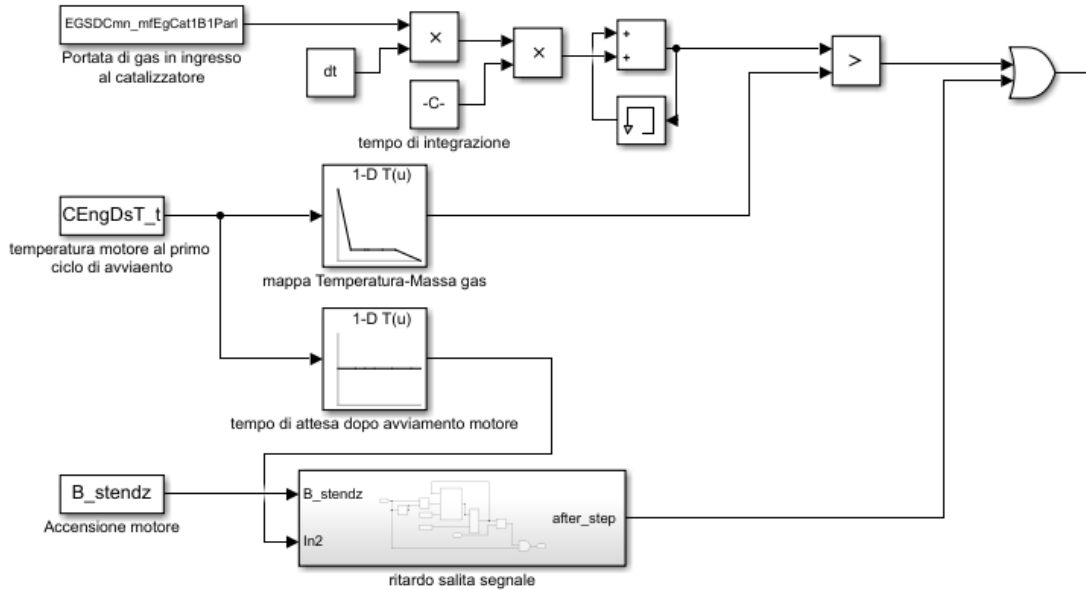


Figura 3.23: Parte del blocco sul confronto della portata dei gas, della temperatura del motore in fase di avviamento

In questa parte le condizioni sono tutte legate tra loro. In primo luogo, vi è la portata dei gas di scarico che viene integrata e confrontata con una soglia che è funzione della temperatura del motore dall'avviamento. Quest'ultima, infatti, entra in una mappa (mappa Temperatura-massa gas) che ha in ingresso la temperatura e in uscita la massa di gas.

Inoltre, il segnale "Accensione motore" nel passare da 0 ad 1 (motore acceso) è ritardato da un tempo definito dalla mappa "tempo di attesa dopo avviamento motore", che ha in ingresso la temperatura del motore all'avviamento a freddo. La condizione sulla massa dei gas e la condizione di accensione del motore diventano gli input di un OR che a sua volta andrà ad alimentare l'AND dal quale dipende il "Flag condizioni di avviamento a freddo".

La seconda parte del blocco (in basso) consiste nella valutazione dello stato delle sonde lambda (figura 3.24), le quali, come descritto nel capitolo 1, devono raggiungere una temperatura minima per poter lavorare in maniera ottimale ed essere affidabili.

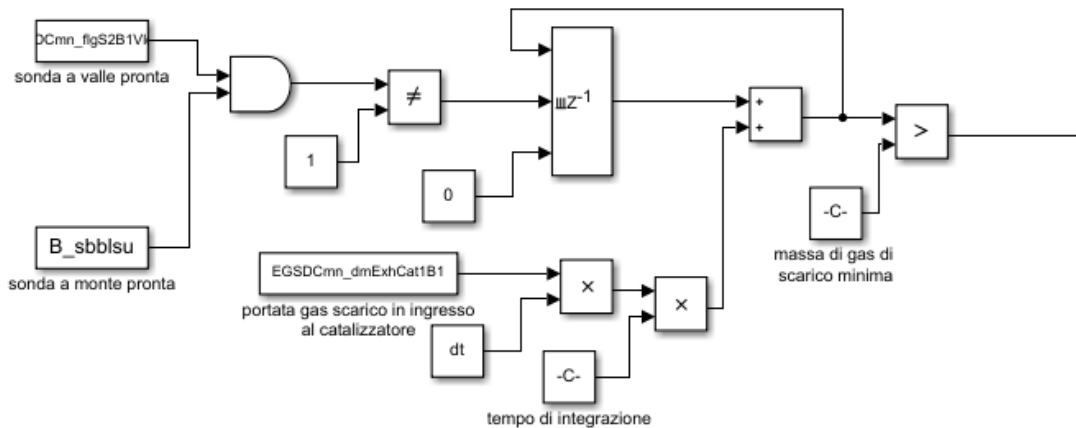


Figura 3.24: Parte del blocco sull'analisi dello stato delle sonde lambda

Qualora i segnali “sonda a valle pronta” e “sonda a monte pronta” siano entrambi uguali ad 1, si attiva, mediante l’AND, il calcolo di un integrale sulla portata di gas di scarico che deve essere superiore ad una certa soglia (Massa di gas di scarico minima). In questo modo, il sistema si accerta che passi prima una certa quantità di gas di scarico per rendere stabile la misura delle sonde. Il segnale, in caso di confronto valido, diventa 1 e convoglia nell’AND che attiva il “Flag condizioni di avviamento a freddo”.

In ultimo, viene presa in esame una stima della temperatura dei gas di scarico localizzata sulla sonda a valle catalizzatore.



Figura 3.25: Parte del blocco sulla temperatura dei gas di scarico localizzata alla sonda HEGO

Anche in questo caso (figura 3.25) è necessario che tale temperatura sia superiore ad una soglia per far sì che si abbia 1 in uscita e che sia attivato il “Flag condizioni di avviamento a freddo”.

Infine, come ultimo blocco riguardante le condizioni necessarie a far sì che la diagnosi cominci vi è il blocco color ciano della figura (3.4). Esso rappresenta le condizioni sul canister. Il canister è un serbatoio che raccoglie i fumi evaporati di carburante quando il motore è spento. Questi vapori vengono recuperati e convogliati mediante una valvola nell’aria aspirata dal motore per farli partecipare alla combustione. È necessario

tenere presente di questo aspetto poiché essi vanno a cambiare il titolo della miscela (vi è una parte ricca in più).

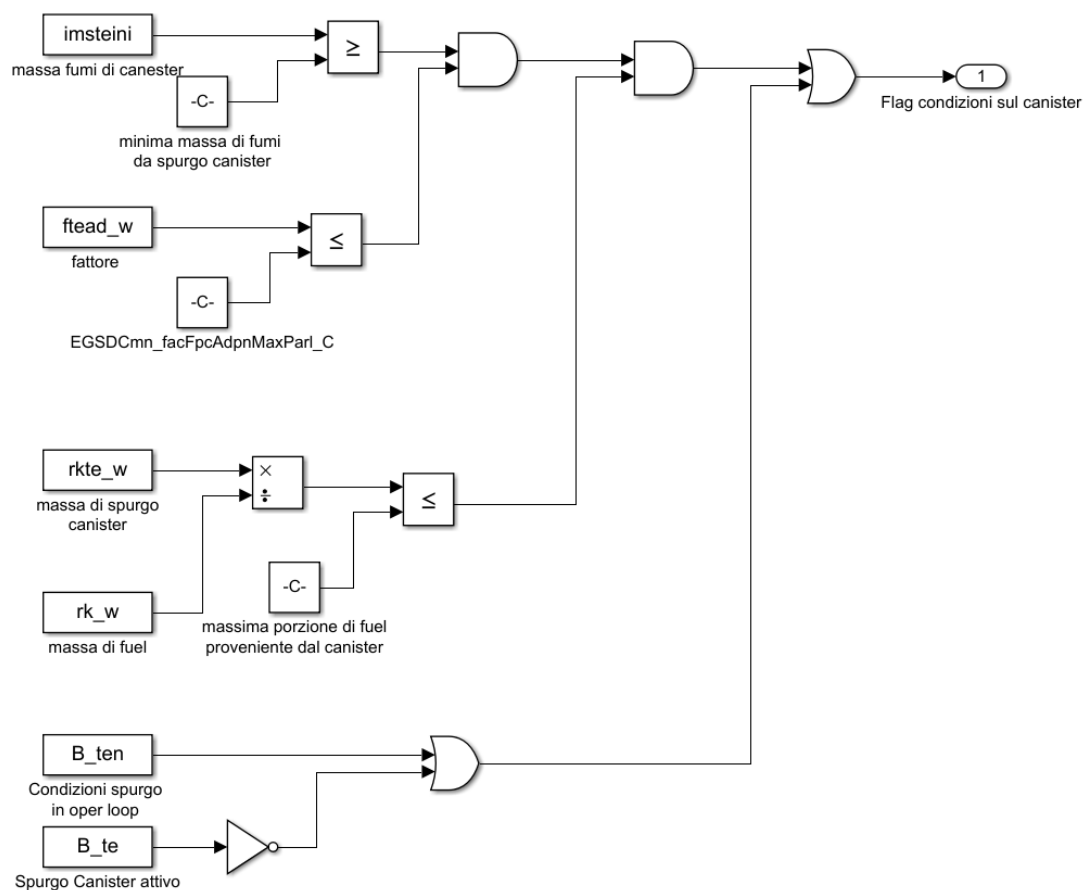


Figura 3.26: Blocco delle condizioni del canister

In figura 3.26 vi sono tutti i confronti inerenti allo spurgo del canister, in sintesi la quota parte di vapori “riciclati” non può superare delle soglie per le quali si ha una quantità troppo elevata.

3.3 Validazione del modello e scelta dei parametri di calibrazione

Il modello presentato è stato implementato allo scopo di riprodurre e studiare le condizioni necessarie affinché la diagnosi possa essere effettuata. La validazione del modello riveste un ruolo fondamentale al fine di avere simulazioni che siano da ritenere attendibili con un certo grado di sicurezza. Per poter cambiare le calibrazioni che entrano in gioco e analizzare come il sistema risponde, è necessario che il modello riproduca il più fedelmente possibile le condizioni reali alle quali è soggetta la diagnosi.

La scelta della variabile per effettuare la validazione è ricaduta sulla riproduzione del flag delle condizioni fisiche generali. I risultati che verranno mostrati si riferiscono ad una misura ottenuta durante un ciclo di guida NEDC nel quale la diagnosi viene effettuata e conclusa in un unico tentativo. Se il segnale simulato corrisponde in maniera esatta a quello sperimentale (proveniente dalle misure sui cicli di guida), significa che tutte le condizioni a monte del flag simulano in maniera esatta il comportamento reale delle variabili.

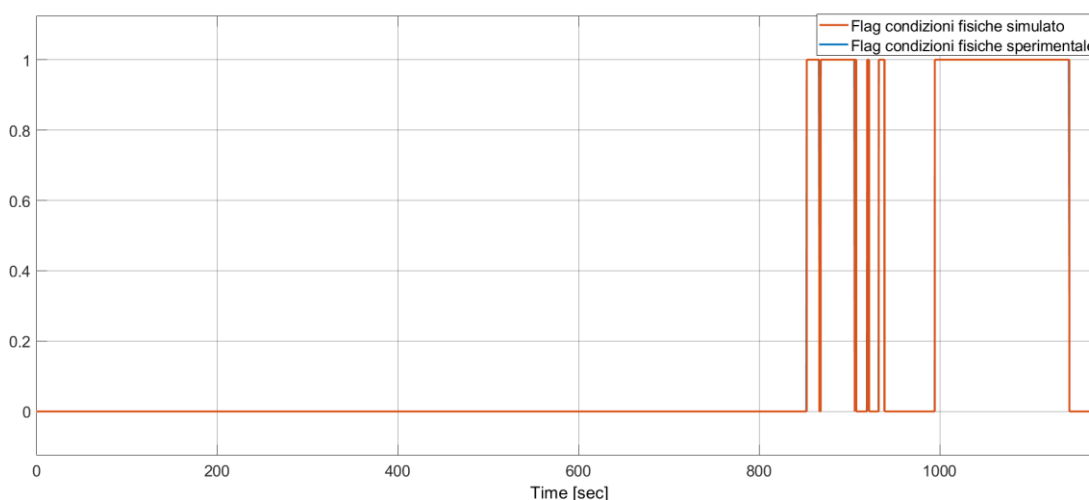


Figura 3.27: Confronto tra Flag delle condizioni fisiche simulato e sperimentale di una misura su un ciclo di guida NEDC

Come visibile in figura 3.27, i due segnali rappresentanti il flag simulato e quello sperimentale sono sovrapposti. Ciò significa che il modello è validato poiché rappresenta in maniera fedele il comportamento reale delle variabili in gioco.

Dopo che è stato validato il modello, sono state prese in considerazione alcune misure nelle quali la diagnosi ha fallito, nella fattispecie un ciclo di guida nel quale la vettura è stata utilizzata in modalità SPORT (tali modalità cambiano lo shift pattern del cambio). Andando a ritroso dal “Flag delle condizioni fisiche generali”, è stato possibile individuare la variabile incriminata del fallimento. Nel sistema della

centralina controllo motore c'è una sezione che gestisce le priorità sui cambi di titolo. Nel momento in cui viene attivata la diagnosi del catalizzatore la variabile che rappresenta la priorità assume il valore 55. Ciò è valido per tutto il tempo che la priorità è attiva e permette al sistema di seguire i lambda target necessari alla corretta riuscita della diagnosi, senza che altre richieste entrino in gioco. Grazie a tale variabile sono di immediato riconoscimento le finestre temporali nelle quali è attiva la diagnosi. Prendendo in considerazione tale variabile e confrontandola con i singoli flag provenienti da ogni blocco è stato possibile risalire alle variabili incriminate del fallimento della diagnosi.

In prima battuta sono stati esclusi il flag delle condizioni sul canister e il flag condizioni avviamento poiché come visibile nelle figure 3.28 e 3.29 non contribuiscono al fallimento della diagnosi.

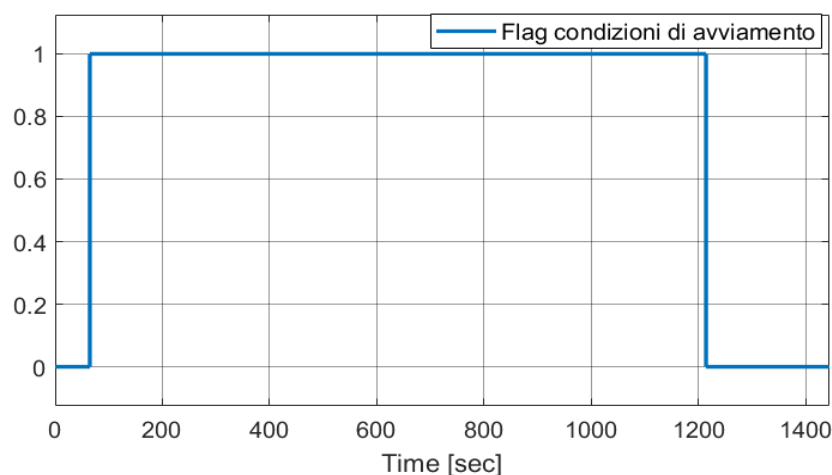


Figura 3.28: Flag delle condizioni di avviamento durante il ciclo di guida NEDC SPORT

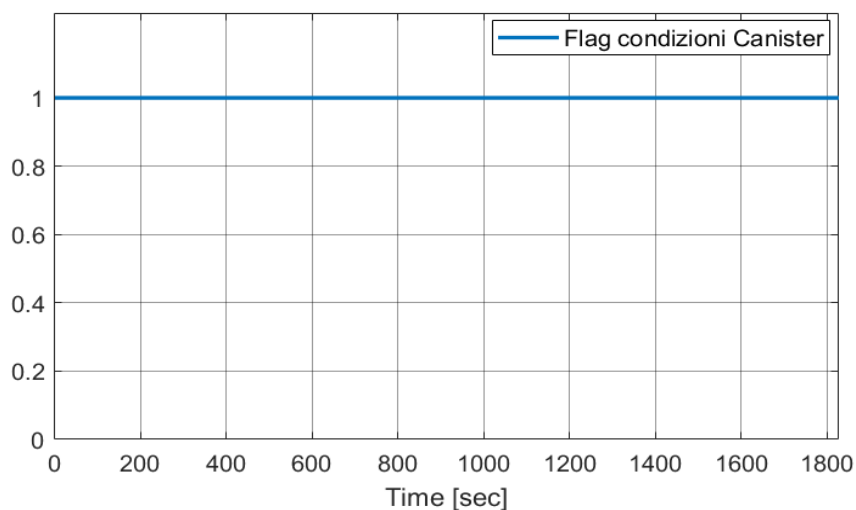


Figura 3.29: Flag condizioni Canister durante il ciclo di guida NEDC SPORT

È evidente, dalle figure precedenti, che per tutta la durata del ciclo di guida questi due flag hanno sempre come valore 1.

Successivamente è stata presa in considerazione la parte dei flag inerenti alla temperatura del catalizzatore e alla portata dei gas di scarico in ingresso al catalizzatore. Facendo riferimento alla figura 3.21 si sono analizzati uno per volta gli ingressi dei flag ai due AND che attivano il successivo OR.

Per quanto riguarda l'AND in basso esso è alimentato dai flag di temperatura e portata entro un alto range. Entrambi i flag risultano non essere mai verificati (figure 3.30 e 3.31).

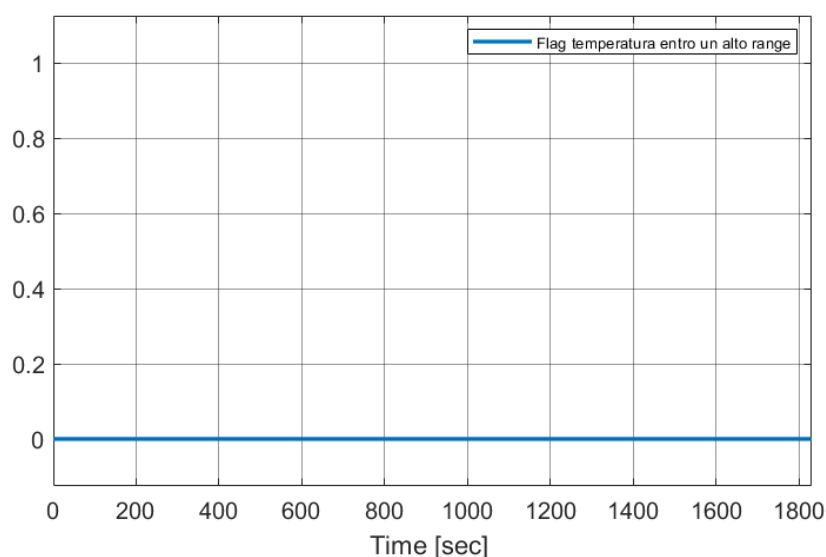


Figura 3.30: Flag delle condizioni di temperatura entro un alto range durante il ciclo di guida NEDC SPORT

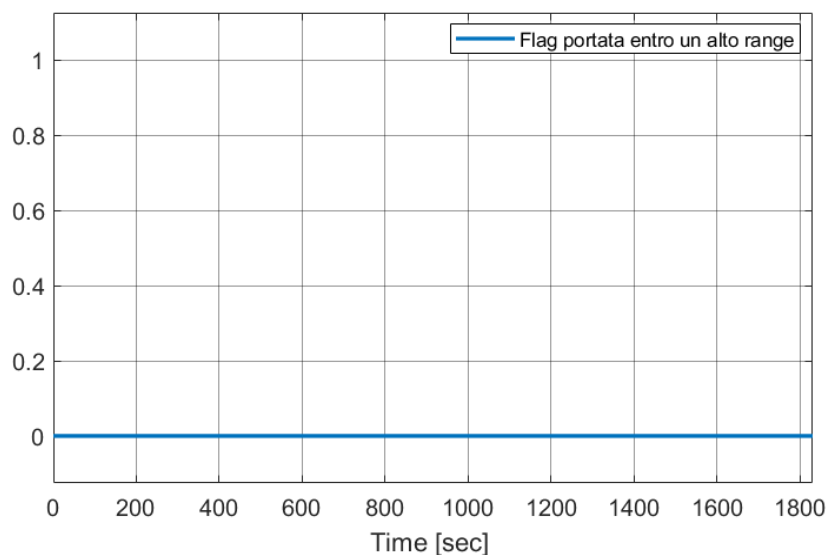


Figura 3.31: Flag condizioni di portata entro un alto range durante il ciclo di guida NEDC SPORT

Ciò implica che l'entrata bassa dell'OR sarà sempre pari a zero. In conclusione, dall'OR può uscire 1 solo se l'output dell'AND di sopra è 1.

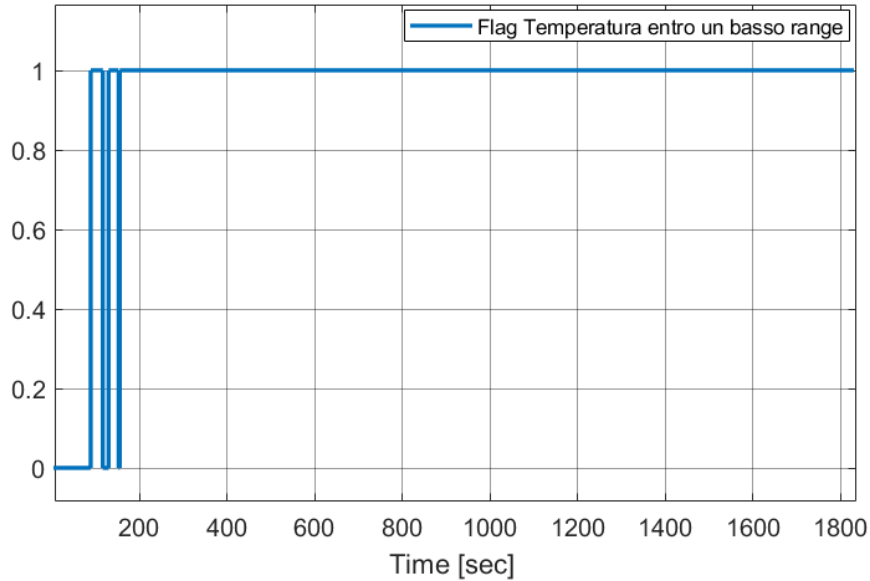


Figura 3.32: Flag condizioni di Temperatura entro un basso range durante il ciclo di guida NEDC SPORT

Come visibile in figura 3.32, il Flag temperatura entro un basso range è nella maggior parte del ciclo verificato e pari ad 1, quindi l'attenzione è stata spostata sul flag portata entro un basso range in input all'AND.

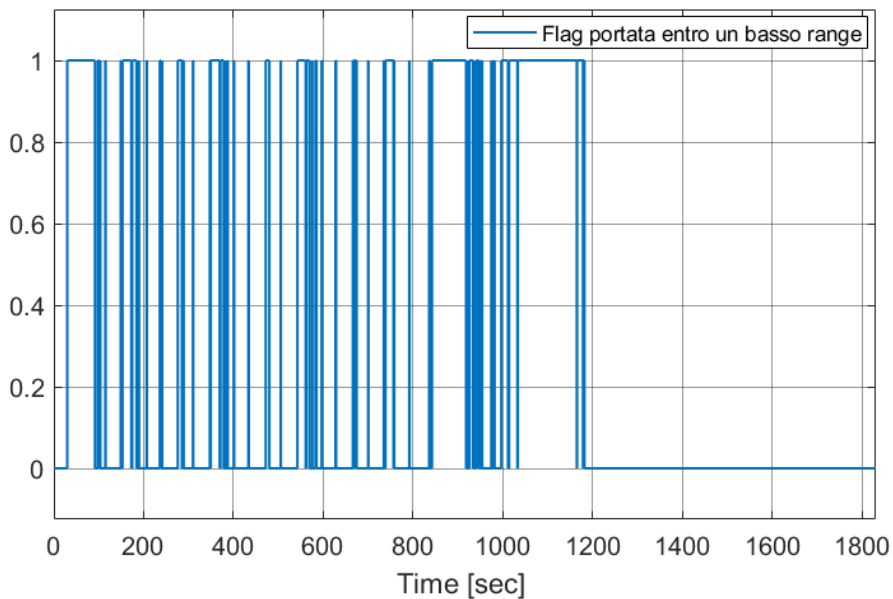


Figura 3.33: Flag condizioni di portata entro un basso range durante il ciclo di guida NEDC SPORT

In figura 3.33 è visibile come esso non è sempre verificato e quindi l'uscita dell'OR dipende direttamente dalla portata dei gas di scarico e dalle soglie imposte nella parte di basso range. A valle dell'OR vi è un altro AND che ha come secondo ingresso il flag stabilità della temperatura del catalizzatore (figura 3.21). Anch'esso è sempre verificato (figura 3.34).

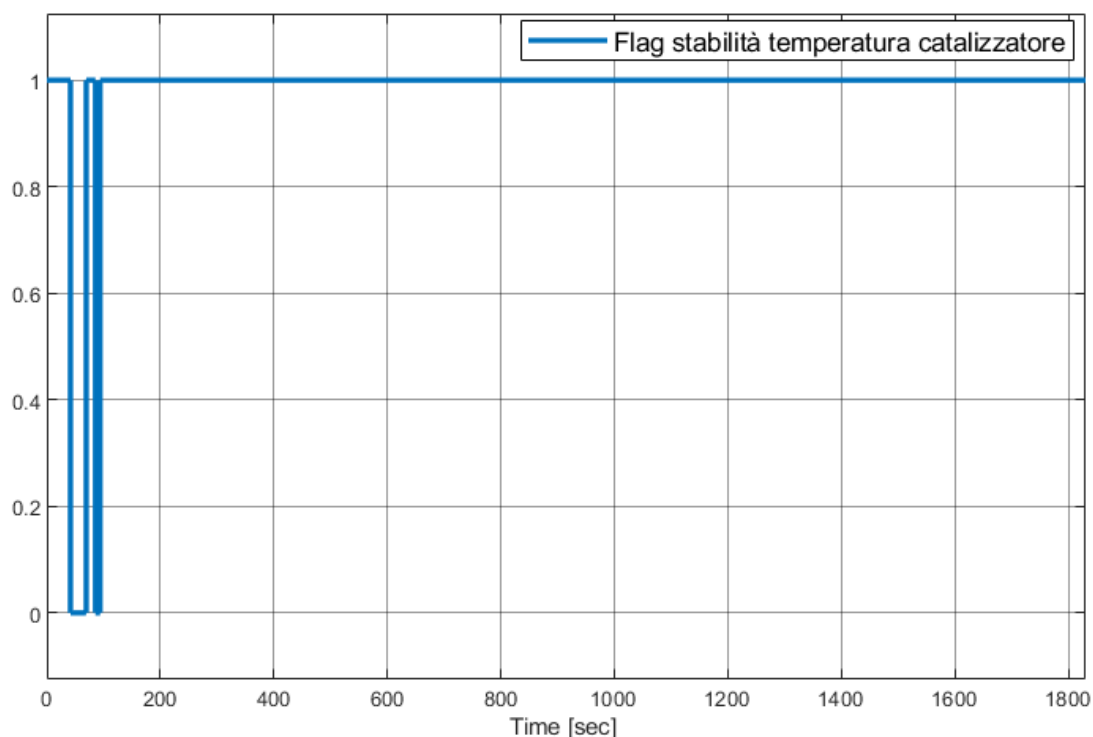


Figura 3.34: Flag condizioni della stabilità della temperatura del catalizzatore durante il ciclo di guida NEDC SPORT

Per cui l'attivazione dell'integrale della portata di gas di scarico a valle di questi operatori logici, che contribuisce all'AND delle condizioni fisiche generali, è direttamente dipendente dal flag della portata entro un basso range. Da questa prima analisi è emerso che la prima variabile sulla quale è necessario condurre uno studio è la portata dei gas di scarico in ingresso al catalizzatore, nonché la soglia corrispondente al range basso.

Per confermare il risultato derivante dall'analisi dei flag si riporta in figura 3.35 un grafico nel quale è rappresentato la variabile di priorità (segnale verde), l'andamento della portata dei gas di scarico (segnale azzurro), la soglia minima da rispettare per i gas (segnale arancio) e il flag inerente a tale soglia (segnale blu). Quando la portata va sottosoglia (zona cerchiata in rosso) il flag diventa 0 e diventerà zero anche il flag delle condizioni fisiche generali per il quale la diagnosi viene abortita.

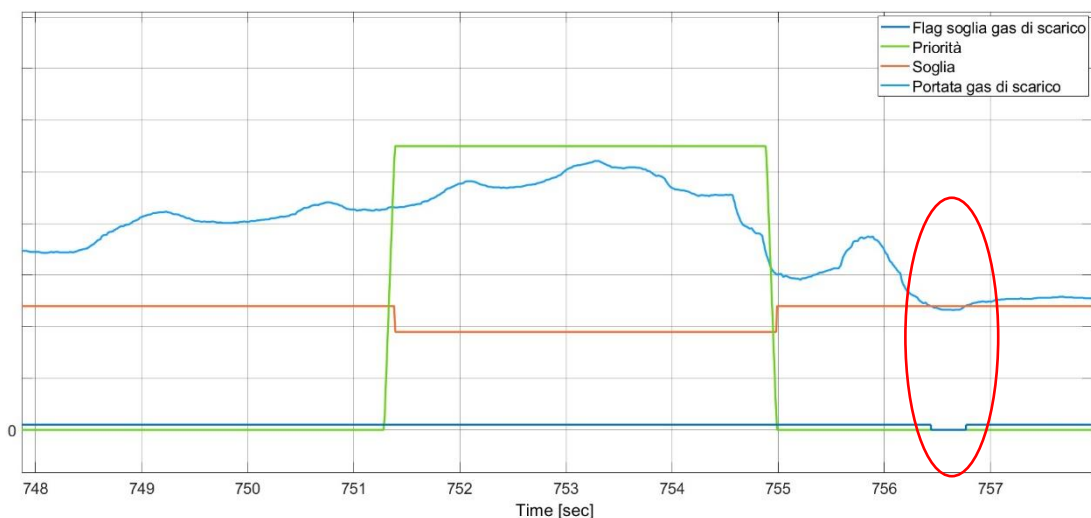


Figura 3.35: analisi del flag dipendente dalla portata dei gas di scarico entro un basso range durante il ciclo di guida NEDC SPORT

Continuando l'analisi degli altri flag si è passati a quello delle condizioni globali e si è evinto come esso influisca in maniera negativa sulla buona riuscita della diagnosi figura 3.36.

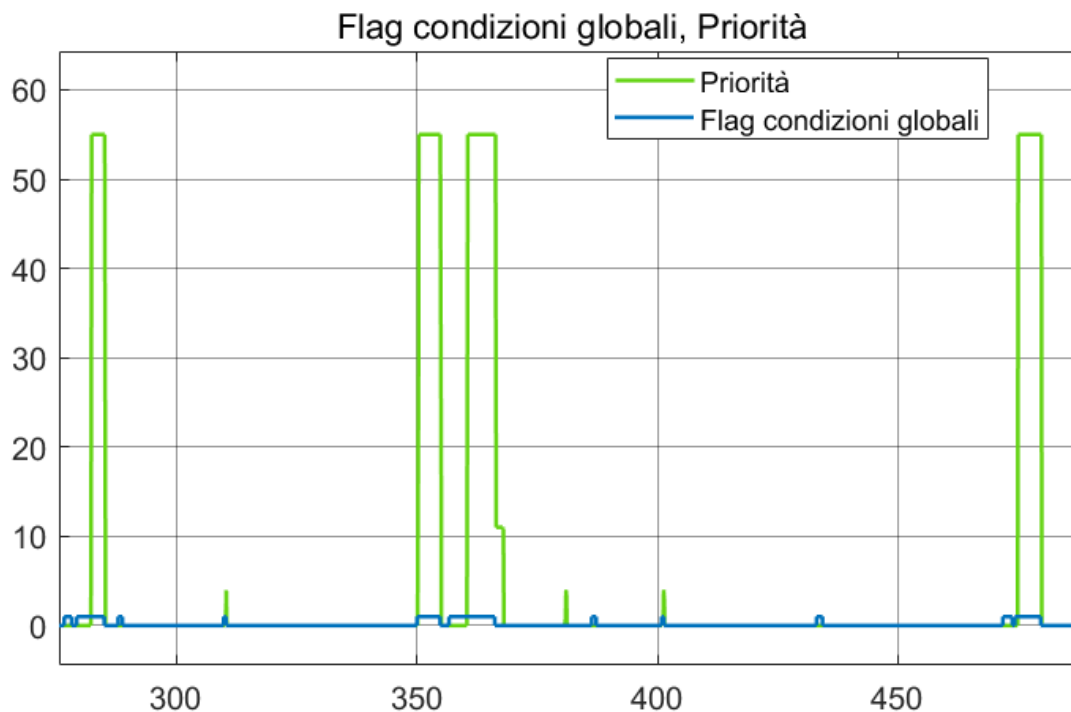


Figura 3.36: Analisi fallimento della diagnosi a causa delle condizioni globali durante il ciclo di guida NEDC SPORT

I grafici di figura 3.35 e 3.36 si riferiscono a due finestre temporali diverse poiché prendono in considerazioni diagnosi, tentate all'interno del ciclo di guida, fallite per i

due differenti flag sopra descritti. In particolare, per il secondo caso (figura 3.36) il segnale verde rappresenta la variabile che gestisce le priorità sul lambda target. Quando esso assume il valore pari a 55 significa che la diagnosi ha inizio, tale valore rimane vero fintanto che la diagnosi è in corso. Il segnale blu rappresenta il flag che verifica le condizioni globali (blocco verde del modello). L'istante in cui la priorità torna a zero significa che la diagnosi è fallita o è conclusa. Come visibile in figura quando il segnale blu diventa zero, anche la priorità si azzerava. Ciò evidenzia che per le 4 diagnosi presenti in figura 3.36 la variabile incriminata del fallimento è nelle condizioni globali. Per ogni misura analizzata si è proceduto in questo modo e si è evinto che la variabile che va ad inficiare il flag delle condizioni globali è il rendimento volumetrico. Questo risultato è stato raggiunto analizzando 7 cicli e controllando a ritroso tutte le condizioni delle variabili legate a quel flag. Di seguito, nello specifico, l'analisi di due delle 4 diagnosi di figura 3.36 che vengono "abortite" per la condizione appena citata.

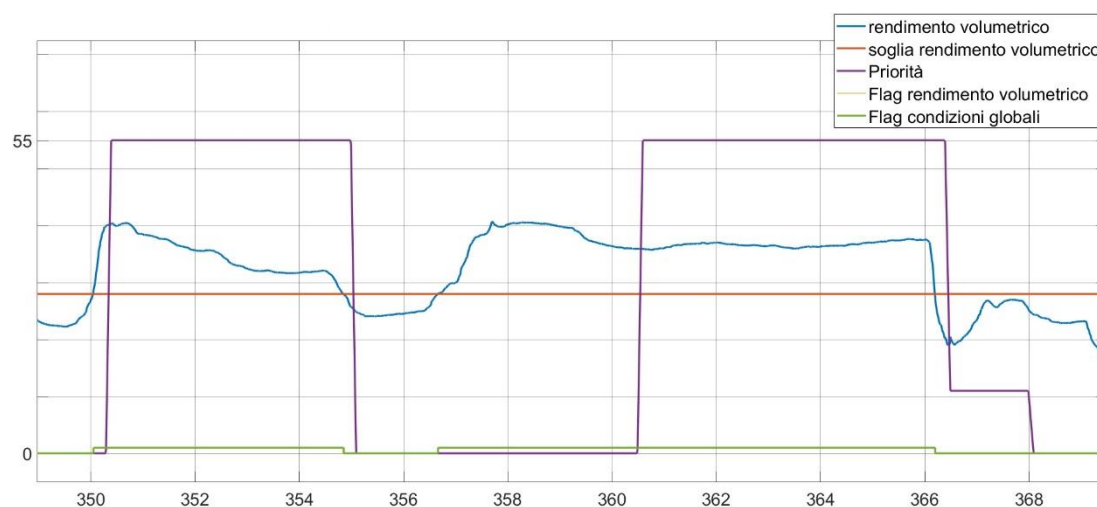


Figura 3.37: Analisi fallimento della diagnosi a causa del rendimento volumetrico durante il ciclo di guida NEDC SPORT

In figura 3.37 viene dimostrato come il flag condizioni globali (segnale verde) diventa zero non appena il segnale del rendimento volumetrico (segnale azzurro) scende sotto la soglia stabilita (segnale arancio). Ciò comporta che il segnale che definisce le priorità diventa zero e la diagnosi viene "abortita".

Dopo aver individuato le variabili che influiscono sul fallimento della diagnosi si è proceduto analizzando nel dettaglio le condizioni che devono soddisfare tali soglie.

Per quanto riguarda il rendimento volumetrico in figura 3.38 è rappresentato il blocco dove è definita la soglia.

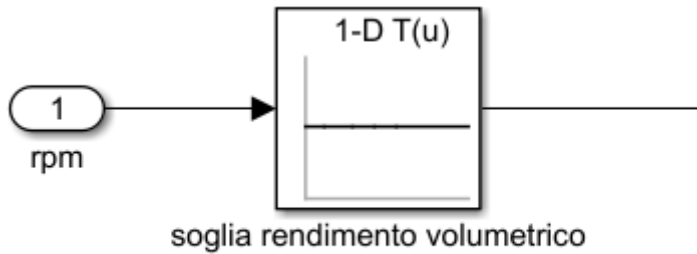


Figura 3.38: Soglia Rendimento Volumetrico

Esso rappresenta una mappa che ha in ingresso i giri motore e in uscita la soglia di rendimento volumetrico. Tale mappa ha come output un valore di soglia costante.

Quando il rendimento volumetrico scende sotto tale soglia la diagnosi non può essere abilitata o se in corso fallisce.

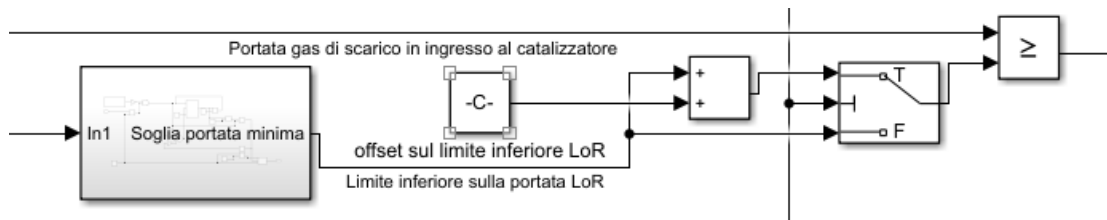


Figura 3.39: soglia portata dei gas di scarico entro un basso range

La figura 3.39 mostra come viene gestita la soglia minima per la portata dei gas di scarico. Riconosciute le leve sulle quali agire, si è proceduto con l'implementazione di uno script matlab che in maniera automatica fa variare le due soglie, tenendo fissa una e variando l'altra per diversi intervalli. Le soglie ottimali sono state scelte facendo in modo che le condizioni fisiche generali fossero verificate per un intervallo di tempo sufficiente a far concludere la diagnosi. Inoltre, tali soglie hanno anche il compito di escludere le zone del ciclo nel quale la diagnosi comincia senza riuscire ad essere terminata.

Per sintesi si riporta il ciclo NEDC effettuato con la vettura in modalità SPORT in cui vi sono 10 diagnosi delle quali le prime 9 falliscono.

In figura 3.40 è riportato l'andamento delle variabili prese in considerazione durante il ciclo, i rispettivi flag e la variabile che gestisce le priorità.

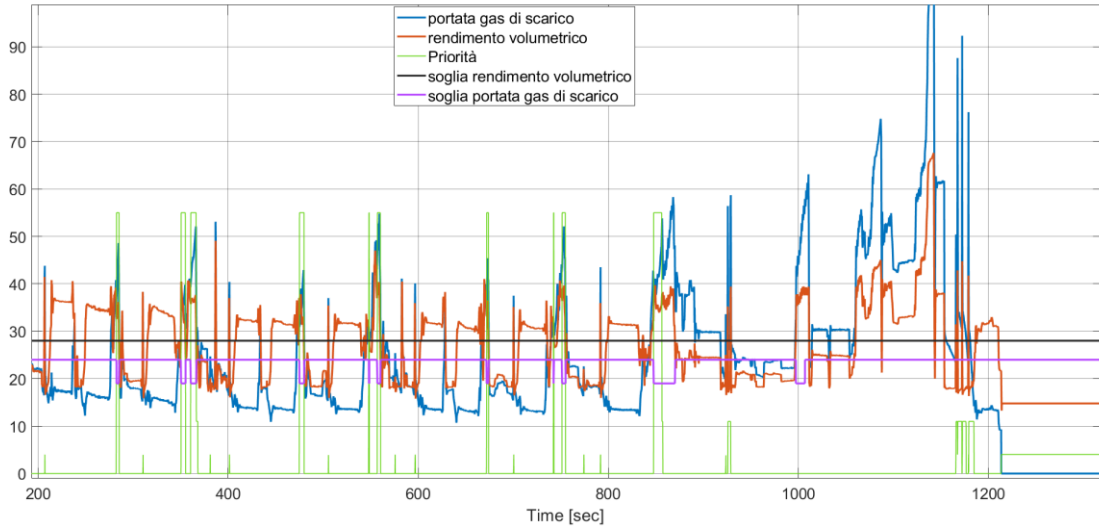


Figura 3.40: analisi su un intero ciclo NEDC SPORT

Le prime 9 diagnosi (segnale verde alto) falliscono. Per far sì che la diagnosi non cominci proprio in queste finestre temporali, è necessario avere le soglie (segnale nero e segnale magenta) spostate verso l'alto, a valori superiori ai segnali rosso e blu così che il rendimento volumetrico e la portata dei gas di scarico si trovino sempre sottosoglia. Ciò ha portato alla scelta di soglie abbastanza alte da costringere la diagnosi ad avvenire solo nella parte finale del ciclo. Infatti, per quanto riguarda il ciclo NEDC preso in considerazione, si ha un'elevata accelerazione nella parte finale del ciclo (si veda il capitolo 1), quando il carico è alto, e di conseguenza rendimento volumetrico e portata dei gas salgono notevolmente. In seguito, in figura 3.41, si riporta l'andamento del flag delle condizioni fisiche generali per nuove soglie.

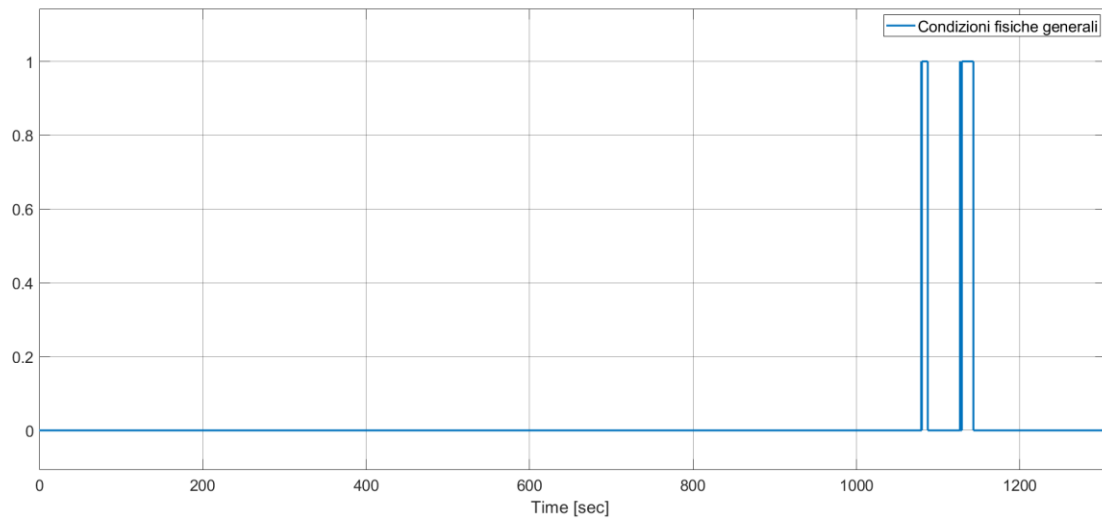


Figura 3.41: Condizioni fisiche generali con nuovi parametri di calibrazione

La finestra temporale tra 1000 e 1200 secondi corrisponde alla parte finale del ciclo descritta prima. È apprezzabile come le condizioni fisiche generali sono sempre a zero nella parte in cui il sistema aveva fallito ben 9 diagnosi. Inoltre, il flag rimane alto per un tempo maggiore di quello impiegato dalle diagnosi concluse, quindi tale risultato può essere affidabile riguardo la buona riuscita della diagnosi.

Conclusioni e futuri sviluppi

In conclusione, si può ritenere che a fine progetto si siano raggiunti gli obiettivi minimi prefissati. È stato compreso in maniera accurata il principio di funzionamento dell'algoritmo di diagnosi implementato nella centralina motore. In seguito, è stato sviluppato e validato un modello di simulazione. Con l'aiuto di tale strumento è stato possibile fare delle analisi approfondite e delle prove prima di effettuare i test in vettura. Dalle analisi effettuate su diversi cicli di guida sono state isolate le variabili che rappresentano criticità per la diagnosi. Successivamente, sono stati individuati dei valori ottimali con i quali è possibile far concludere la diagnosi ed evitare che questa fallisca con un'incidenza importante sull'aumento di emissioni inquinanti. In particolare, il dato più interessante è quello che rappresenta la possibilità di utilizzare la portata gas di scarico in ingresso al catalizzatore al posto del rendimento volumetrico. Lavorando con la portata come parametro principale dal quale dipende la diagnosi, infatti, si rende il sistema più robusto dal punto di vista fisico. Difatti, eliminando la dipendenza dal rendimento volumetrico, non si è più legati al regime del motore e, di conseguenza, non vi è differenza se l'utilizzo della vettura viene fatto in modalità normale o in modalità SPORT (tali modalità cambiano lo shift pattern del cambio). Inoltre, si può lavorare sull'integrale di figura 3.21. Nella fattispecie, a valle di un'analisi statistica su più misure, nelle quali viene calcolata la massa immagazzinata durante le diagnosi fallite, si può impostare un valore di soglia minimo di massa. Tale valore minimo può essere scelto in modo tale che vada ad escludere i tentativi in cui il valore della portata dei gas di scarico si trova sopra la soglia della portata ma per un tempo breve che non consentirebbe la buona riuscita della diagnosi.

L'idea per gli sviluppi futuri è quella di testare l'affidabilità delle modifiche descritte su diversi tipi di cicli guida, in modalità normale e sport. Analizzare se effettivamente la diagnosi riesce ad avere esito positivo in un unico tentativo e valutare quante siano le finestre disponibili nelle quali vi sono le condizioni per attivarla.

Tale soluzione deve inoltre essere testata su cicli di guida reali per verificare che il cambio delle soglie non porti ad una diminuzione della frequenza con cui le diagnosi vengono eseguite (indice IUMPR).

Fonti bibliografiche e sitografia

- [1] John B. Heywood - *“Internal Combustion Engine Fundamentals”*, McGraw-Hill Education; 2 edizione, 2018.
- [2] Jerzy Merkisz, Rafa Grzeszczyk - Society of Automotive Engineers of Korea *“Methods Used to Assess the Performance of the Oxygen Sensors Monitors and the Catalytic Converter Monitors Implemented in Onboard Diagnostic Systems”*, SAE paper, 2004.
- [3] Nicolò Cavina – Dispense del corso di *“Motori a combustione interna e propulsori ibridi M”*.
- [4] Nicolò Cavina – Dispense del corso di *“Sperimentazione e calibrazione di motori a combustione interna”*.
- [5] C. Buratti, E. Moretti *“Strumenti tecnologici per la riduzione delle emissioni da autoveicoli”*, Primo Rapporto APAT, Roma, Luglio 2004