

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

in

Propulsori termici e ibridi per autoveicoli M

**Ottimizzazione del tempo di
iniezione durante le fasi di
rigenerazione del filtro
antievaporativo**

Di:

Lorenzo Tombari

Relatore:

Chiar.mo Prof. Ing. Nicolò Cavina

Correlatori:

Ing. Matteo Montirosi

Ing. Giovanni Sartoni

INDICE

Pagina

1	Introduzione	3
2	Layout e gestione del sistema antievaporativo	9
2.1	Layout e funzionamento	9
2.2	Gestione	12
3	Strategia di controllo	17
3.1	Modello Simulink	18
3.2	%F	22
4	Calibrazione	29
4.1	Piano prove	29
4.2	Catena di misura	31
4.3	Acquisizioni	33
4.4	Analisi in frequenza	34
4.5	Verifica	36
4.6	Proposta di calibrazione	41
5	Delibera	45
5.1	Risultati	47
6	Verifica	55
6.1	Risultati	56
7	Conclusioni	65
A	Appendice A: Analisi misure di durata	67
A.1	Interfaccia grafica	67
A.2	Lista condizioni	68
A.3	Risultati	69
A.4	Ottimizzazione memoria	70

B Appendice B: STFFT e colormap **73**

B.1 STFFT 73

 B.1.1 STFFT con overlap 75

B.2 Interfaccia grafica 75

1 Introduzione

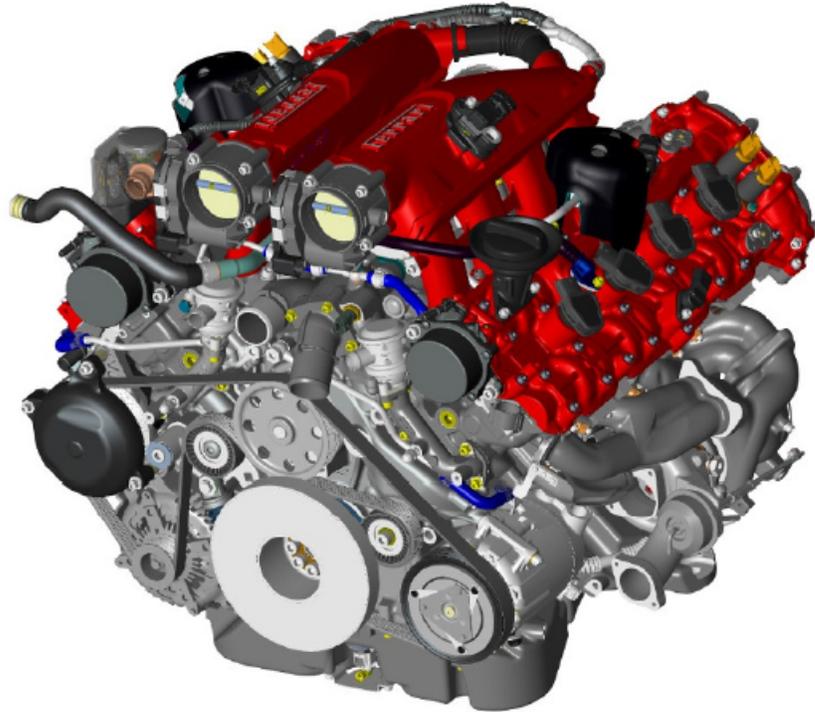


Figura 1: *Motore V8 biturbo*

Il motore su cui si è incentrata l'attività di tesi è un motore biturbo, con otto cilindri a V, derivato da quelli già equipaggiati su modelli come la Ferrari California T e 488 GTB.

Esso è dotato, come tutti i motori di più recente concezione, di un sistema di iniezione diretta. Sono molteplici i vantaggi che questo sistema apporta rispetto al tradizionale sistema di iniezione nel collettore di aspirazione. Il vantaggio principale è la possibilità di dosare con esattezza la quantità di combustibile da iniettare. Inoltre la vaporizzazione del combustibile in camera causa un abbassamento di temperatura della miscela che consente di aspirare una maggiore massa d'aria e quindi avere maggiori rapporti di compressione, con conseguente incremento dell'efficienza.

Ma da diversi anni a questa parte, la normativa sempre più stringente sulle emissioni

ha introdotto un elemento di disturbo, imponendo l'installazione di un circuito antieva-
porativo, che impedisca ai vapori di benzina (HC) che si formano nel serbatoio di essere
dispersi in atmosfera. Essi vengono quindi reindirizzati nel collettore di aspirazione,
da cui raggiungono i cilindri insieme alla carica d'aria. La centralina tiene in conside-
razione tale portata aggiuntiva di combustibile e corregge di conseguenza il tempo di
iniezione, equamente su tutti i cilindri. C'è però la possibilità che questa nuova miscela
formatasi nel collettore, a causa delle dinamiche dell'aria, non si distribuisca equamente
tra i cilindri, causando quindi squilibri di coppia indicata. Queste variazioni si ripre-
cuotono sull'albero motore, causando vibrazioni torsionali che vengono necessariamente
scaricate sul telaio tramite i tamponi. I tamponi sono infatti i componenti tramite i
quali il motore è collegato al telaio.

L'obiettivo della prima parte di questa tesi è stato quindi la realizzazione e calibrazione
di una strategia di controllo da applicare in centralina motore in grado di mitigare gli
squilibri di coppia di cui sopra, causa a loro volta di fenomeni di risonanza sui tamponi
percepibili fin dentro l'abitacolo.

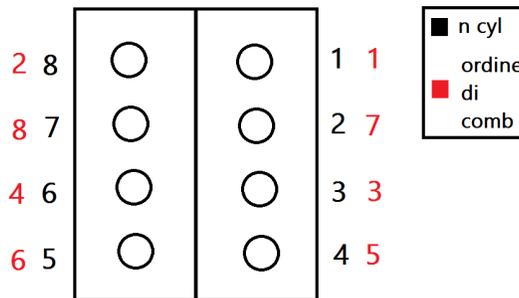


Figura 2: *Schema semplificato della posizione dei cilindri con i rispettivi ordini di combustione*

Prima di passare a considerazioni ulteriori, è bene chiarire come ci si riferirà ai cilindri nel seguito. Essi sono individuati con numeri da 1 a 8, avendo come riferimento la vettura e partendo a contare da davanti a destra fino davanti a sinistra; l'ordine di combustione sarà quindi è 1-8-3-6-4-5-2-7. Si riporta in Figura 2 uno schema semplificato del layout dei cilindri, con la rispettiva numerazione e ordine di combustione.

Il problema in esame è costituito dalla configurazione del polmone: la miscela proveniente dal canister infatti non si distribuisce in egual quantità tra i quattro cilindri della

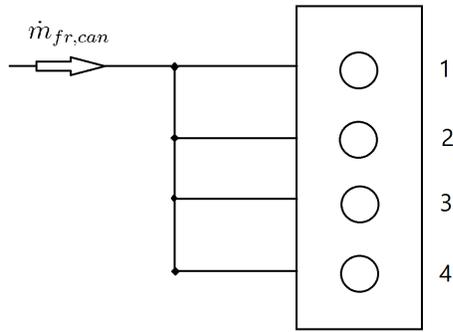


Figura 3: *Schema semplificato della configurazione hardware del percorso della miscela proveniente dal canister*

bancata ma, come si può intuire dallo schema semplificato di Figura 3, viene aspirata principalmente dai cilindri 1 e 2 (nella bancata destra, 8 e 7 nella bancata sinistra).

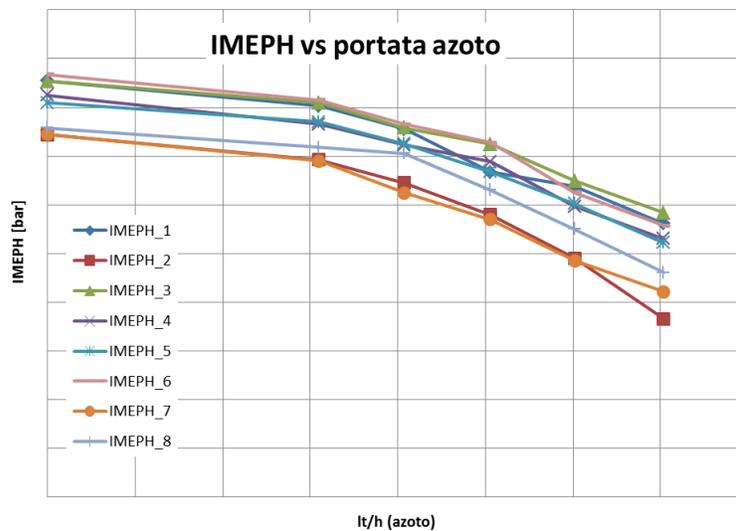


Figura 4: *Coppia erogata dai singoli cilindri al variare della portata di azoto attraverso il canister*

Le considerazioni fatte finora sono sostenute da esperimenti condotti al banco in sala prove aspirando dal canister azoto invece di aria fresca: così facendo i cilindri che riceverebbero maggiori quantità di miscela produrranno meno coppia indicata a causa del difetto di ossigeno.

Osservando il grafico di Figura 4 si noti l'andamento della coppia indicata al variare della portata di azoto attraverso il canister. La Figura 5 invece riporta la diminuzione

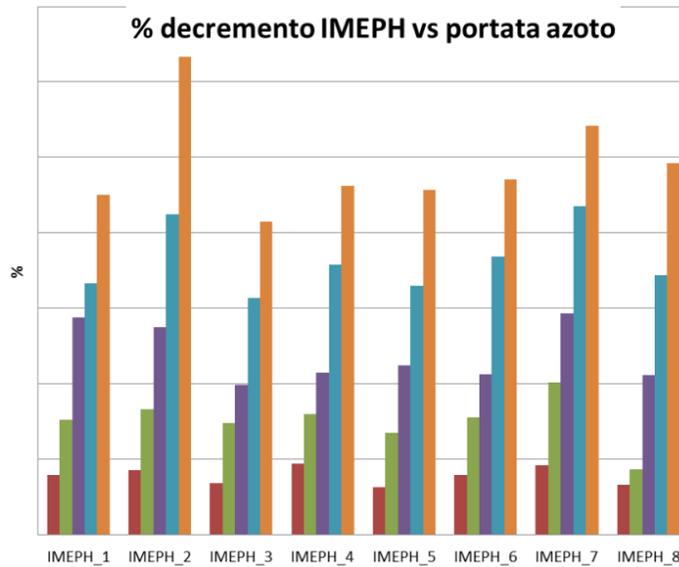


Figura 5: *Diminuzione percentuale della coppia erogata dai singoli cilindri al variare della portata di azoto attraverso il canister. I diversi colori rappresentano diverse portate di azoto, crescenti da sinistra verso destra.*

percentuale della coppia indicata al variare della portata proveniente dal canister rispetto alla coppia nominale, cioè con portata di azoto nulla.

Questo conferma quanto detto finora: i cilindri 1-2-7-8 tendono ad aspirare miscela ricca, mentre 3-4-5-6, al contrario, tendono ad avere miscela magra. Questo è evidentemente causa di squilibri cilindrici di coppia, che come già affermato, con il motore al minimo, danno luogo a fenomeni di risonanza non trascurabili sui tamponi.

La direzione verso cui si è orientata la soluzione è stata quindi quella di una correzione all'iniezione cilindro per cilindro, che si attivasse solo in particolari condizioni operative e che correggesse i tempi di iniezione in funzione del valore di alcuni parametri.

In ambiente Simulink è stata quindi modificata la funzione di centralina di interesse inserendo una nuova strategia di controllo; essa è stata quindi introdotta in centralina con la necessità di essere calibrata. A tale scopo è stato elaborato un piano prove che permettesse di scegliere la prima proposta di calibrazione al variare di alcuni parametri significativi. Successivamente la calibrazione scelta è stata verificata misurando l'intensità delle vibrazioni trasmesse con degli accelerometri montati sul polmone e sulla guida sedile all'interno dell'abitacolo. Infine la strategia è stata validata, equipaggiandola su vetture che accumulavano chilometri e controllando che facesse il suo dovere in qualsiasi

condizione operativa.

La seconda parte della tesi si è incentrata invece sullo sviluppo di un algoritmo in ambiente Matlab in grado di elaborare grandi moli di misure, individuare particolari punti operativi (impostati dall'utente) e creare una reportistica adeguata. Questo algoritmo è nato in particolare con lo scopo di verificare che la strategia sviluppata funzionasse correttamente durante le prove di validazione, ma è in seguito stato ampliato per poter ricercare qualsiasi tipo di manovra o condizione di funzionamento.

L'attività si è svolta all'interno del reparto di Applicazione Motopropulsori di Ferrari S.p.a. sotto la supervisione e con l'aiuto dell'Ing. Matteo Montirosi e dell'Ing. Giovanni Sartoni.



2 Layout e gestione del sistema antievaporativo

2.1 Layout e funzionamento

Negli anni '70 gli Stati Uniti d'America sono stati i primi a regolamentare per legge le emissioni inquinanti prodotte dai veicoli. L'attenzione a questo problema si è estesa negli anni successivi a gran parte del mondo occidentale ed è ancora oggi in continua evoluzione. Dapprima le norme indicavano solo i limiti massimi riguardanti le emissioni misurabili allo scarico del motore, ma in seguito l'attenzione si è estesa alle emissioni prodotte dall'intero veicolo, inteso come un unico sistema inquinante. Se infatti è vero che la maggior parte delle sostanze nocive prodotte da una vettura si genera durante la combustione del combustibile, è indubbio che anche altri componenti del veicolo emettono inquinanti di vario genere. Un esempio sono le guarnizioni di attrito dei freni e delle frizioni, composte in genere di materiali che durante l'uso rilasciano una polvere finissima che entra in atmosfera e cade al suolo. Non a caso anni fa è stato vietato l'uso dell'amianto nella produzione di tali componenti. Da diversi anni la normativa impone ai costruttori di automobili di dotare i veicoli di adeguati sistemi che impediscano ai vapori di combustibile presenti nel serbatoio di essere emessi in atmosfera. Per raggiungere tale scopo è stato introdotto il sistema antievaporativo, che reindirizza appunto i vapori di benzina verso il collettore di aspirazione.

Come si può vedere in Figura 6, esso si compone di pochi elementi:

- un filtro a carboni attivi, il *canister*;
- due elettrovalvole, una per bancata, dette CPV (*Canister Purge Valve*);
- una pompa DM-TL, necessaria per la diagnosi di tenuta del serbatoio;
- un filtro dell'aria;
- solo nei motori sovralimentati, un ugello di Venturi per bancata con relative valvole di non ritorno.

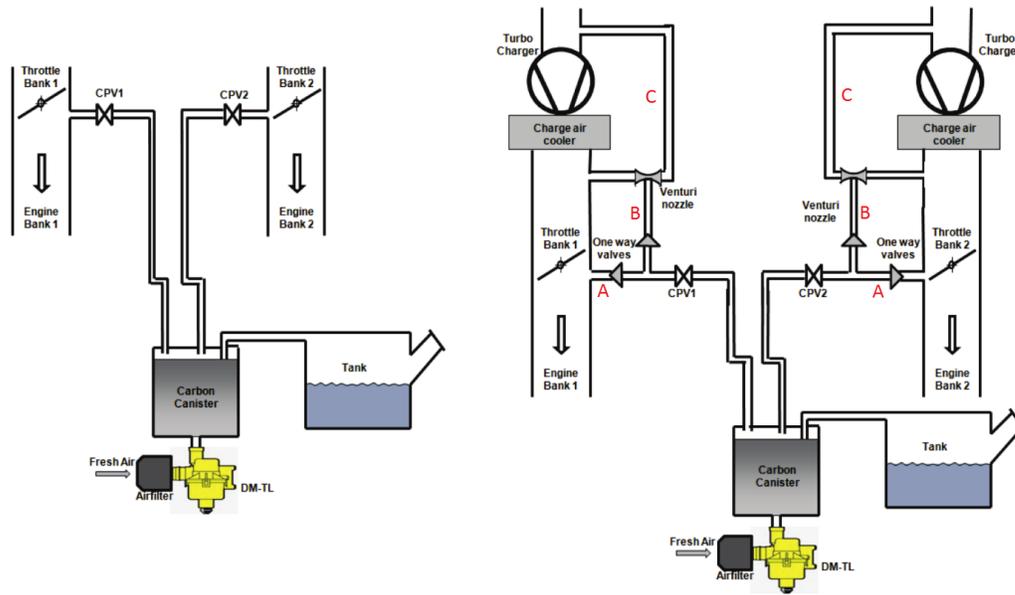


Figura 6: *Schema di un sistema antievaporativo per un motore aspirato (a sinistra) e per un motore biturbo (a destra)*

La prima condizione necessaria per impedire la dispersione di vapori di benzina è sicuramente il tappo del serbatoio a tenuta stagna. I vapori generatisi però devono poter lasciare il serbatoio per evitare di pressurizzarlo, per questo sono convogliati verso il filtro a carboni attivi contenuto nel canister. Grazie al suo grado di microporosità, il carbone attivo ha un potere adsorbente elevatissimo, che lo rende il candidato perfetto per la rimozione di vapori da correnti di gas, come in questo caso. I vapori di benzina rimangono infatti intrappolati all'interno del filtro mentre l'aria è libera di passare oltre. Come ogni filtro, anche i filtri a carboni attivi hanno una capacità, oltre la quale perdono il loro potere filtrante. Per questo vanno rigenerati facendoli attraversare da una corrente di aria pulita.

La differenza di pressione tra gli ambienti a monte e valle canister è proprio la causa della portata di aria fresca di lavaggio, che passando attraverso il filtro porta con sé i vapori di benzina verso il collettore di aspirazione, rigenerando la capacità adsorbente dei carboni. Tale portata è regolata dalle CPV, alimentate tramite la tecnica PWM (*Pulse Width Modulation*) dalla ECU (*Engine Control Unit*), in base al grado di saturazione del canister stesso.

Nei motori aspirati la differenza di pressione è data direttamente dalla differenza tra

la pressione ambiente e la pressione di collettore. Si avranno quindi maggiori lavaggi a carichi parziali, a parità di duty cycle di alimentazione delle CPV.

Nei sistemi turbo lo schema è leggermente diverso: la pressione a valle farfalla è infatti maggiore di quella atmosferica durante le fasi di funzionamento sovralimentato. Si noti nella parte destra di Figura 6 la differenza di layout: a valle della CPV il condotto si dirama, e ciascuna diramazione ha montata una valvola di non ritorno. Quando il motore funziona in modalità aspirata, il sistema lavora come descritto in precedenza, ossia la depressione a valle farfalla crea portata di lavaggio attraverso il condotto A. Ma quando il turbocompressore è attivo, è la presenza di un ugello di Venturi all'estremità della diramazione B a garantire portata attraverso il canister: infatti parte della portata elaborata dal compressore viene spillata lungo il condotto C, che mette in comunicazione gli ambienti a valle e a monte del compressore stesso (nel caso di funzionamento in aspirato le pressioni alle estremità di questo condotto coincidono), sul quale è montato l'ugello. La differenza di pressione tra monte e valle compressore dà luogo ad una portata, che genera nella sezione di gola dell'ugello una depressione sufficiente a creare portata attraverso il condotto B, inviando così la miscela nell'ambiente a monte del compressore, pronta ad essere ricevuta dal collettore di aspirazione.

Perché tutto questo funzioni, il serbatoio deve avere tenuta stagna. È proprio la

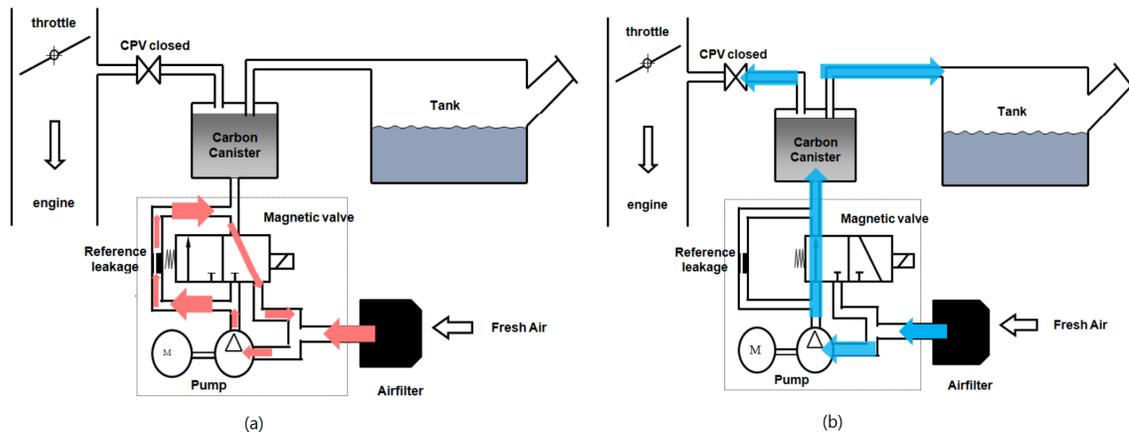


Figura 7: (a) Fase 1 - Calcolo del valore di soglia; (b) Fase 2 - Pompaggio aria nel serbatoio

pompa DM-TL a diagnosticare la tenuta del tappo o la presenza di eventuali fori nel serbatoio. La verifica avviene in due fasi, mostrate in Figura 7: durante la prima fase

l'aria viene ricircolata all'interno della DM-TL stessa, attraverso un passaggio calibrato di 0.5 mm di diametro, utilizzato come foro di riferimento. Il valore di corrente richiesto dalla pompa per far fluire l'aria viene memorizzato ed utilizzato come valore di soglia per la seconda fase. Durante la seconda fase infatti, le CPV vengono chiuse e l'aria fresca viene pompata nel serbatoio. All'aumentare della pressione dello stesso, cresce la corrente assorbita dalla pompa (Figura 8) e se tale valore supera la soglia, significa che il serbatoio non ha perdite. Al contrario se la corrente non raggiunge mai la soglia significa che c'è una perdita attraverso un foro di diametro almeno pari a 0.5 mm.

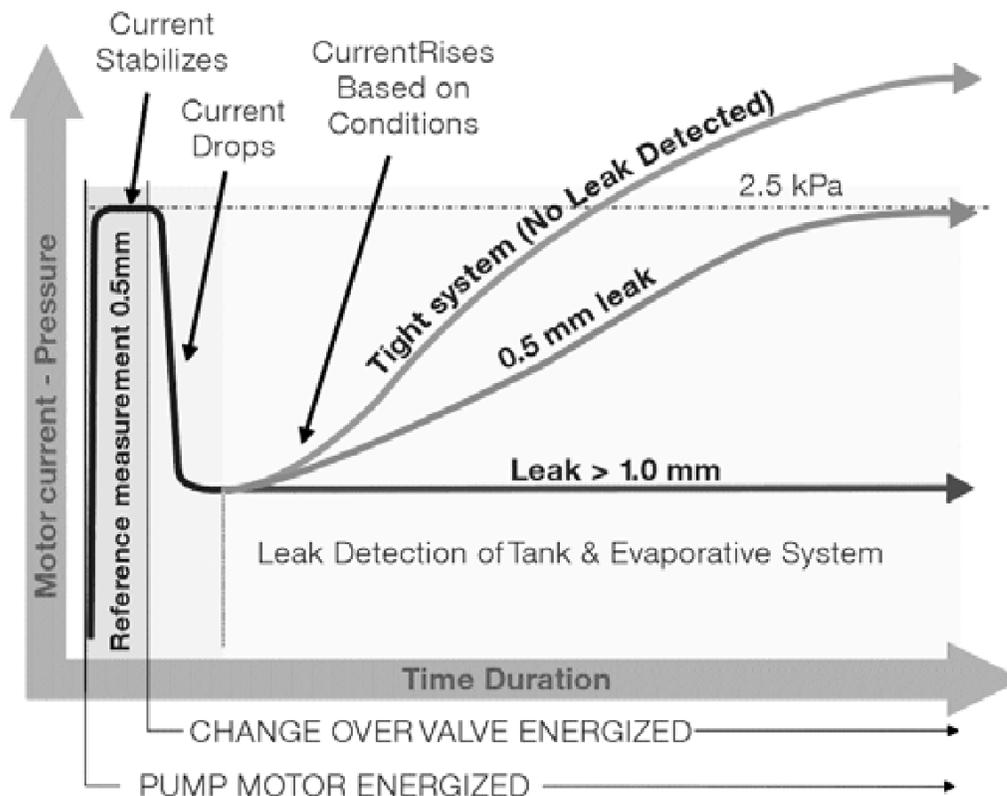


Figura 8: *Andamento della corrente assorbita dalla pompa in caso di serbatoio con e senza perdite*

2.2 Gestione

Prima di procedere è bene accennare all'architettura e funzionamento della ECU (*Electronic Control Unit*) che controlla questo motore, la centralina Bosch MED17. Essa

basa la sua architettura sullo standard AutoSar, che prevede un'astrazione formata da tre livelli di software, mostrati in Figura 9.

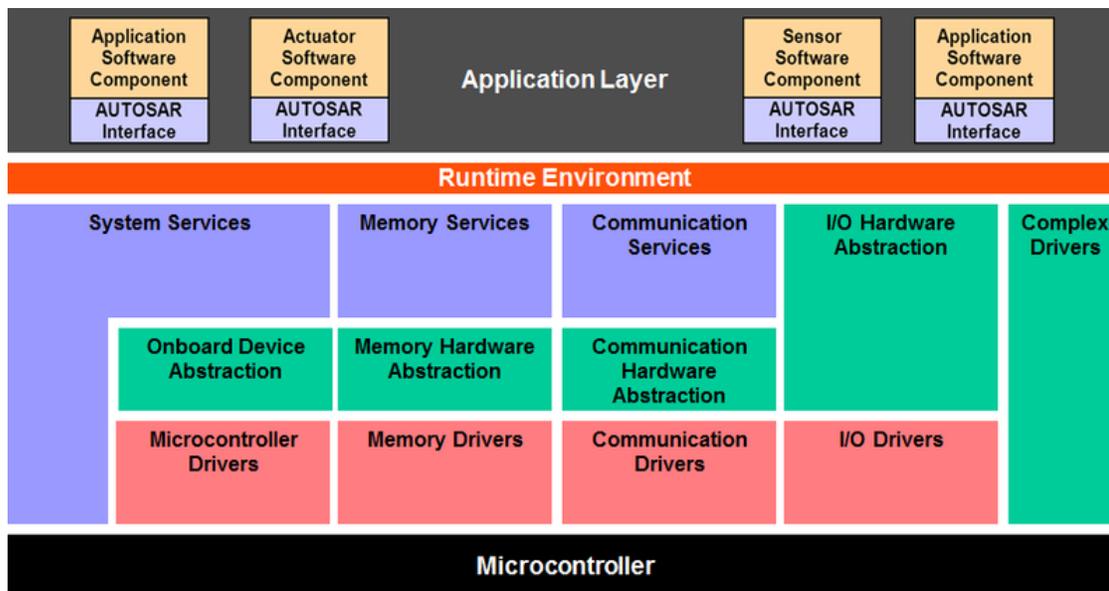


Figura 9: Schema di architettura di centralina secondo il modello Autosar

Partendo dal basso livello a salire si incontrano:

- BSW (*Basic Software*), che è scritto per i particolari microcontrollore e periferiche che equipaggiano la ECU, e che a sua volta è suddiviso in tre sottocategorie: *Services*, *ECU Abstraction* e *Microcontroller Abstraction*.
- RTE (*Realtime Environment*), è il livello che rende possibile la comunicazione tra BSW e livello applicativo.
- livello applicativo (*Application Layer*), principalmente indipendente dalla componentistica hardware, che è proprio il livello che è possibile modificare e calibrare.

Il linguaggio utilizzato per la programmazione di questo livello è ASCET (*Advanced Simulation and Control Engineering Tool*), un linguaggio a blocchi (Figura 10) che permette di creare i software veri e propri da *flashare* nella ECU.

Compito della parte software in ECU che gestisce il sistema antievaporativo è quello di regolare la portata che arriva al collettore di aspirazione tramite il duty-cycle delle

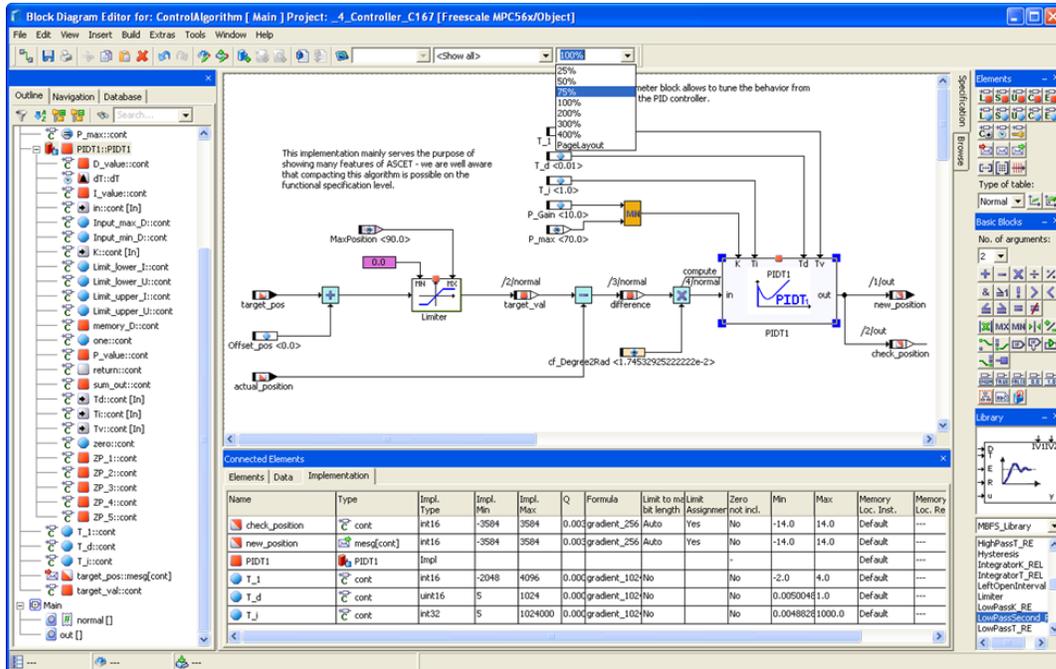


Figura 10: Esempio di programmazione a blocchi in linguaggio ASCET

CPV, stimare il titolo di tale miscela e correggere di conseguenza la quantità di benzina iniettata in camera. Il lavaggio deve essere tale da mantenere sempre elevato il potere assorbente dei carboni: in caso di saturazione infatti si creerebbe condensa di benzina, che a causa delle alte temperature costituisce un considerevole rischio di incendio. A questo scopo la normativa impone che in sede di omologazione il sistema produca un volume di lavaggio minimo, dato dall'integrale della portata di lavaggio calcolata sull'intero ciclo di omologazione. Lavaggi eccessivi, d'altra parte, rappresenterebbero un problema perché comporterebbero un elevato apporto di miscela dal titolo ignoto.

In un motore ad iniezione diretta, nel collettore di aspirazione è presente solamente aria, ma se il lavaggio del canister è attivo, ciò che si ottiene è una miscela di titolo ignoto. Quindi se non se ne tenesse conto, il rapporto aria/benzina misurato dalle sonde lambda allo scarico potrebbe risultare diverso dal valore di target, e in particolare più ricco. Questo porterebbe a problemi di emissioni e condizioni di combustione diverse da quelle ottimali, con possibili problemi sulla guidabilità.

Ora il controllo del sistema di alimentazione calcola la quantità di benzina da iniettare considerando che il collettore contenga solo aria, mentre quando le CPV sono aperte è quasi sicuro che nel collettore sia presente anche una certa quantità di vapori di ben-

zina. Quello che quindi fa il sistema di controllo è stimare il titolo di tale miscela in retroazione in base al valore della correzione che il controllore applica per mantenere il segnale lambda centrato sull'obiettivo, e di conseguenza regolare la quantità di combustibile da iniettare. Se dopo l'apertura delle CPV il valore di tale correzione è inferiore al valore neutro (cioè minore di 1) è evidente che il canister stia inviando una miscela ricca di HC e pertanto la correzione della quantità di benzina iniettata deve essere effettuata in riduzione. Vale ovviamente il viceversa quando la correzione raggiunge valori maggiori di 1 per imporre uno smagrimento. Questo tipo di strategia permette anche di calcolare una stima dell'attuale concentrazione di vapori all'interno del canister. Se infatti il filtro fosse molto carico, per esempio dopo una lunga sosta della vettura sotto al sole, occorrerebbe tenere aperta la valvola per molto tempo prima di poter osservare che il valore della correzione rientri al valore neutro. Se invece la concentrazione fosse bassa basterebbe molto meno tempo per rigenerare il filtro. Grazie a questo calcolo la strategia può attuare la dovuta correzione alla quantità di benzina iniettata in modo tale da garantire che i cilindri aspirino una miscela al titolo obiettivo.

Per riassumere i punti sopra illustrati: il sistema calcola gli obiettivi di lavaggio attraverso mappe opportunamente calibrate, comanda l'apertura valvola e in base al valore che assume la correzione in catena chiusa imposta dal controllore, limita il lavaggio qualora essa esca dal range di tolleranza. Contemporaneamente stima la concentrazione del filtro e corregge il tempo di iniezione.

3 Strategia di controllo

L'obiettivo della nuova strategia è differenziare le correzioni ai tempi di iniezione per i singoli cilindri quando la vettura è ferma al minimo, per mitigare i fenomeni di risonanza sui tamponi. In base ai risultati di sala prove infatti sono i quattro cilindri (1-2-7-8) più vicini al punto in cui il condotto proveniente dal canister si affaccia sul polmone a ricevere la maggior parte della portata. Per contenere l'effetto della correzione a condizioni operative circoscritte, in modo da non influenzare altri punti di funzionamento in cui non si presenta alcun fenomeno di risonanza, sono stati individuati alcuni parametri sui quali impostare delle soglie di attivazione. Qui di seguito sono riportati i nomi di tali variabili e il range qualitativo per cui si intende attivare la strategia:

- n : questa variabile rappresenta la velocità angolare del motore in giri/min. Questo motore ha due possibili regimi di minimo, uno a 720 giri/min e l'altro a 940 giri/min, con problemi più evidenti al secondo dei due.
- $\dot{m}_{a,r}$: è il rapporto tra la carica aspirata dai cilindri nell'attuale condizione operativa e la carica che verrebbe aspirata in condizioni standard: è quindi indice della coppia che il motore sta erogando; essendo un rapporto adimensionale è espresso in punti percentuali. La dipendenza è stata inserita per valutare il comportamento in presenza o meno di ausiliari (A/C, alternatore...).
- T_{H_2O} : è la temperatura in gradi centigradi ($^{\circ}\text{C}$) del liquido di raffreddamento del motore. Rappresenta un parametro di interesse poiché la strategia potrebbe peggiorare il funzionamento a freddo. Il canister stesso ha una temperatura di soglia sopra la quale iniziare a rigenerare il proprio filtro.
- v : è la velocità del veicolo in km/h. Come già detto, la strategia va attivata solo con veicolo fermo.
- $\dot{m}_{fr,can}$: è il rapporto tra la massa di benzina aspirata proveniente dal canister e la massa di benzina che sarebbe necessario iniettare per ottenere la stechiometria in caso di $\dot{m}_{a,r}=100\%$; come $\dot{m}_{a,r}$ è espresso in punti percentuali. Questo sarà il parametro fondamentale attorno al quale ruoterà la calibrazione: sono infatti ignoti a priori i valori per i quali la strategia deve essere attivata e quando è attiva, quanto accentuata debba essere la correzione.

Le soglie di attivazione non sono state imposte a gradino per evitare brusche variazioni di tempi di iniezione tra una combustione e quella immediatamente successiva. Con un'attivazione a gradino si sarebbe potuti andare incontro anche ad oscillazioni di correzione tra lo 0 e il valore massimo nel momento in cui uno dei parametri di attivazione avesse a sua volta oscillato intorno al valore di soglia. L'idea è stata quindi quella di inserire delle mappe con andamenti lineari in modo da addolcire i transitori di attivazione/disattivazione.

3.1 Modello Simulink

All'interno della centralina Bosch MED17 sono presenti diverse funzioni riguardanti il calcolo del combustibile da iniettare, che comprendono tutte le correzioni dovute alle richieste di coppia che avvengono in parallelo. Tra di esse ne sono state individuate quattro come potenziali candidate per ospitare la modifica descritta in precedenza: tali funzioni saranno indicate nel seguito come %F, %G, %H e %K. Esse sono state riprodotte in ambiente Simulink (Figura 11) per poter facilmente inserire la modifica, testarla e validarla prima di implementarla in centralina.

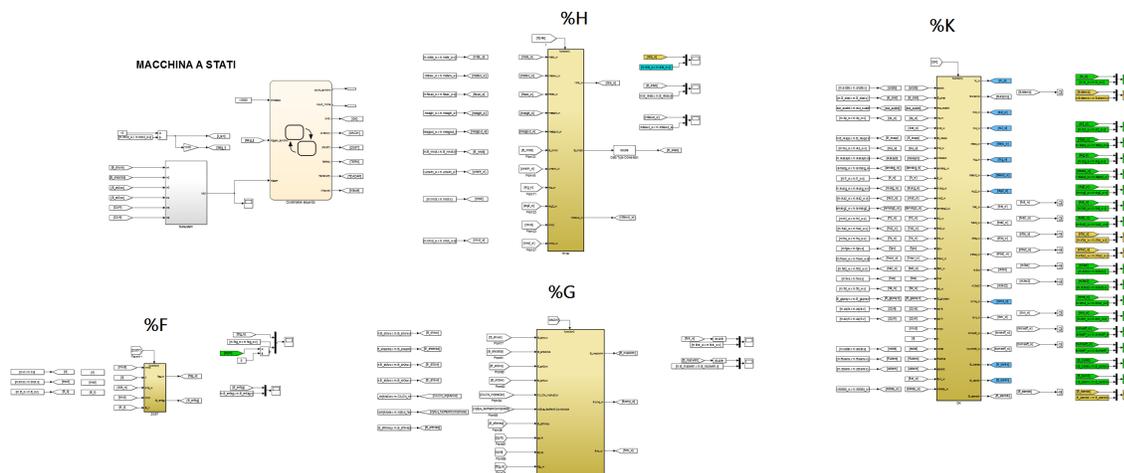


Figura 11: *Modello Simulink delle funzioni di centralina*

%F

%F calcola le correzioni cilindriche all'iniezione da applicare per equilibrare la coppia erogata all'albero.

%G

%G riunisce in un unico vettore di 8 elementi le correzioni all'iniezione provenienti da diversi punti del sistema di controllo.

%H

%H è la funzione che in base alla portata di miscela proveniente dal canister e al suo livello di saturazione (e quindi al titolo della miscela) calcola la quantità di benzina che arriva al polmone e che va quindi sottratta al totale da iniettare.

%K

%K riunisce tutte le informazioni e calcola la quantità di benzina da iniettare nel prossimo cilindro (rispetto all'istante di calcolo) considerando anche la quantità proveniente dal canister.

La Figura 12 riporta il diagramma di flusso delle quattro funzioni.

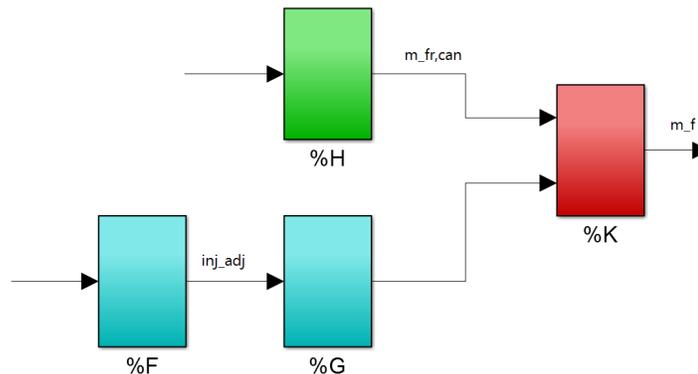


Figura 12: *Diagramma di flusso delle quattro funzioni riprodotte in ambiente Simulink.*

Queste quattro funzioni sono state validate prima singolarmente, poi tutte insieme. Nelle Figure 13, 14 e 15 sono riportati, per le funzioni %F, %G e %H, gli andamenti dei segnali misurati e di quelli calcolati dal modello Simulink, avendo come ingresso i segnali reali. La funzione %K era preesistente e quindi già validata.

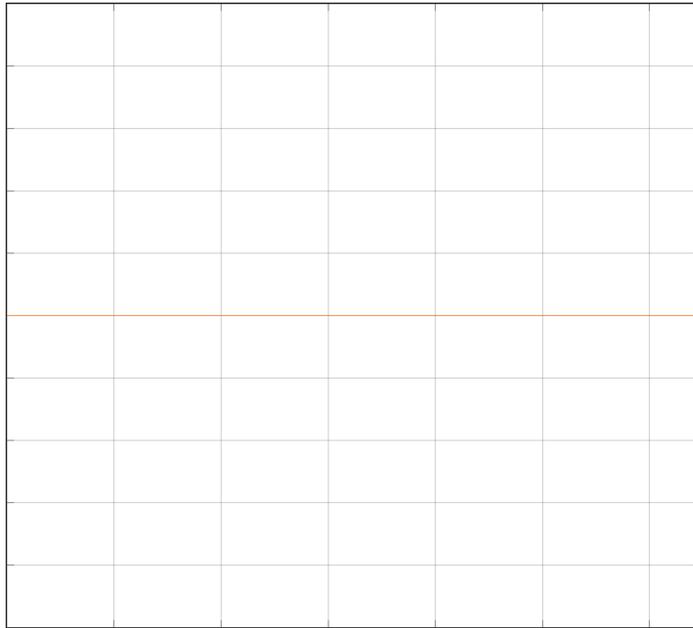


Figura 13: *Output di %F: in blu il segnale acquisito da centralina motore, in arancione il segnale calcolato dal modello. In questo caso l'output della funzione era sempre pari a 1.*

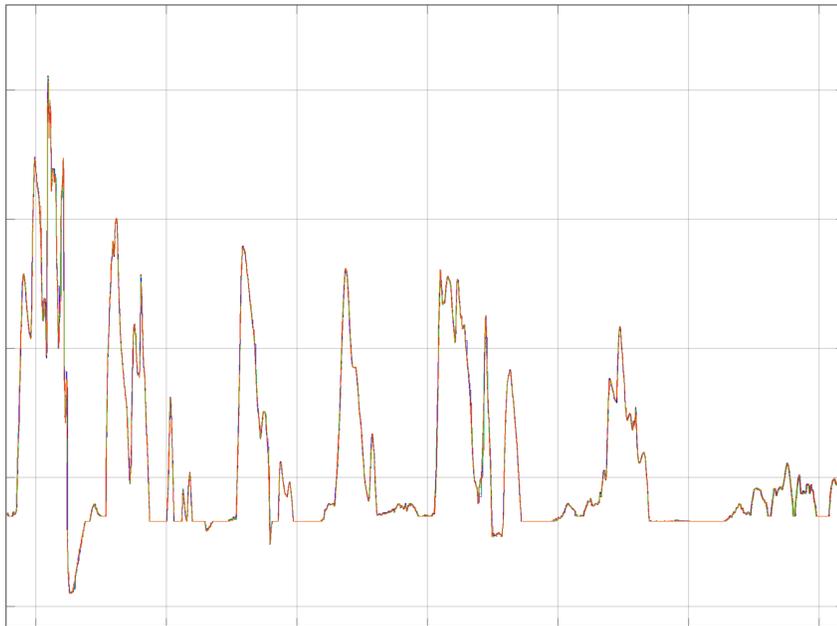


Figura 14: *Output di %G: il segnale plottato è costituito da otto elementi, uno per ogni cilindro.*

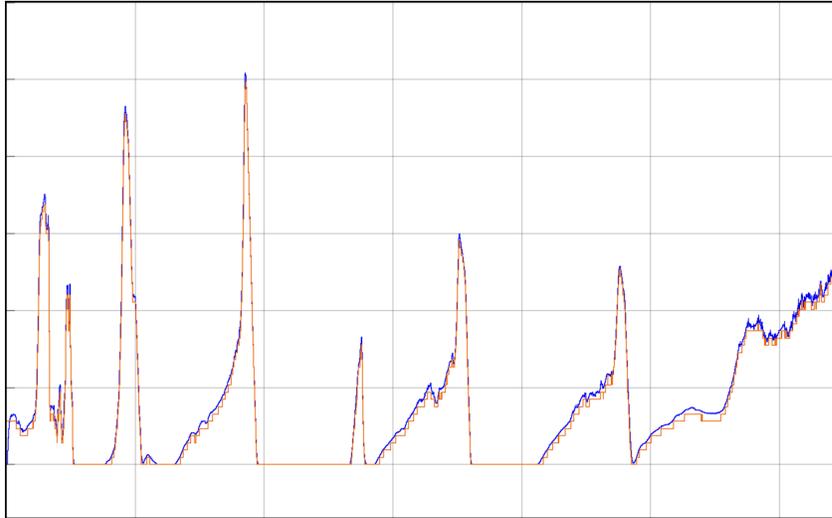


Figura 15: *Output di %H: in blu il segnale acquisito da centralina motore, in arancione il segnale calcolato dal modello*

Osservando i risultati ottenuti, si può vedere come gli output calcolati in Simulink corrispondano ai valori acquisiti in centralina, salvo errori numerici o di quantizzazione. Per testare tutte le funzioni insieme è stato necessario l'utilizzo di una macchina a stati per poter simulare verosimilmente il comportamento della centralina. Le funzioni riprodotte infatti non vengono calcolate tutte alla stessa frequenza dalla ECU. All'interno della macchina a stati vengono impostati i task di calcolo delle funzioni e il valore dello step di calcolo, più piccolo possibile compatibilmente con i tempi di calcolo a disposizione. Ogni volta che lo step arriva ad un valore corrispondente ad un multiplo di uno dei task di calcolo, un trigger richiama tutte le funzioni assegnate a quel particolare task.

L'insieme di questi modelli è stato validato, prendendo in ingresso i valori misurati in input alle funzioni %F e %H e confrontando gli output del modello Simulink con le uscite (misurate) di %K. In Figura 16 sono riportati proprio gli andamenti dell'output di %K: esso è la quantità di benzina da iniettare nel prossimo cilindro, in funzione del tempo. Si noti come anche qui gli andamenti calcolato e acquisito si discostino solo a causa di approssimazioni numeriche.

Il modello a questo punto è stato ritenuto validato, e quindi pronto ad includere la nuova strategia. Ultimo passo è stata la scelta della funzione più idonea ad ospitarla. Essa è, per quanto detto finora, la funzione %F.

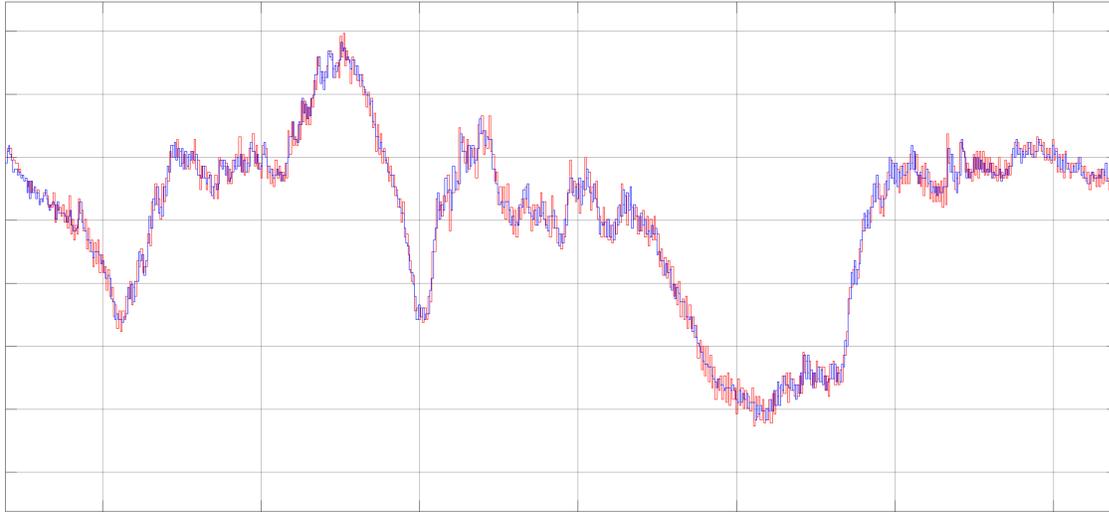


Figura 16: *Output di %K: in blu il segnale acquisito da centralina motore, in rosso il segnale calcolato dal modello*

3.2 %F

La funzione %F è stata scelta per l'applicazione della modifica oggetto di questa tesi poiché contiene già un vettore di correzioni cilindriche ai tempi di iniezione. Inserendo la modifica proprio prima dell'uscita della funzione è stato possibile avere una modifica non invasiva e che mantenesse lo stesso nome per la variabile in uscita, in modo da non coinvolgere tutte le funzioni a valle.

%F/Main

Questo sottosistema è il cuore della funzione %F. Ha infatti come output il vettore inj_{adj} , i cui elementi corrispondono al rispettivo cilindro in ordine di combustione (Figura 17) e contengono proprio la correzione cilindrica alla quantità di combustibile da iniettare.

Gli elementi di inj_{adj} sono definiti all'interno di un altro sottosistema di %F, in funzione dei giri motore n e della carica di aria relativa $\dot{m}_{a,r}$.

Si è quindi deciso di intervenire con una correzione proprio su questo vettore, modificandolo prima dell'uscita dal sottosistema. Questa correzione è stata resa bypassabile manualmente cambiando il valore di $bit_att_strategia$ (Figura 18) al fine di avere la

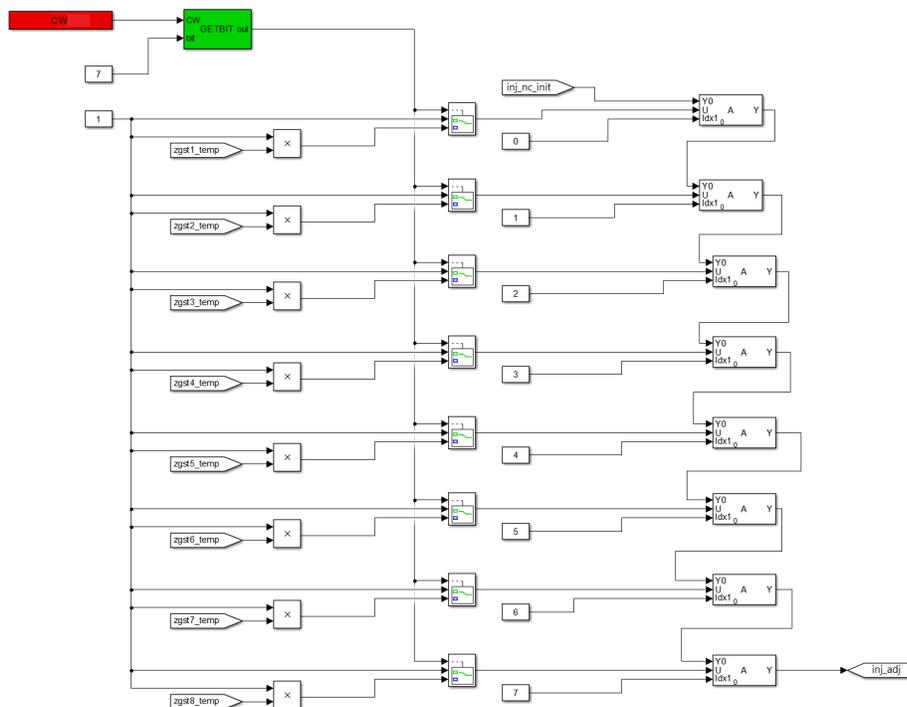


Figura 17: Schema Simulink della funzione $\%F$ originale

possibilità di accendere e spegnere la strategia a piacere durante le fasi di sviluppo e calibrazione.

Sempre in Figura 18 si noti che si è mantenuto il nome della variabile in uscita dalla funzione inj_adj , rinominando quella a monte della correzione in inj_nc (non corretto).

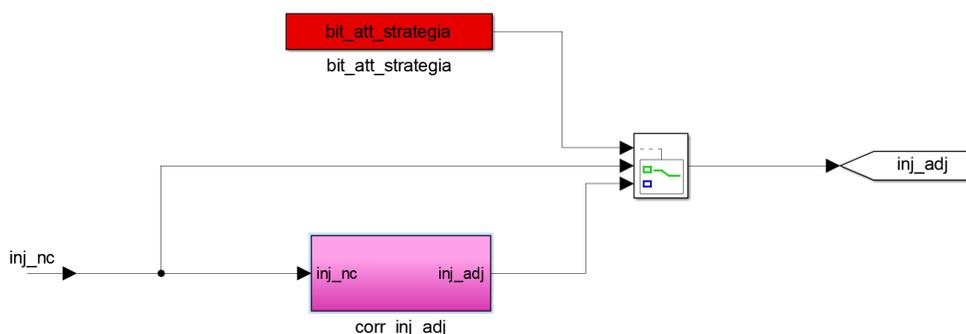


Figura 18: Correzione di inj_adj bypassabile con uno switch

Così facendo tutto il sistema a valle non ha risentito del cambiamento introdotto, senza quindi necessità di modificare altre funzioni.

%F/Main/corr_inj_adj

All'interno di questo sottosistema vengono inserite le mappe che impongono le condizioni illustrate nell'introduzione. La Figura 19 mostra le 8 mappe funzione di n e $\dot{m}_{fr,can}$ che forniscono un valore di correzione additivo per ogni cilindro. Ciò significa che, per non alterare la quantità totale di combustibile iniettato negli 8 cilindri (e quindi per non causare una variazione di titolo allo scarico), la somma delle 8 mappe **INJCORR1...INJCORR8** deve essere 0. La scelta della correzione additiva è stata compiuta per evitare problemi di discretizzazione: visto infatti che le quantità in gioco sono piuttosto piccole, con un fattore moltiplicativo si sarebbe rischiato di perdere sensibilità sul valore in uscita, ottenendo un valore globale non neutro.

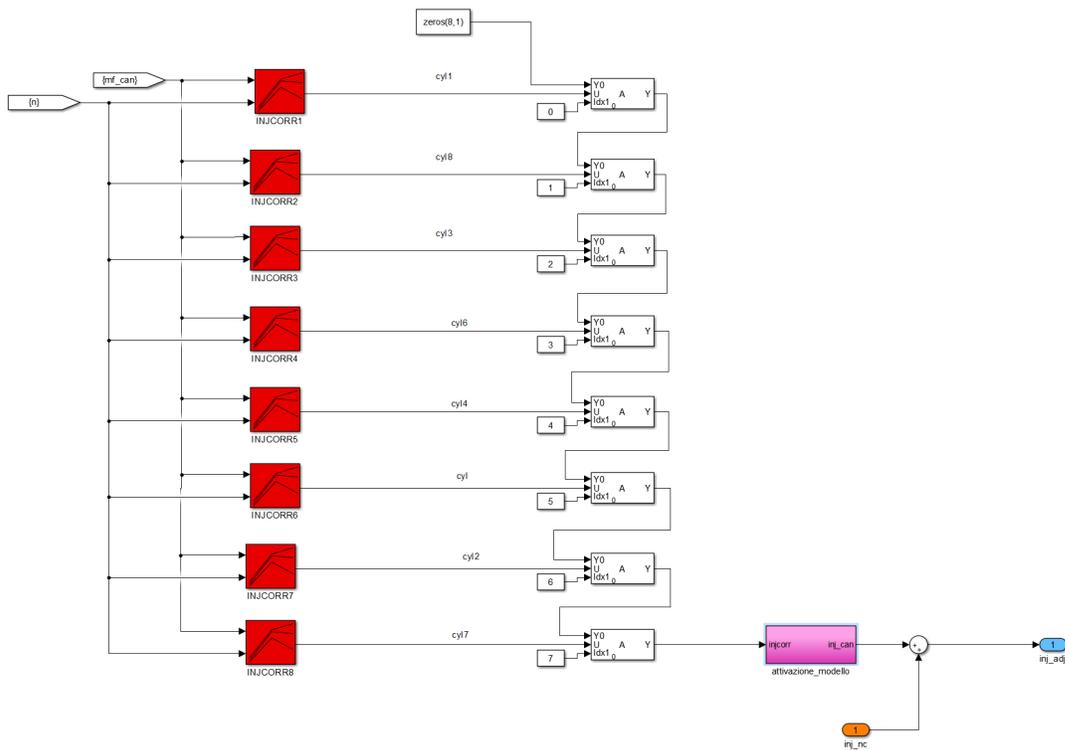


Figura 19: %F/Main/corr_inj_adj

%F/Main/corr_inj_adj/attivazione_modello

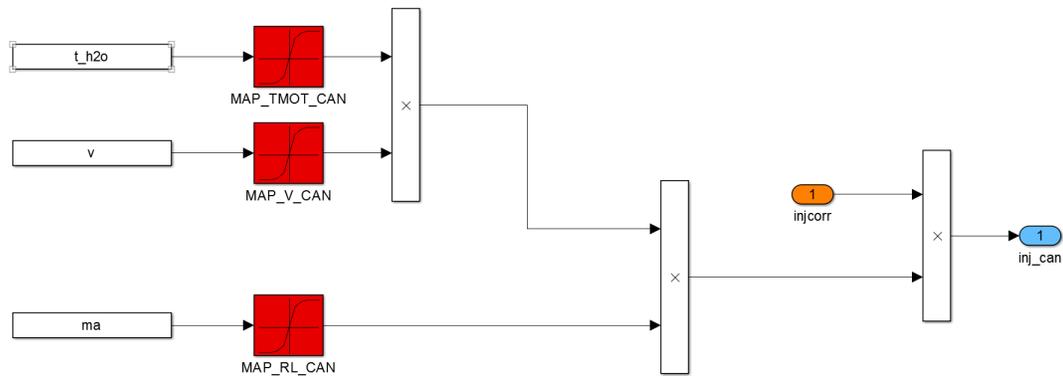


Figura 20: %F/Main/corr_inj_adj/attivazione_modello

Il vettore ottenuto al livello superiore $injcorr$ entra quindi all'interno di quest'ultimo subsystem (Figura 20), in cui sono inserite le dipendenze da T_{H_2O} , v e $\dot{m}_{a,r}$ sotto forma di mappe 1-D: $injcorr$ viene moltiplicato per i valori (compresi tra 0 e 1) uscenti dalle tre mappe MAP_TMOT_CAN , MAP_V_CAN e MAP_MA_CAN . Questo prodotto viene quindi sommato a inj_{nc} per ottenere così l'output finale della funzione, inj_{adj} .

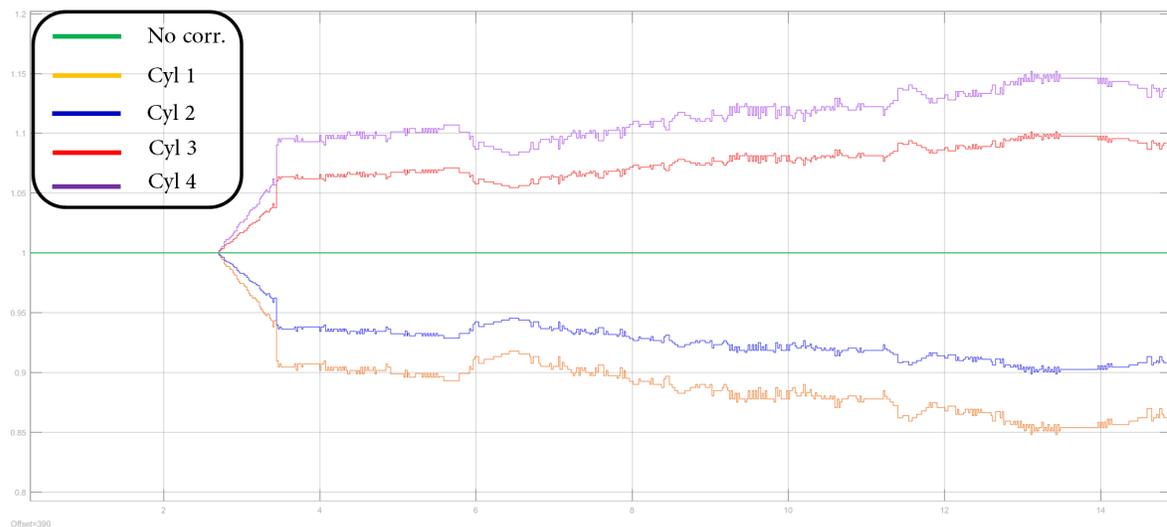


Figura 21: Andamento di inj_{adj} con correzione attiva

In Figura 21 si può osservare come vari l'andamento degli elementi di inj_{adj} in una prova di attivazione della strategia durante la validazione del modello: in questo caso, presa in esame la bancata destra, la correzione smagrisce i cilindri 1 e 2 (giallo e blu) e arricchisce i cilindri 3 e 4 (rosso e viola) per bilanciare il titolo allo scarico. Lo stesso ragionamento si applica anche alla bancata sinistra. La somma degli otto segnali quindi, secondo quanto detto finora, sarà nulla in ogni istante. Il segnale verde rappresenta invece il valore unitario che uscirebbe con la nuova strategia spenta.

Ritornando ad osservare l'output di %K, si noti in Figura 22 l'andamento del segnale rosso rispetto alla Figura 16, in cui coincideva con il segnale blu. Anche qui, finché la strategia è spenta, i due segnali sono sovrapposti, poi, dal momento dell'attivazione, il rosso si distacca e comincia ad "oscillare".

Questi "pendolamenti" del segnale rosso (da modello) intorno a quello blu (da centralina, senza nuova strategia) rappresentano proprio gli smagrimenti ed arricchimenti degli otto cilindri nel tempo, rispettivamente 1-2-7-8 e 3-4-5-6, amplificati per avere un migliore riscontro grafico.

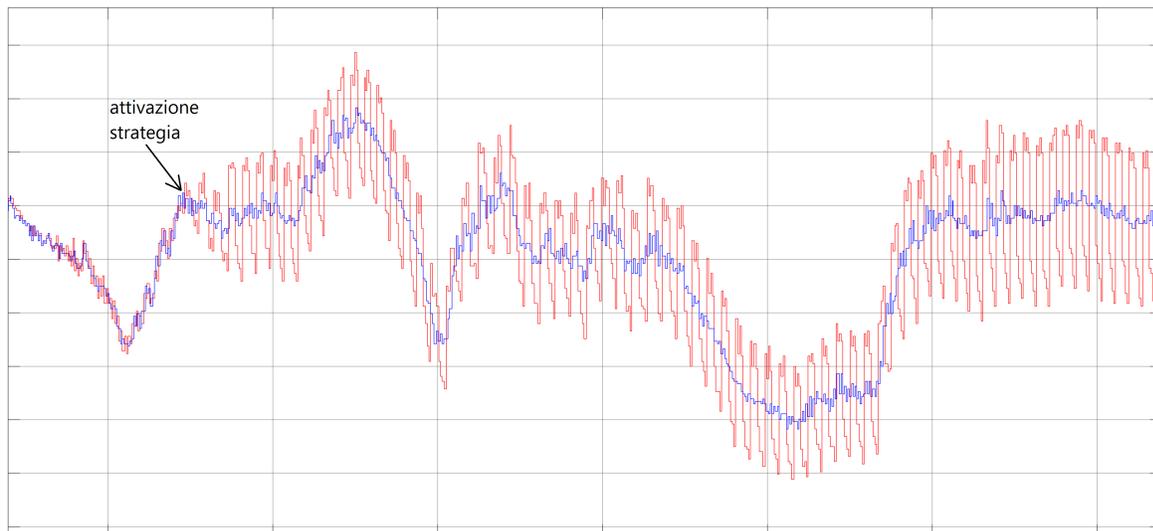


Figura 22: *Andamento di inj_{adj} con correzione attiva*

Esso rappresenta la quantità di combustibile da iniettare in ogni cilindro ed è quindi necessariamente calcolato ad ogni combustione. Per questo ogni campione corrisponde ad un cilindro, in ordine di combustione, e questo giustifica il suo andamento periodico.

A questo punto la modifica è stata implementata nel software da flashare in centralina per provare la strategia *online*. Una volta certi che tutto funzionasse correttamente, è iniziata l'attività di calibrazione vera e propria.

4 Calibrazione

4.1 Piano prove

Prima di iniziare l'attività di calibrazione vera e propria, è stato innanzitutto elaborato un piano prove per l'intero processo.

Nella prima parte, con canister chiuso, l'obiettivo è stato quello di imporre uno smagrimento del 6% all'iniezione di due cilindri alla volta (1-8, 3-6, 4-5, 2-7), bilanciato da un arricchimento del 2% degli altri sei al fine di osservare gli squilibri apportati alla distribuzione di coppia. Sono state inoltre effettuate misure a strategia completamente spenta. Questa prima attività è stata svolta principalmente per avere un metro di confronto tra diverse vetture prima dell'implementazione della strategia.

Nel corpo del piano prove si è deciso di effettuare test per tutte le possibili combinazioni dei seguenti 5 parametri, al fine di trovare una calibrazione ottimale:

- n : 720 e 940 giri/min.
- **pattern**: si è infatti cercato di capire se fosse più conveniente una distribuzione delle correzioni tra i cilindri di una stessa bancata di tipo A o B di Figura 23.

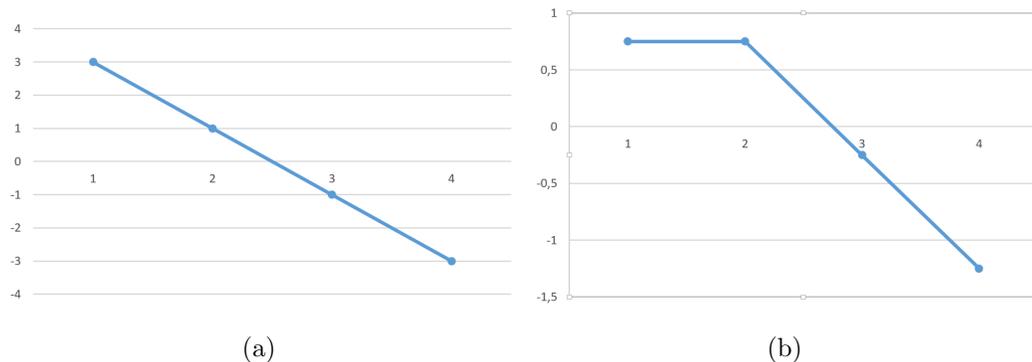


Figura 23: *Pattern A e B*

Il pattern A prevede un andamento lineare delle correzioni lungo la bancata: massimo smagrimento al cilindro 1 e massimo arricchimento al cilindro 4. Il pattern B invece prevede un egual smagrimento dei cilindri 1 e 2, mentre i cilindri 3 e 4 vengono arricchiti seguendo un andamento lineare tra il cilindro 2 e 4.

Come già detto, per non influenzare il titolo allo scarico la somma degli elementi dei pattern A e B è nulla.

- **fattore moltiplicativo:** i pattern, essendo normalizzati, sono stati corretti con l'utilizzo di un fattore moltiplicativo che permettesse di ottenere una differenza tra la correzione massima e la minima del 6% e del 3%. Ciò significa che nel caso del pattern A, ad esempio, il cilindro 1 verrà smagrito del 3% (o dell' 1,5%) e il cilindro 4 arricchito della stessa quantità.
- T_{H_2O} : le prove sono state effettuate a freddo ($T_{H_2O} = 40^{\circ}\text{C} \div 60^{\circ}\text{C}$) e a caldo ($T_{H_2O} > 85^{\circ}\text{C}$) per verificare l'influenza della temperatura motore sulla distribuzione dei vapori.
- $\dot{m}_{a,r}$: il variare di $\dot{m}_{a,r}$ è indice della coppia erogata dal motore: l'erogazione di coppia al minimo può variare in base all'attivazione degli ausiliari. Le prove con $\dot{m}_{a,r}$ alto avevano A/C accesa e alternatore che caricava la batteria, mentre $\dot{m}_{a,r}$ bassi corrispondevano a A/C spenta e alternatore spento.

La campagna di acquisizioni è stata ideata in modo da coprire tutte le permutazioni di questi 5 parametri, per un totale di 32 prove.

La tabella riporta le 16 prove da eseguire ad entrambi i regimi di minimo.

	Pattern	FM	T_{H_2O}	$\dot{m}_{a,r}$
PROVA 1	A	6	BASSA	BASSO
PROVA 2	A	6	BASSA	ALTO
PROVA 3	A	6	ALTA	BASSO
PROVA 4	A	6	ALTA	ALTO
PROVA 5	A	3	BASSA	BASSO
PROVA 6	A	3	BASSA	ALTO
PROVA 7	A	3	ALTA	BASSO
PROVA 8	A	3	ALTA	ALTO
PROVA 9	B	6	BASSA	BASSO
PROVA 10	B	6	BASSA	ALTO
PROVA 11	B	6	ALTA	BASSO
PROVA 12	B	6	ALTA	ALTO
PROVA 13	B	3	BASSA	BASSO
PROVA 14	B	3	BASSA	ALTO
PROVA 15	B	3	ALTA	BASSO
PROVA 16	B	3	ALTA	ALTO

4.2 Catena di misura

Per poter modificare online le calibrazioni di centralina e al contempo poter registrare tutto il flusso di dati, è necessario interfacciare correttamente computer e vettura. In Figura 24 è riportata la catena di strumenti necessari all'acquisizione in vettura. Essa è costituita da:

- Centralina di sviluppo con modulo ETK. Il modulo ETK (Figura 25) è un'interfaccia che consente un accesso diretto in lettura e scrittura alle calibrazioni in centralina. Permette inoltre di non sovraccaricare la ECU stessa, accedendo alla memoria e trasmettendo le variabili da acquisire senza impattarne le prestazioni anche ad alti regimi, quando lo sforzo computazionale è maggiore.
- Modulo ETAS per interfacciare INCA con la centralina. Questi moduli possono essere collegati alla centralina tramite l'interfaccia ETK e/o tramite CAN, e al pc via ethernet e costituiscono gli acquisitori veri e propri.

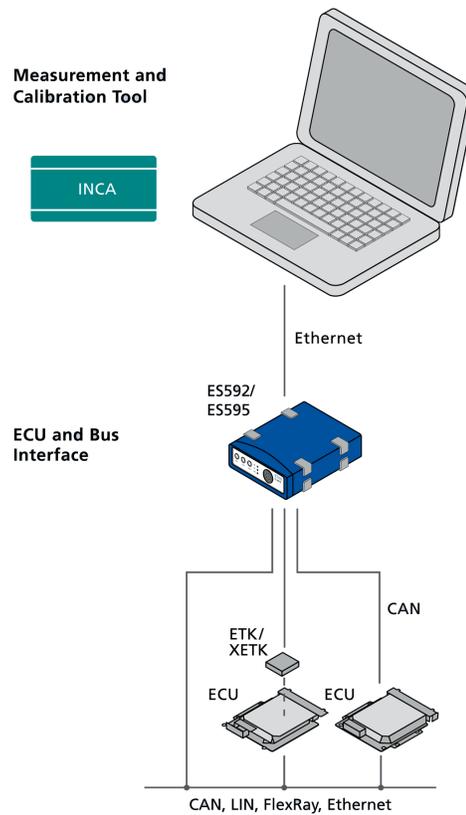


Figura 24: *Catena di misura*

- Computer con installato il software ETAS INCA: esso permette di creare un experiment in cui si selezionano le variabili da acquisire alla frequenza desiderata e le calibrazioni che si intende poter modificare in centralina.

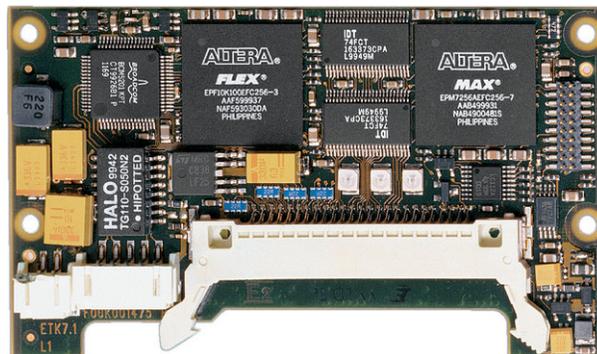


Figura 25: *Modulo ETK*

4.3 Acquisizioni

Sarebbe stato necessario effettuare le 16 prove riportate nella tabella in alto sia a 720 giri/min che a 940 giri/min. Però poiché è il minimo alto ad essere il più problematico, è stata data priorità al minimo a 940 giri/min.

Per ogni prova del piano prove, le acquisizioni sono state condotte come segue, dopo aver caricato in centralina la corrispettiva calibrazione. Con motore al minimo a 940 giri/min:

- canister chiuso per 30 s;
- apertura CPV tramite calibrazione;
- una volta che $\dot{m}_{fr,can}$ avesse raggiunto un valore stabile, altri 30 s di misura;
- chiusura delle CPV e ultimi 30 secondi di acquisizione.

I profili di $\dot{m}_{fr,can}$ ottenuti sono del tipo riportato in Figura 26. Così facendo è stato possibile ottenere campioni a sufficienza per condurre analisi in frequenza del segnale di velocità angolare dell'albero motore a diversi valori di $\dot{m}_{fr,can}$.

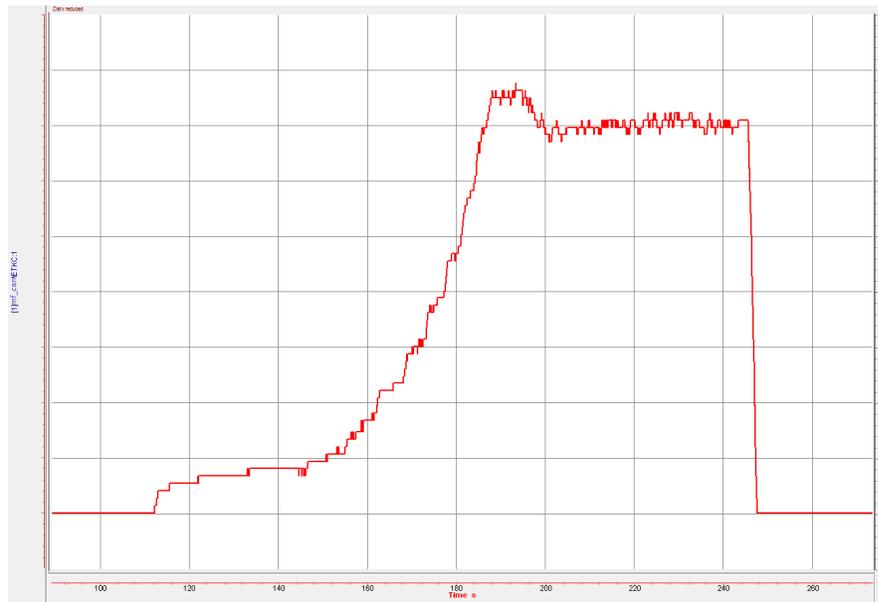


Figura 26: *Tipico profilo di $\dot{m}_{fr,can}$ ottenuto dalle acquisizioni*

4.4 Analisi in frequenza

L'analisi in frequenza del segnale dei giri motore è stato lo strumento fondamentale per lo studio degli effetti della strategia implementata, osservando l'ampiezza degli ordini motore. Gli ordini motore sono le frequenze multiple della frequenza di rotazione del motore stesso. Essi vengono eccitati nel momento in cui un evento si verifica periodicamente all'interno del ciclo motore.

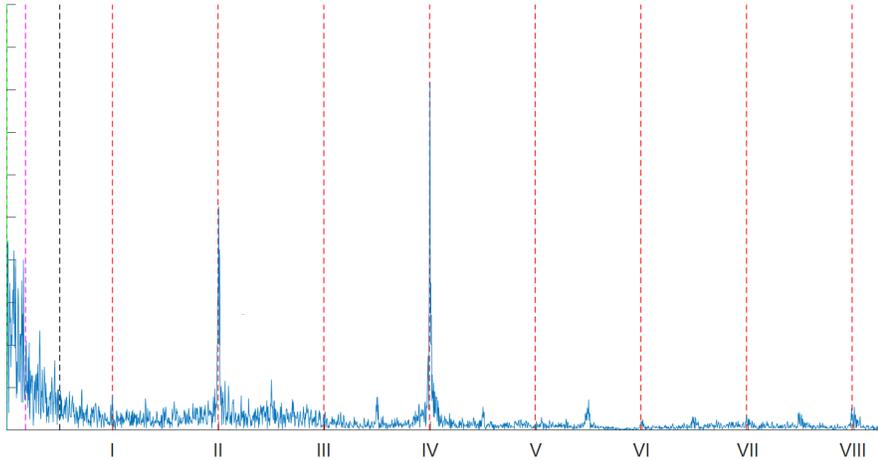


Figura 27: *Spettro generico per un motore a 8 cilindri*

In Figura 27 è riportato uno spettro generico di un motore a otto cilindri. Come è lecito aspettarsi, gli ordini più eccitati sono il quarto e il secondo: il quarto è dato dai quattro eventi di combustione durante un giro di volano, che creano pulsazioni di coppia ad una frequenza quadrupla rispetto a quella di rotazione. Il secondo ordine è invece eccitato dagli squilibri tra le due bancate, per cui i quattro eventi di combustione consecutivi, erogano coppie alternativamente diverse, dando luogo ad un fenomeno alla frequenza di due eventi a giro.

La frequenza di un ordine motore può essere calcolata come:

$$f = \frac{n \text{ [giri/min]} \cdot k}{60} \text{ Hz}$$

dove k è l'indice dell'ordine motore. Se un evento dovesse verificarsi una volta a ciclo, e quindi ogni due giri, come per esempio un misfire su un solo cilindro, la frequenza eccitata sarebbe la metà di quella di giro, caratteristica del cosiddetto primo mezz'ordine. Ed è proprio questa la frequenza caratteristica degli squilibri di coppia oggetto di

questa tesi. Per un motore che ruota a 940 giri/min, la frequenza del primo mezz'ordine sarà:

$$f_{1/2} = \frac{940 \cdot 0.5}{60} = 7.83 \text{ Hz}$$

Ma perché è proprio il mezz'ordine a venire eccitato? Essendo quattro i cilindri che erogano più coppia e 4 quelli che ne erogano meno, ci si potrebbe aspettare un fenomeno a frequenza maggiore, ma è facile dimostrare perché sia proprio l'ordine 0.5 ad essere eccitato. Si ricordi infatti l'ordine di combustione degli otto cilindri: 1-8-3-6-4-5-2-7. Osservando la Figura 28 ci si accorge immediatamente che i cilindri 2-7-1-8 (che sono quelli che ricevono una miscela più ricca, erogando più coppia) sono consecutivi come ordine di combustione (se si guardano due cicli consecutivi), come lo sono 3-6-4-5. Questo dà vita ad un unico evento ogni ciclo, che ha quindi una frequenza pari a quella del primo mezz'ordine motore.

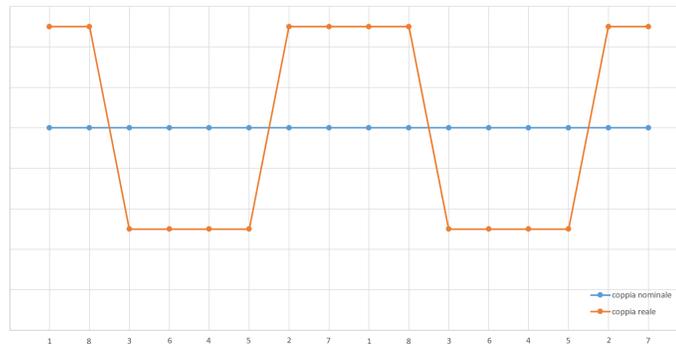


Figura 28: *Grafico indicativo dell'andamento della coppia erogata dai singoli cilindri rispetto alla coppia media*

Effettuando un'analisi in frequenza del segnale giri durante la rigenerazione del filtro antievaaporativo è immediato osservare come l'ampiezza del picco del mezz'ordine sia correlata alle vibrazioni percepite: è stata tale ampiezza il metro con il quale durante tutto il lavoro di tesi si è valutata la qualità del minimo.

Anche se per fenomeni a bassa frequenza come quelli che costituiscono l'oggetto di questa tesi non era strettamente necessario, durante le misure sono stati acquisiti anche i segnali dei denti di ruota fonica, grazie ai quali è stato possibile ricostruire un segnale di velocità motore con una risoluzione maggiore e quindi con maggiori contenuti in frequenza. Ricordando il valore della frequenza del mezz'ordine motore che ruota a 940

giri/min, e cioè 7.83 Hz, sarebbe infatti stato sufficiente acquisire la velocità motore ad una frequenza molto minore, e cioè pari ad un valore $F_{min} > 2 \cdot f_{1/2ord}$ (teorema di Shannon).

4.5 Verifica

Uno script Matlab (si veda l'Appendice A) permette poi di suddividere ogni misura in intervalli e di effettuare di ognuno di essi un'analisi in frequenza (*STFFT - Short Time Fast Fourier Transform*) del segnale di velocità di ruota fonica, riuscendo così ad analizzare l'intensità delle vibrazioni torsionali (indotte sull'albero motore dagli squilibri di coppia) che eccitano il primo mezz'ordine motore.

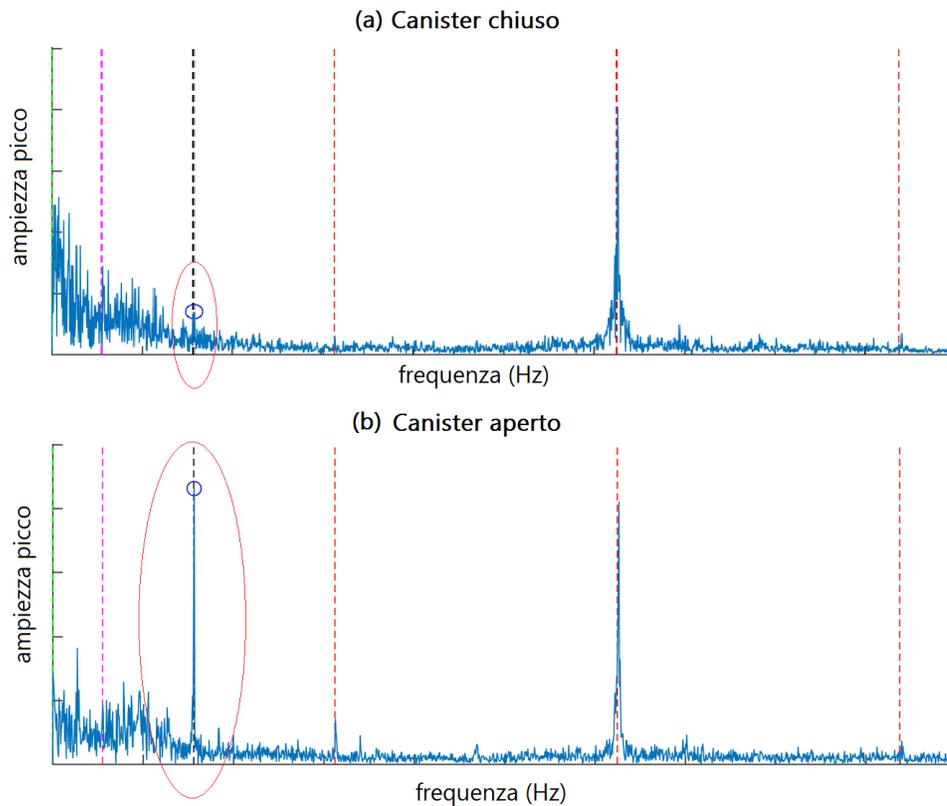


Figura 29: Spettro di frequenze di velocità di ruota fonica con canister chiuso (a) e aperto (b)

La durata di questi intervalli è un compromesso tra un numero sufficiente di campioni a disposizione per l'analisi in frequenza (e quindi una sufficiente risoluzione nel campo

della frequenza) e un numero di intervalli che fornisca una risoluzione adeguata nel dominio temporale. Il valore di compromesso a cui si è giunti, e che è stato utilizzato in tutto il seguito dell'attività è di intervalli di 3 secondi.

Per tutti gli intervalli in cui sono state suddivise le misure è stato creato uno spettro di frequenze come quelli rappresentati in Figura 29: nella parte in basso (b) si nota immediatamente un notevole picco in corrispondenza del mezz'ordine durante il lavaggio canister senza strategia, assente nella parte superiore (a) in cui il canister era chiuso.

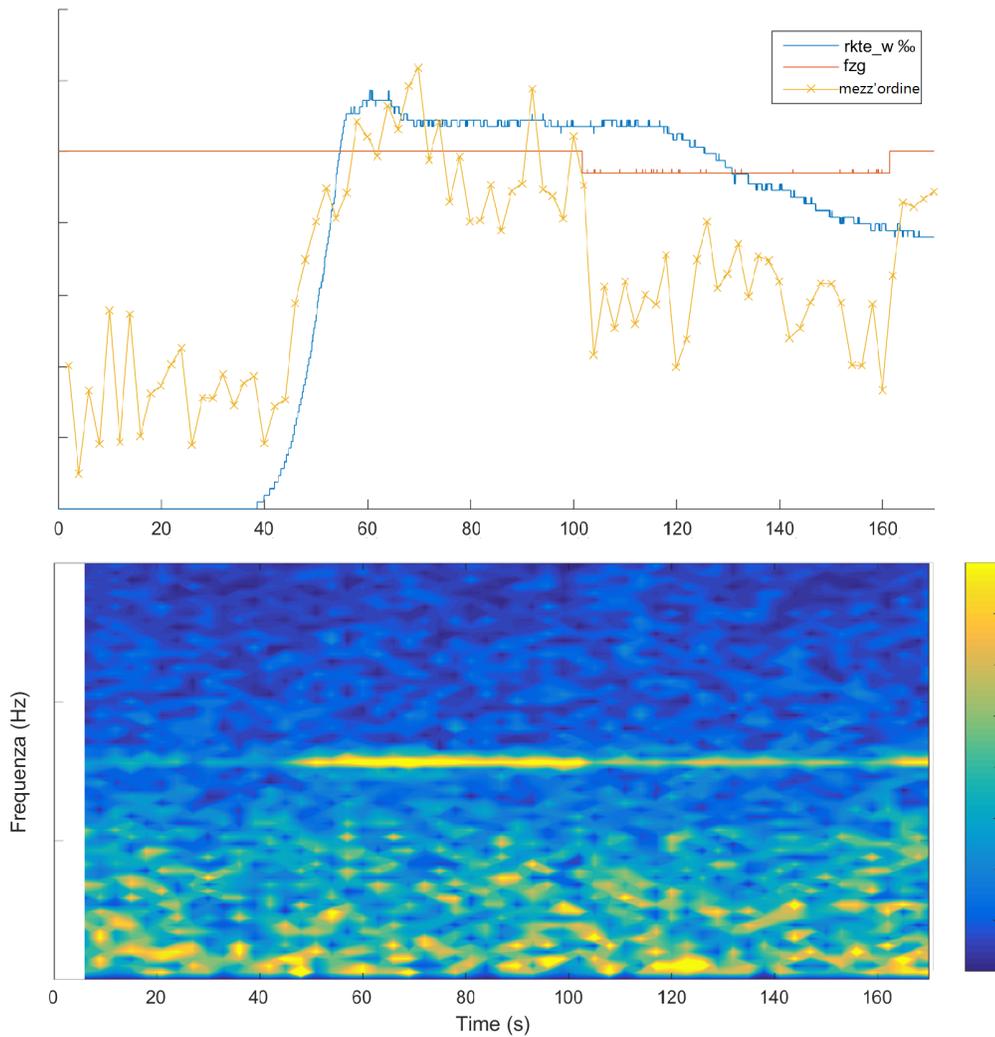


Figura 30: *Andamento $\bar{m}_{fr,can}$ e intensità picco (in alto) e rispettiva colormap (in basso)*

Si sono ottenuti così valori di $\bar{m}_{fr,can}$ e di intensità del mezz'ordine rappresentativi degli

intervalli di 3 secondi in cui sono state divise le prove. I valori dei picchi del mezz'ordine sono stati quindi plottati sull'asse dei tempi insieme all'andamento di $\dot{m}_{fr,can}$, ottenendo grafici come quello di Figura 30 in alto. Questo tipo di grafico chiarisce molto bene l'evoluzione simultanea dell'intensità delle vibrazioni torsionali e del valore di $\dot{m}_{fr,can}$. Nella parte inferiore di Figura 30 sono stati graficati sotto forma di colormap gli interi spettri di frequenze sull'asse dei tempi: il giallo corrisponde a valori di ampiezza del picco più alti. Si vede immediatamente come la zona gialla corrispondente al mezz'ordine svanisca in corrispondenza dell'attivazione della strategia durante il lavaggio del canister. È quindi evidente che la correzione applicata funziona nella direzione sperata. Tutte le analisi fin qui descritte sono state condotte su più di una vettura, al fine di verificare la robustezza di quanto implementato, dopodiché la scelta finale è stata basata sull'unione di tutti i risultati. Essi sono stati sintetizzati in grafici che riportano l'intensità del picco in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$. In questo modo è stato innanzitutto possibile osservare l'ampiezza del picco causata da diversi set di calibrizioni, a parità di $\dot{m}_{fr,can}$: in questo modo è stato immediato verificare quale combinazione di parametri avesse l'effetto migliore, per poi poter essere utilizzata nella successiva fase di delibera. Si riportano nelle Figure 31, 32, 33 e 34 tutti i risultati ottenuti.

I puntini neri rappresentano le prove senza nuova strategia, mentre i diversi colori all'interno di ogni grafico simboleggiano una diversa combinazione dei fattori. L'informazione estratta da questi grafici è stata la combinazione dei parametri migliori per le medesime condizioni operative: essa è risultata composta dal **pattern A**, con un fattore moltiplicativo che fornisce una differenza tra le correzioni del **6%** quando la temperatura motore è regimata. A temperature minori è risultato più efficace il fattore moltiplicativo del **3%**, sempre abbinato al **pattern A**. Si è individuato anche un valore di soglia di $\dot{m}_{fr,can}$ sotto il quale qualsiasi combinazione di parametri portava un peggioramento delle vibrazioni rispetto alla condizione a strategia spenta.

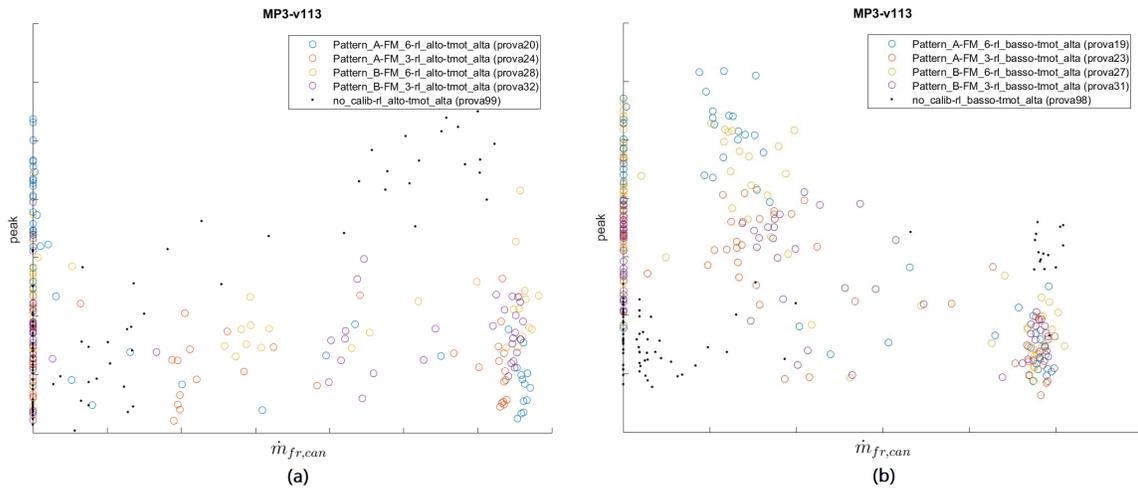


Figura 31: Intensità dei picchi in funzione del valore di $\dot{m}_{fr,can}$ sulla Vettura 1, con \dot{m}_a alto (a) e basso (b) e T_{H_2O} alta

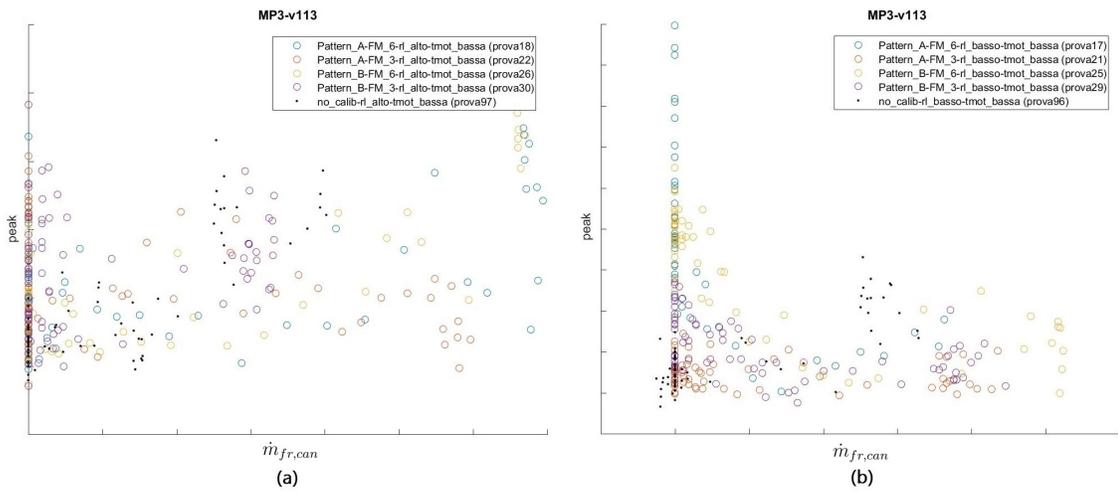


Figura 32: Intensità dei picchi in funzione del valore di $\dot{m}_{fr,can}$ sulla Vettura 1, con \dot{m}_a alto (a) e basso (b) e T_{H_2O} bassa

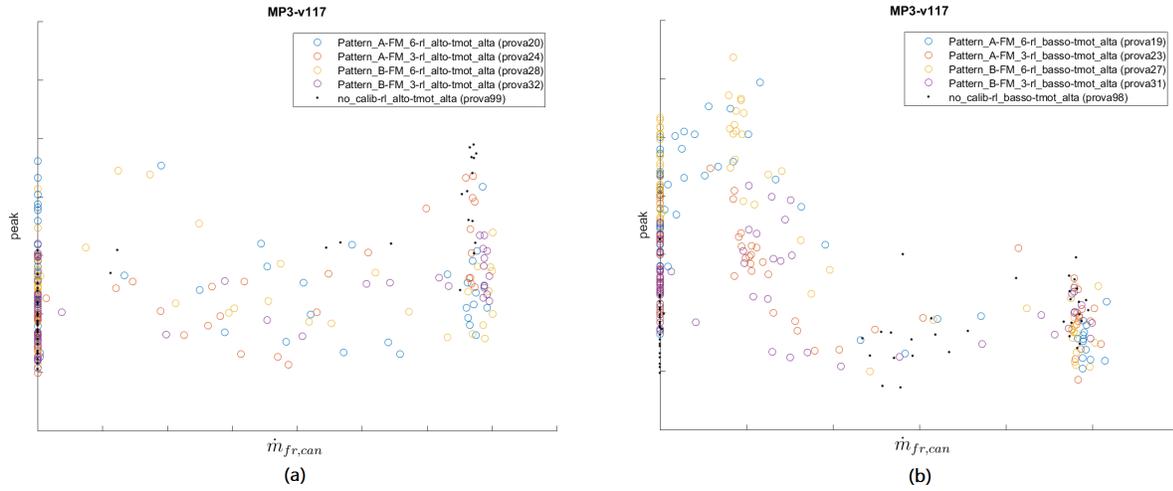


Figura 33: Intensità dei picchi in funzione del valore di $\dot{m}_{fr,can}$ sulla Vettura 2, con \dot{m}_a alto (a) e basso (b) e T_{H_2O} alta

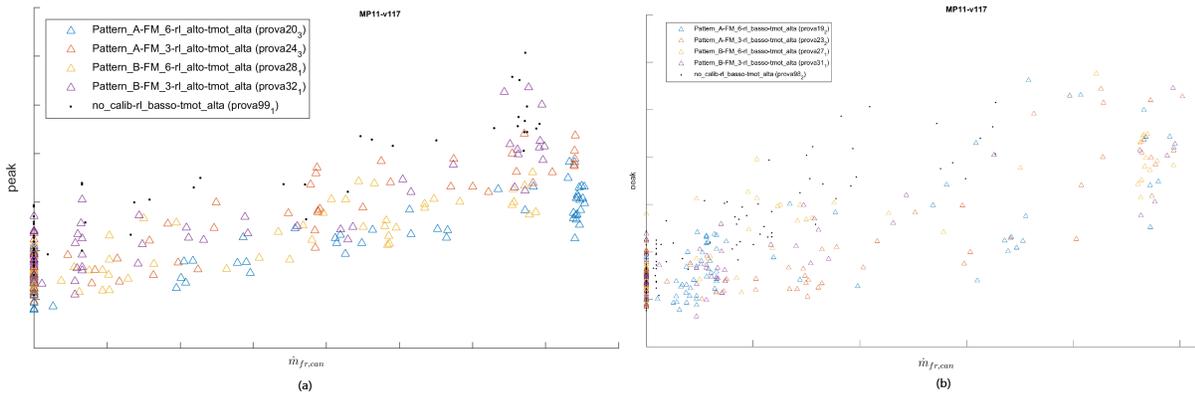


Figura 34: Intensità dei picchi in funzione del valore di $\dot{m}_{fr,can}$ sulla Vettura 2, con \dot{m}_a alto (a) e basso (b) e T_{H_2O} alta

4.6 Proposta di calibrazione

Il miglior candidato, scelto per una prima proposta di calibrazione, è stato quindi il **pattern A**, con un fattore moltiplicativo che fornisce una differenza tra le correzioni massima e minima del **6%**. Per tutte le prove effettuate infatti l'ampiezza del picco con questa correzione si è dimostrata minore di tutte le altre, alle alte temperature. Nei punti motore più freddi l'idea è stata quindi quella di mitigare la correzione tramite la mappa **MAP_TMOT_CAN**. Come anticipato, l'unica zona in cui tutte le correzioni peggiorano i risultati è per bassi valori di $\dot{m}_{fr,can}$ (minori di 1.5%), per cui si è deciso di tenere spenta la strategia in quei punti di funzionamento.

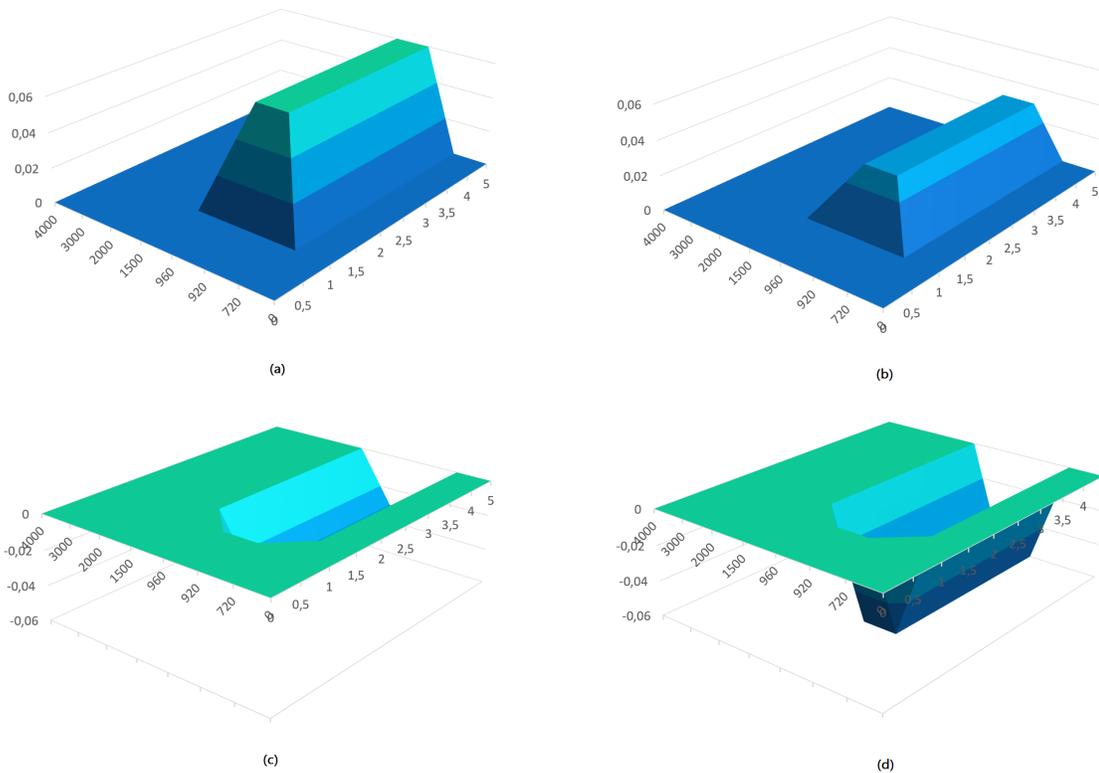


Figura 35: Mappe **INJCORR*** funzione di n e $\dot{m}_{fr,can}$. Le figure (a), (b), (c) e (d) corrispondono rispettivamente ai cilindri 4, 3, 2, 1 della bancata destra e 5, 6, 7, 8 della bancata sinistra

Le mappe sono state calibrate in modo da garantire un'attivazione graduale della strategia ed evitare brusche variazioni della quantità di combustibile iniettato tra una com-

bustione e quella immediatamente successiva, sia nel caso di superamento della soglia, sia nel caso in cui il segnale che costituisce la condizione di attivazione oscillasse intorno alla soglia stessa. La Figura 35 riporta le mappe per tutti i cilindri di una bancata: si vede come la strategia applichi la correzione massima tra 920 giri/min e 960 giri/min, diminuendo linearmente tra 720 e 1100; inoltre come accennato sopra la strategia è spenta per $\dot{m}_{fr,can} < 1,5\%$, con un incremento lineare fino a $\dot{m}_{fr,can} = 2\%$, in cui la correzione raggiunge la massima entità. Le mappe (a) e (b) forniscono un'aggiunta di combustibile da iniettare, quindi riguardano i cilindri 3, 4, 5 e 6, mentre (c) e (d) si riferiscono ai cilindri 1, 2, 7 e 8.

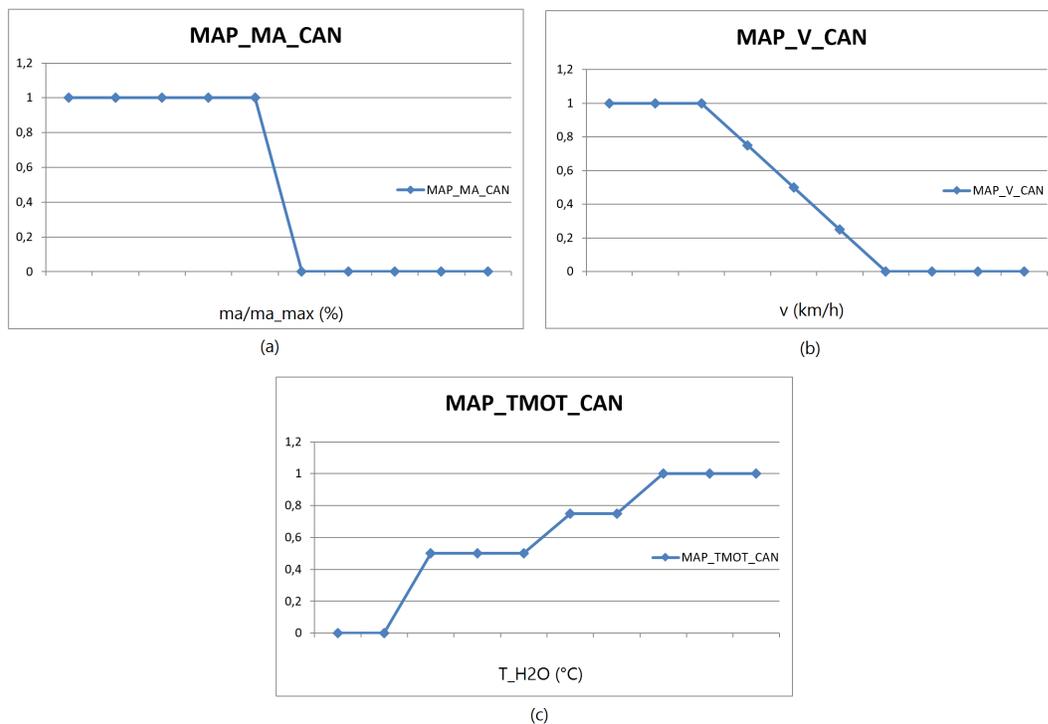


Figura 36: (a), (b) e (c) rappresentano rispettivamente gli andamenti delle mappe **MAP_MA_CAN**, **MAP_V_CAN** e **MAP_TMOT_CAN**

Anche per le tre mappe **MAP_MA_CAN**, **MAP_V_CAN** e **MAP_TMOT_CAN** sono stati imposti transitori lineari per addolcire la fase di attivazione della strategia. Le condizioni imposte sono le seguenti, i cui andamenti sono riportati in Figura 36:

- per $1 \text{ km/h} < v < 3 \text{ km/h}$, l'output varia tra 1 e 0;
- per $30\% < \dot{m}_{a,r} < 35\%$, l'output varia tra 1 e 0;

- per $50^{\circ}\text{C} < T_{H_2O} < 80^{\circ}\text{C}$, l'output varia tra 0 e 1;

Molte delle mappe inserite sono state utilizzate unicamente come soglie di attivazione, anche se debitamente smorzate, invece che come dipendenze vere e proprie. Esse sono comunque state inserite nella funzione in ottica di aggiungere dipendenze di diverso tipo in futuro, senza necessità di modificare ulteriormente la strategia, ma con l'unica necessità di dover eventualmente ricalibrare le mappe.

5 Delibera

La fase di delibera si è articolata nella stesura di un piano prove, esecuzione delle prove in collaborazione con un altro reparto e creazione di un documento che riportasse i risultati ottenuti. L'idea è stata quindi quella di testare la strategia, dopo aver saturato il canister, su vetture equipaggiate con accelerometri, montati sia sulla guida sedile in abitacolo che sul polmone (Figure 37 e 38).

Durante le prove venivano fatte acquisizioni dei segnali motore per poter effettuare l'analisi in frequenza contemporaneamente misurati i valori di accelerazione. Gli scopi delle prove erano infatti due: verificare che la strategia funzionasse correttamente e trovare una correlazione tra le vibrazioni torsionali dell'albero motore (ottenute dalle analisi in frequenza) e le vibrazioni su polmone e guida sedile, misurate con gli accelerometri.

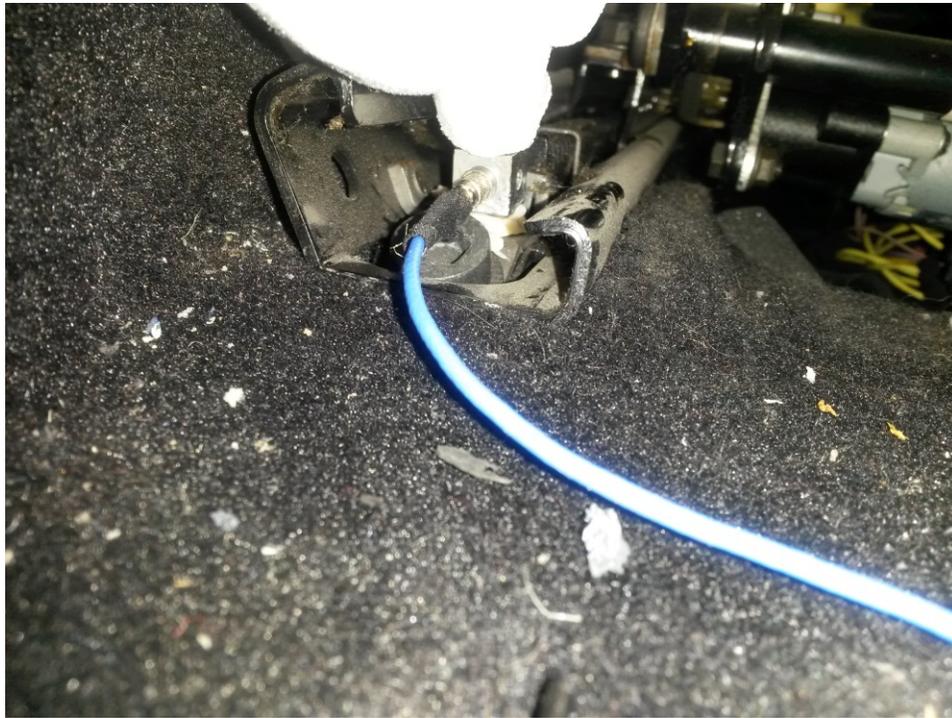


Figura 37: *Posizionamento accelerometro sulla guida sedile*

Prima di ogni prova veniva quindi saturato il canister della vettura in questione, in maniera da avere titoli significativi delle portate di lavaggio, e quindi $\dot{m}_{fr,can}$ sufficientemente elevati per far lavorare la strategia a pieno regime per un tempo sufficientemente



Figura 38: *Posizionamento accelerometro sul polmone*

lungo.

Per ampliare la validità di queste prove, esse sono state eseguite su cinque diverse vetture, secondo due diverse modalità:

- Per la prima si parte a canister chiuso e strategia attiva (ma non funzionante perché il canister è chiuso!), si apre il canister, dopodiché si accende e si spegne la strategia a intervalli regolari per poter apprezzare una differenza durante il lavaggio con strategia funzionante e non.
- La seconda misura è simile, ma si apre il canister con strategia spenta, per verificare che ci sia un effettivo miglioramento anche in fase di apertura, rispetto alla prima modalità.

Un ulteriore metro è stato utilizzato per valutare la bontà della strategia: durante ogni prova era presente un collaudatore professionista che giudicava, con un voto soggettivo

da 1 a 10 (QP, *Quality profile*), il comportamento della vettura sulla base delle vibrazioni percepite sul sedile e sul volante.

5.1 Risultati

Si riportano nelle Figure 39-48 le colormap e i corrispondenti valori di accelerazione sulla guida sedile e sul polmone. Nelle colormap si possono vedere in bianco anche gli andamenti di $m_{fr,can}$ nella parte bassa e di inj_{adj} in alto.

Sono principalmente due i risultati che emergono osservando questi grafici:

- Un'ottima correlazione tra vibrazioni torsionali all'albero e lineari su polmone e guida sedile. Questo significa che per le prove successive sarà sufficiente analizzare lo spettro di frequenze della velocità motore per avere un riscontro sulle vibrazioni in abitacolo, senza necessità di equipaggiare con accelerometri.
- Nessun caso in cui la strategia peggiorasse l'intensità delle accelerazioni misurate. Tuttavia si possono notare casi in cui l'effetto migliorativo è più evidente: questo è giustificato però da diverse ampiezze di accelerazione durante il lavaggio, anche a strategia spenta, per diverse vetture a parità di condizioni operative (stessa temperatura di esercizio, stessa portata e titolo di miscela proveniente dal canister durante la rigenerazione).

Inoltre i QP forniti dai collaudatori erano più alti di almeno mezzo punto (+5%) nei casi in cui la strategia era attiva, raggiungendo anche voti pari a quelli a canister chiuso.

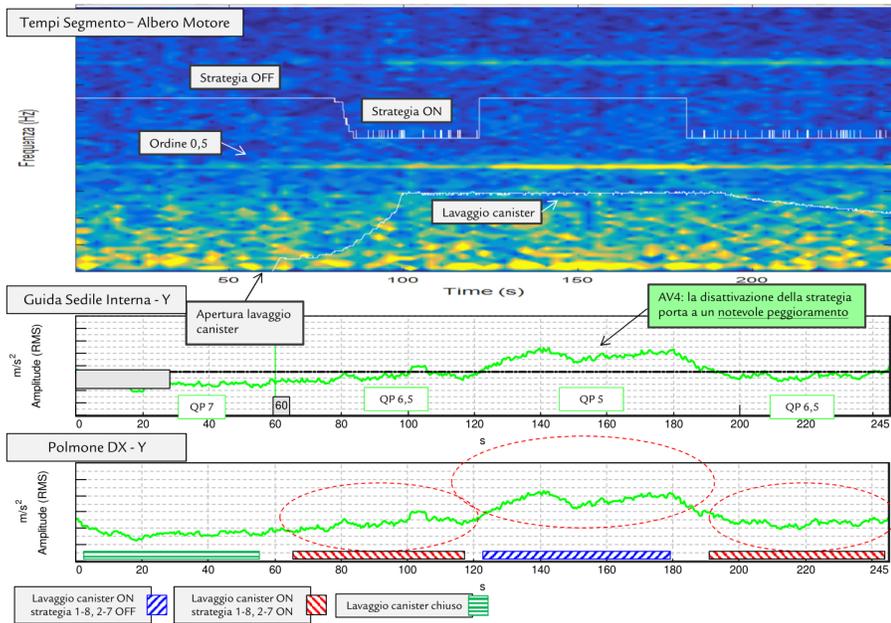


Figura 39: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 1 con strategia attiva all'apertura del canister

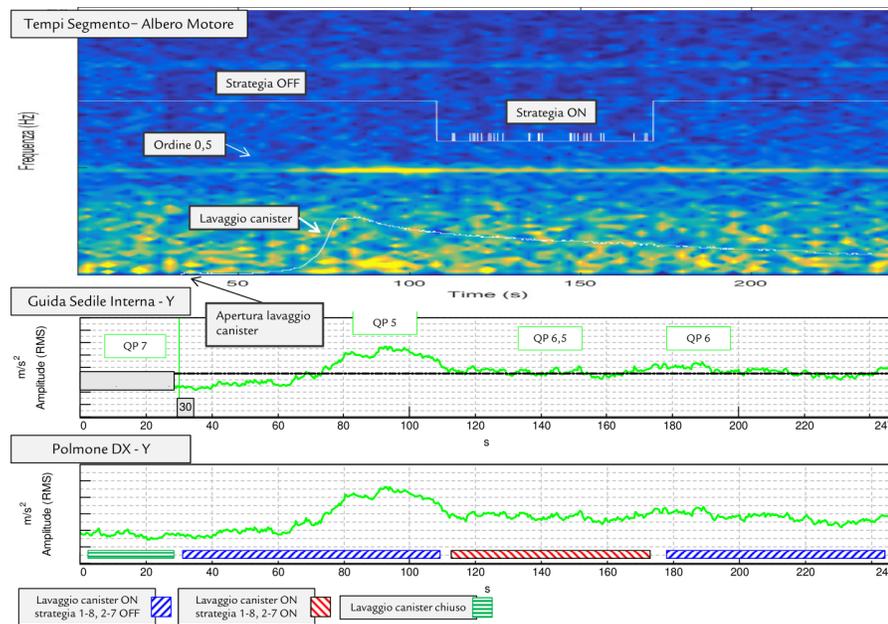


Figura 40: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 1 con strategia spenta all'apertura del canister

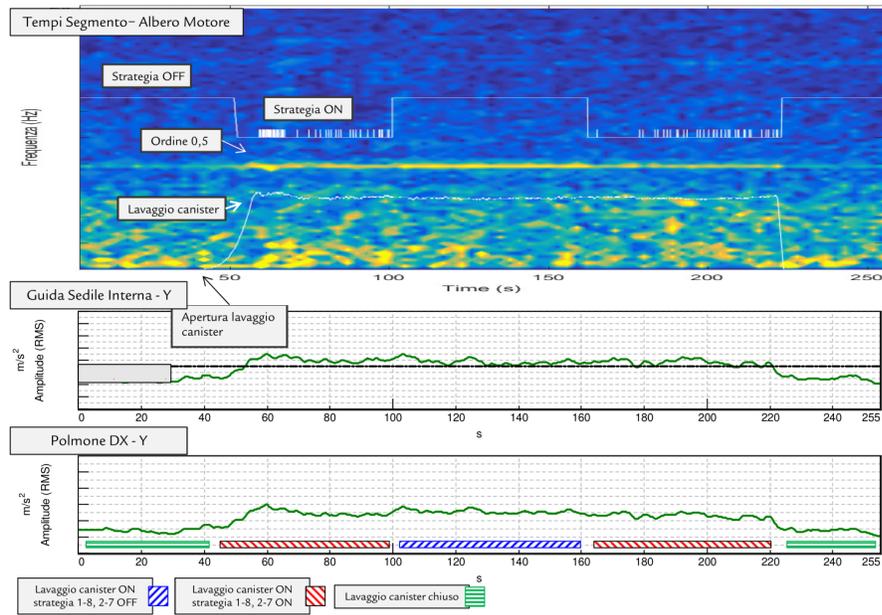


Figura 41: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 2 con strategia attiva all'apertura del canister

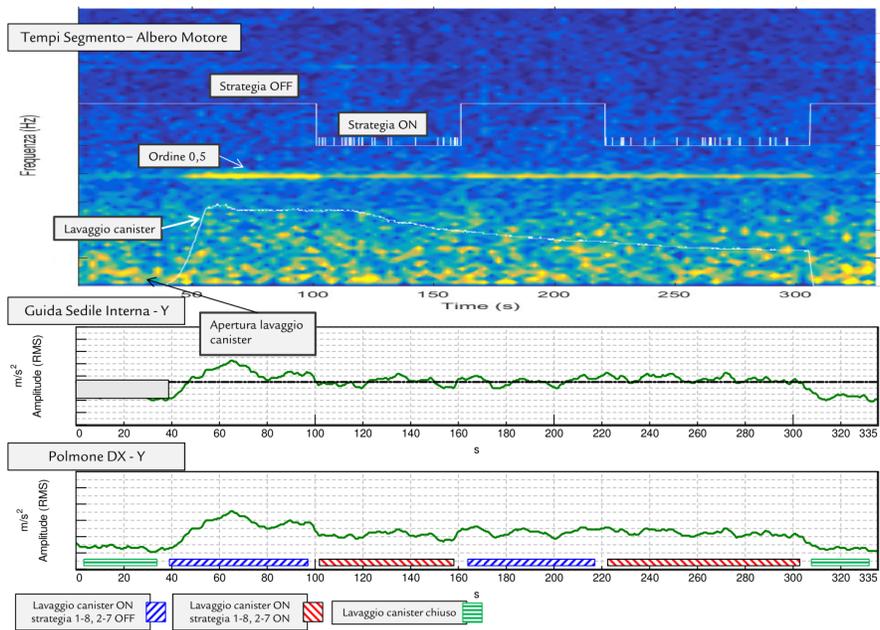


Figura 42: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 2 con strategia spenta all'apertura del canister

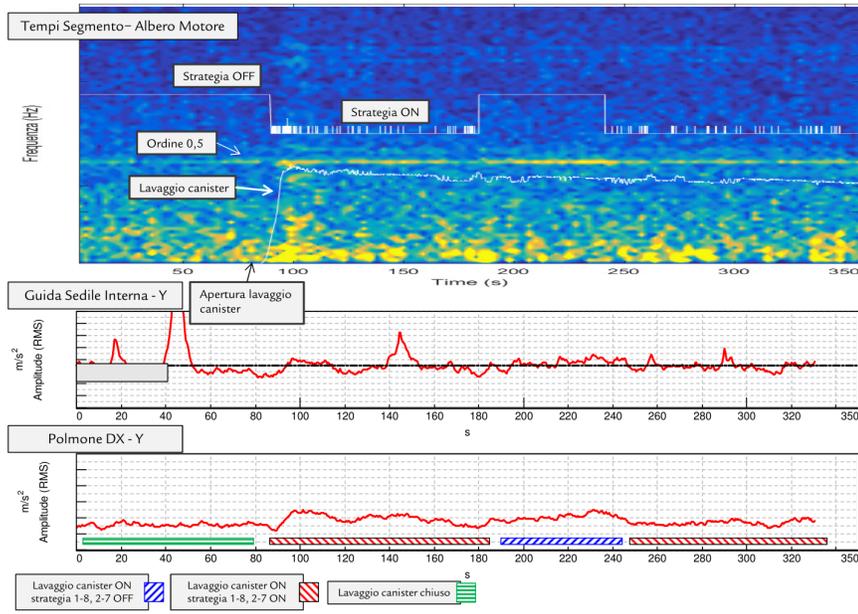


Figura 43: *Colormap e andamento accelerazione su Vettura 3 con strategia attiva all'apertura del canister*

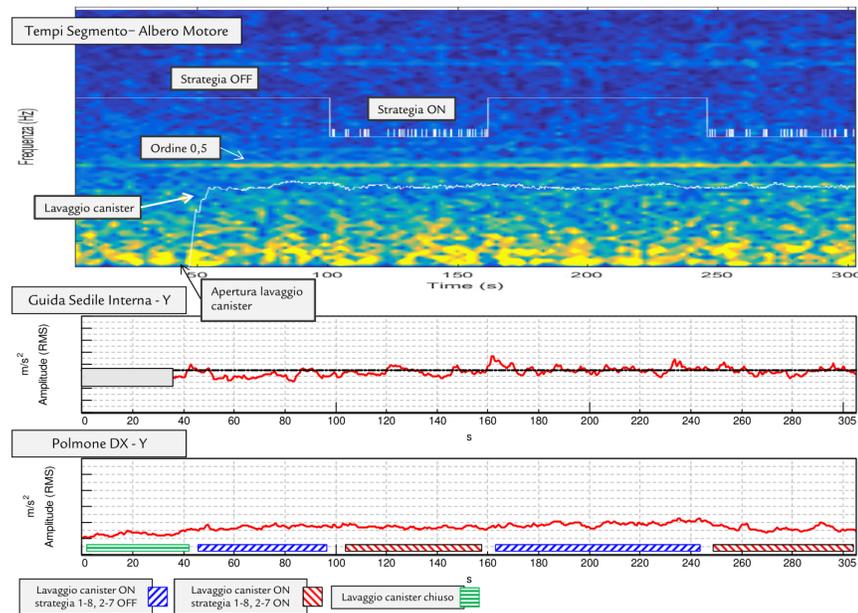


Figura 44: *Colormap e andamento accelerazione su Vettura 3 con strategia spenta all'apertura del canister*

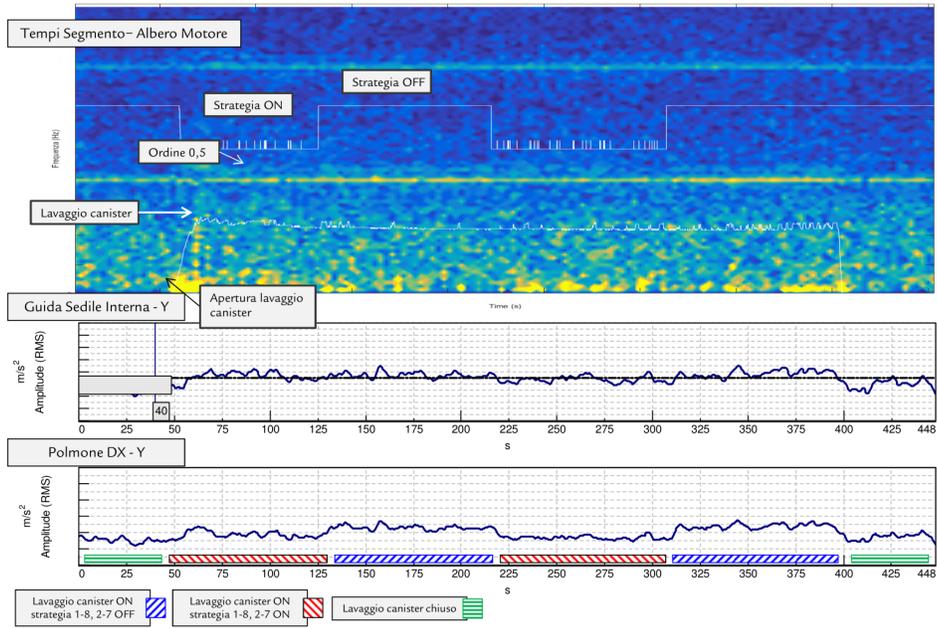


Figura 45: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 4 con strategia attiva all'apertura del canister

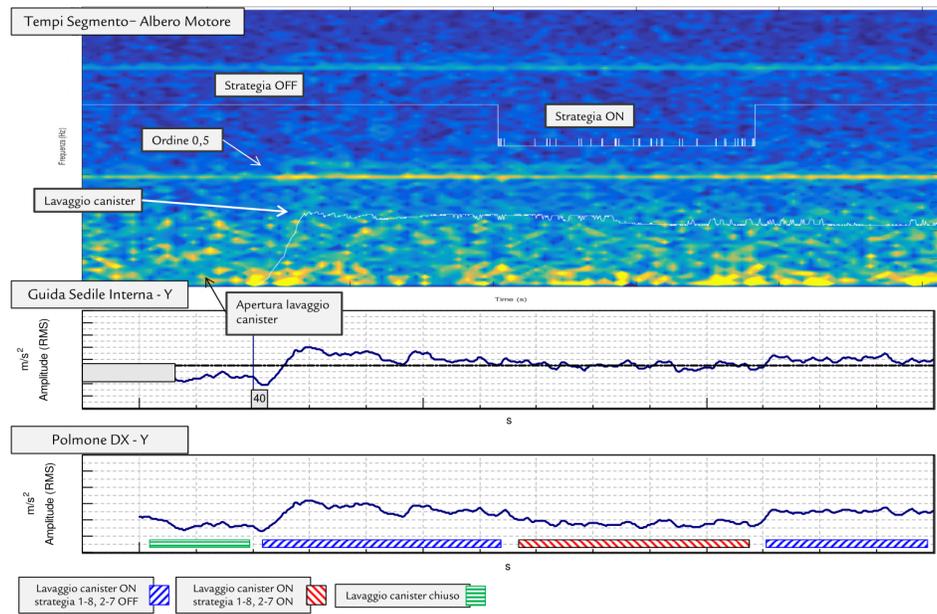


Figura 46: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 4 con strategia spenta all'apertura del canister

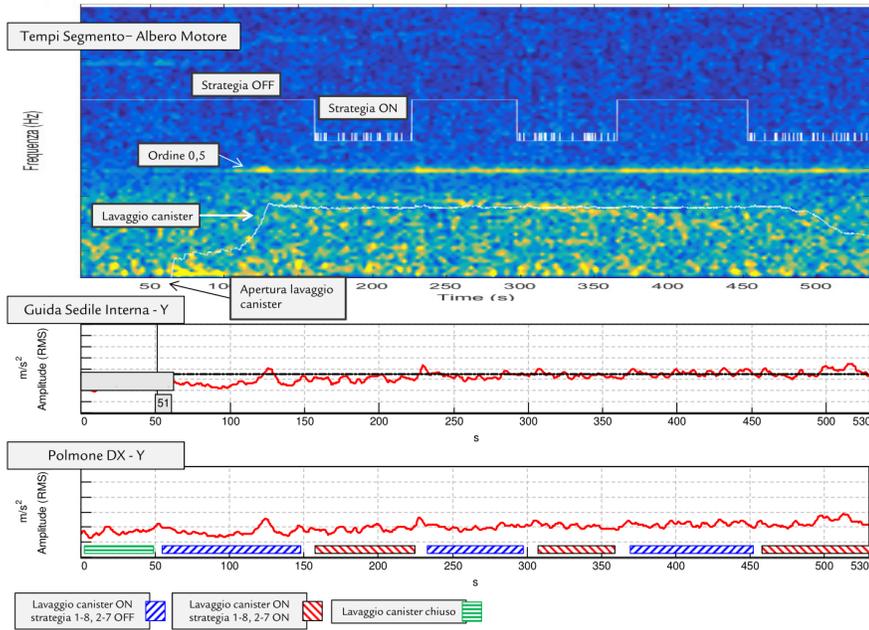


Figura 47: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 5 con strategia spenta all'apertura del canister

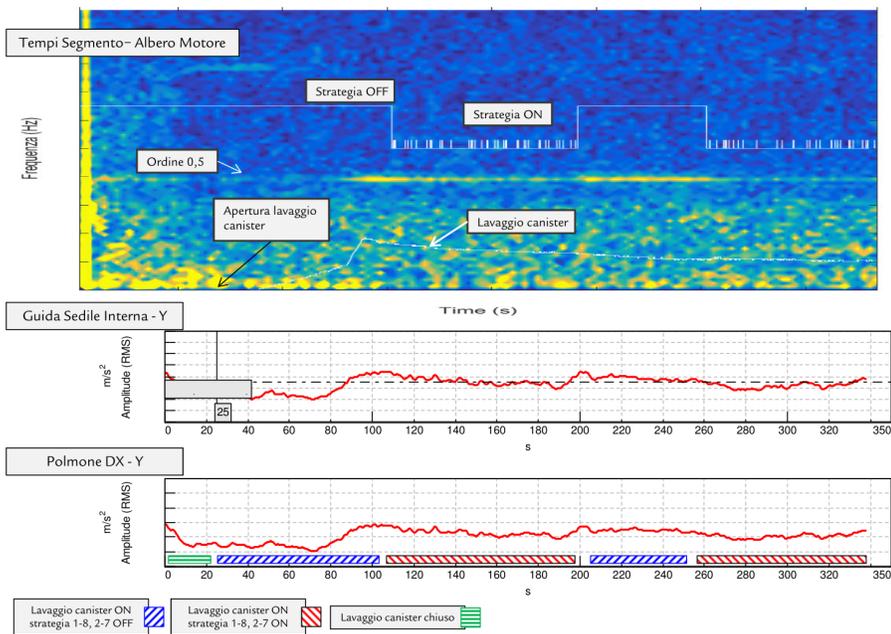


Figura 48: Colormap e andamento accelerazione su Vettura 5 con strategia spenta all'apertura del canister

Delibera - Conclusioni

Come anticipato, alcune vetture presentano risposte meno accentuate a parità di condizioni operative. Si vedano per esempio le colormap delle vetture 3 e 4: la differenza tra strategia attiva e spenta è sottile, ma questo perché il mezz'ordine era già poco eccitato durante il lavaggio a strategia spenta. Vettura 1 al contrario risentiva molto del lavaggio canister ed infatti si vede un netto miglioramento sia per quanto riguarda i valori del picco del mezz'ordine, sia per quelli accelerometrici.

Ciò che è possibile affermare alla luce dei risultati ottenuti, e che è stato quindi deliberato dalla reportistica generata, è che la strategia implementata funzioni come sperato, fornendo miglioramenti alla qualità del minimo, ed al limite, nessun peggioramento. Questo risultato si rispecchia anche nei QP forniti dai collaudatori, che riportano un miglioramento di mezzo punto sia sulle vibrazioni percepite al volante sia sul sedile. È stato inoltre stabilito che l'ampiezza del mezz'ordine sia strettamente correlata con le vibrazioni in abitacolo e quindi su di essa sarà basata la successiva fase di verifica, senza necessità di equipaggiare le vetture con accelerometri.

6 Verifica

“Confirmation, through the provision of objective evidence, that specified requirements have been fulfilled.” -ISO 9000

La verifica è quindi un processo che consiste nel provare che un prodotto, servizio o sistema soddisfi le specifiche di progettazione. Nel presente caso, per farlo è stato deciso di attrezzare due vetture, equipaggiate con la nuova strategia, con un acquirente che registrasse tutti i minimi a 940 giri/min, per poi effettuare le necessarie verifiche offline.

Allo scopo, le vetture che accumulano chilometri per il debug del software sono state aggiornate per includere la nuova strategia: in questo modo, osservando quotidianamente le acquisizioni è stato possibile elaborarle per verificare che tutto funzionasse a dovere e che non si stesse peggiorando il comportamento delle vetture, aumentando le vibrazioni percepite durante il lavaggio del canister.



Figura 49: *Acquisitore UNICAN*

L'acquisitore di cui si è parlato sopra è un acquisitore CSM UNICAN. Su di esso è possibile impostare un *experiment* contenente le variabili da acquisire, ma soprattutto contenente le condizioni che, quando soddisfatte, diano inizio automaticamente all'acquisizione. Fatto ciò, una volta collegato alla centralina tramite protocollo CCP, l'acquisitore non ha più bisogno di intervento, se non quello di scaricare quotidianamente

le misure. Le condizioni impostate sono state ovviamente scelte in modo da acquisire solamente i minimi a 940 giri/min. Le due vetture equipaggiate come descritto, saranno indicate da qui in avanti come Vetture A e B.

Le due vetture hanno accumulato chilometri durante tutto il mese di dicembre e gennaio, su due o tre turni. Tutti i minimi a 940 giri/min sono stati quindi acquisiti, di conseguenza la mole di dati da analizzare è tutt'altro che trascurabile (centinaia di GB). Per questo per poter osservare il comportamento della strategia in maniera intelligente, senza dover aprire manualmente tutte le misure, è stato modificato il tool Matlab di cui si è parlato nel Paragrafo 5.5, che permetteva di graficare l'ampiezza del picco del mezz'ordine in funzione del valore di $\dot{m}_{fr,can}$. La modifica ha permesso di colorare i punti in base al valore assunto da una terza variabile, e in particolare in base al valore di inj_{adj} .

6.1 Risultati

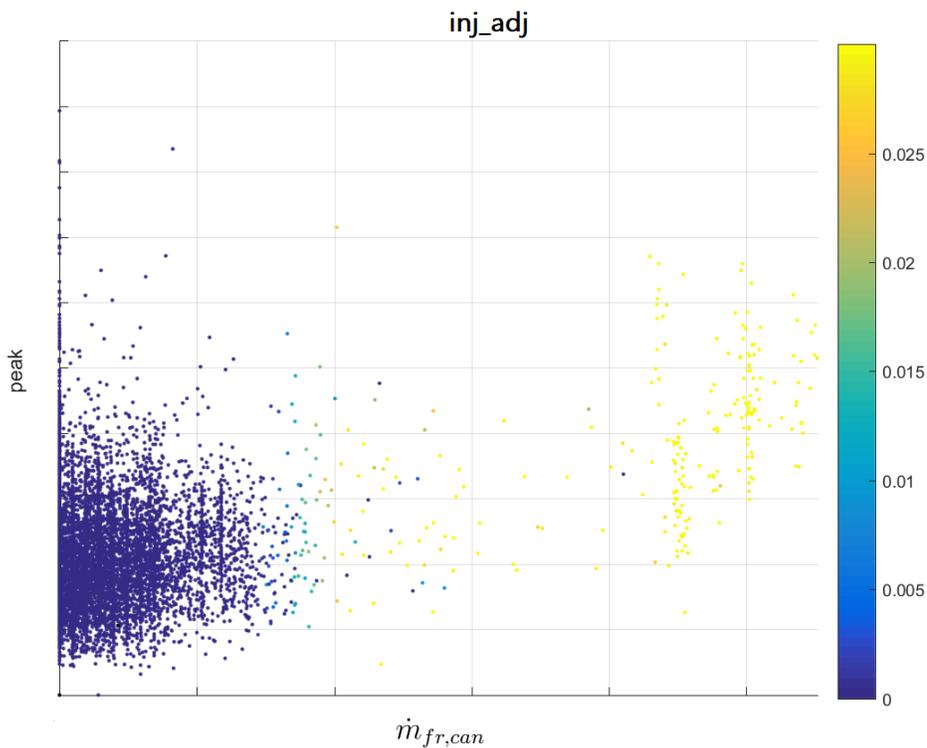


Figura 50: *Vettura A - Ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$, colorata in base al valore di inj_{adj}*

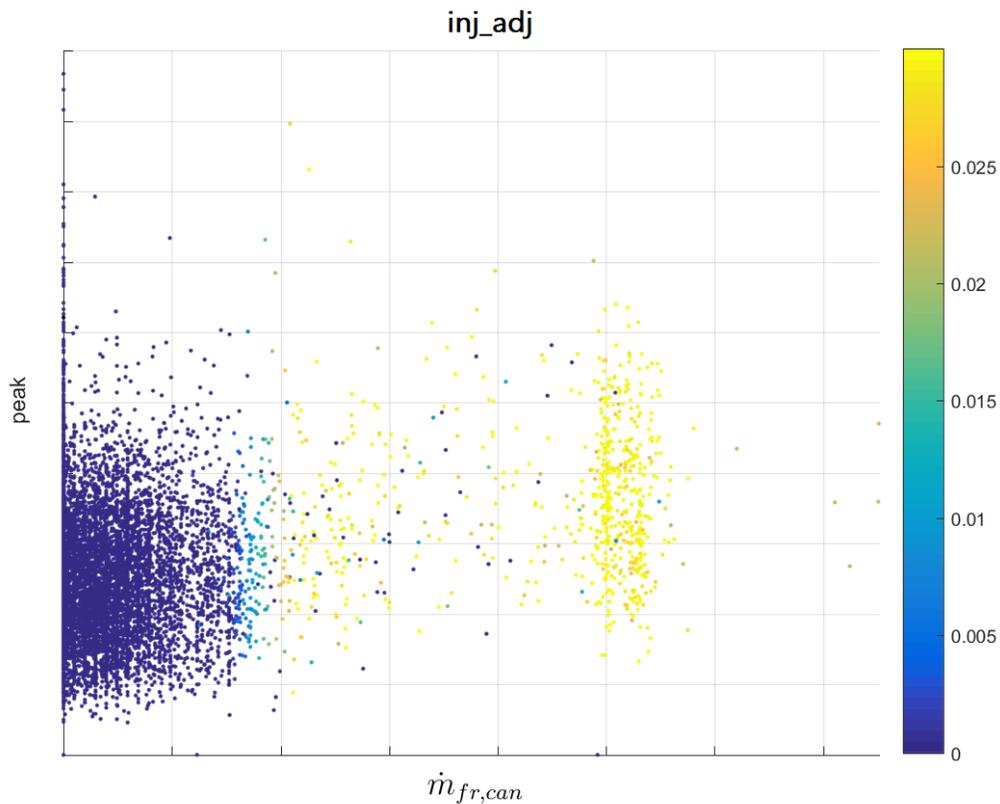


Figura 51: *Vettura B - Ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$, colorata in base al valore di inj_{adj}*

Le Figure 50 e 51 rappresentano proprio i punti in questione, ricavati da tutte le acquisizioni. Ogni punto rappresenta una delle finestre di tre secondi in cui sono state suddivise le misure per effettuare l'analisi in frequenza necessaria per valutare l'ampiezza del mezz'ordine. Quindi il valore di ogni grandezza è in realtà la media del segnale stesso all'interno della finestra di tre secondi. Si vedono in blu i punti in cui il canister era in fase di lavaggio ma la strategia era spenta e in giallo i punti in cui la strategia applicava la correzione massima. Si notino i punti di colore intermedio tra il blu e il giallo, che rappresentano invece i punti in cui la strategia non funzionava al pieno del suo potenziale. Questo comprende sostanzialmente:

- punti in cui $\dot{m}_{fr,can}$ aveva un valore appena superiore al 1,5 %, in cui erano proprio le mappe **INJCORR** a non avere valore unitario;
- punti in cui la temperatura motore non era regimata (si ricorda l'andamento della

mappa funzione della temperatura motore riportata in Figura 36 (c)).

Questi risultati dimostrano, su base statistica, che la strategia non è in nessun caso causa di un peggioramento del funzionamento della vettura, infatti le ampiezze dei picchi non raggiungono mai valori preoccupanti, mantenendosi allo stesso ordine di grandezza delle condizioni a canister scarico. Inoltre ad essi va affiancato il fatto che non è arrivato alcun lamentato riguardante la qualità del minimo da parte dei collaudatori.

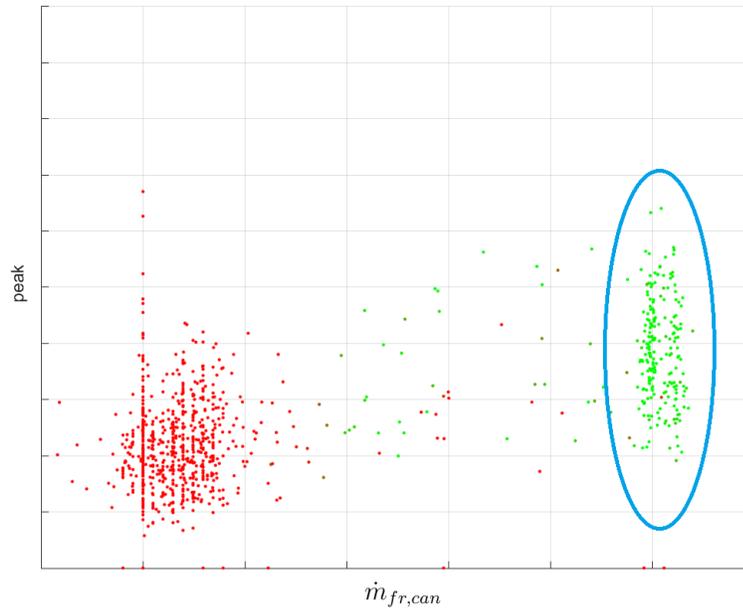


Figura 52: *Distribuzione inaspettata di ampiezza del picco a parità di $\dot{m}_{fr,can}$*

Ciò che però si è notato è stata una anomala distribuzione verticale dei punti a parità di $\dot{m}_{fr,can}$ (Figura 52), per cui si è ipotizzata un'ulteriore dipendenza che non era stata presa in considerazione in precedenza. Per questo si è deciso di colorare i punti in base al valore di altre grandezze, ed in particolare:

- p_{amb} : pressione ambiente;
- T_{amb} : temperatura aria ambiente;
- $\dot{m}_{a,r}$: portata d'aria aspirata;
- T_{H_2O} : temperatura acqua motore;
- $\dot{m}_{a,can}$: portata d'aria proveniente dal canister;

- $\%CPV$: valore percentuale che rappresenta il PWM che governa le CPV;
- x_{can} : indice che rappresenta il livello di saturazione del canister;

I risultati sono riportati nelle Figure 54-56.

Vettura A

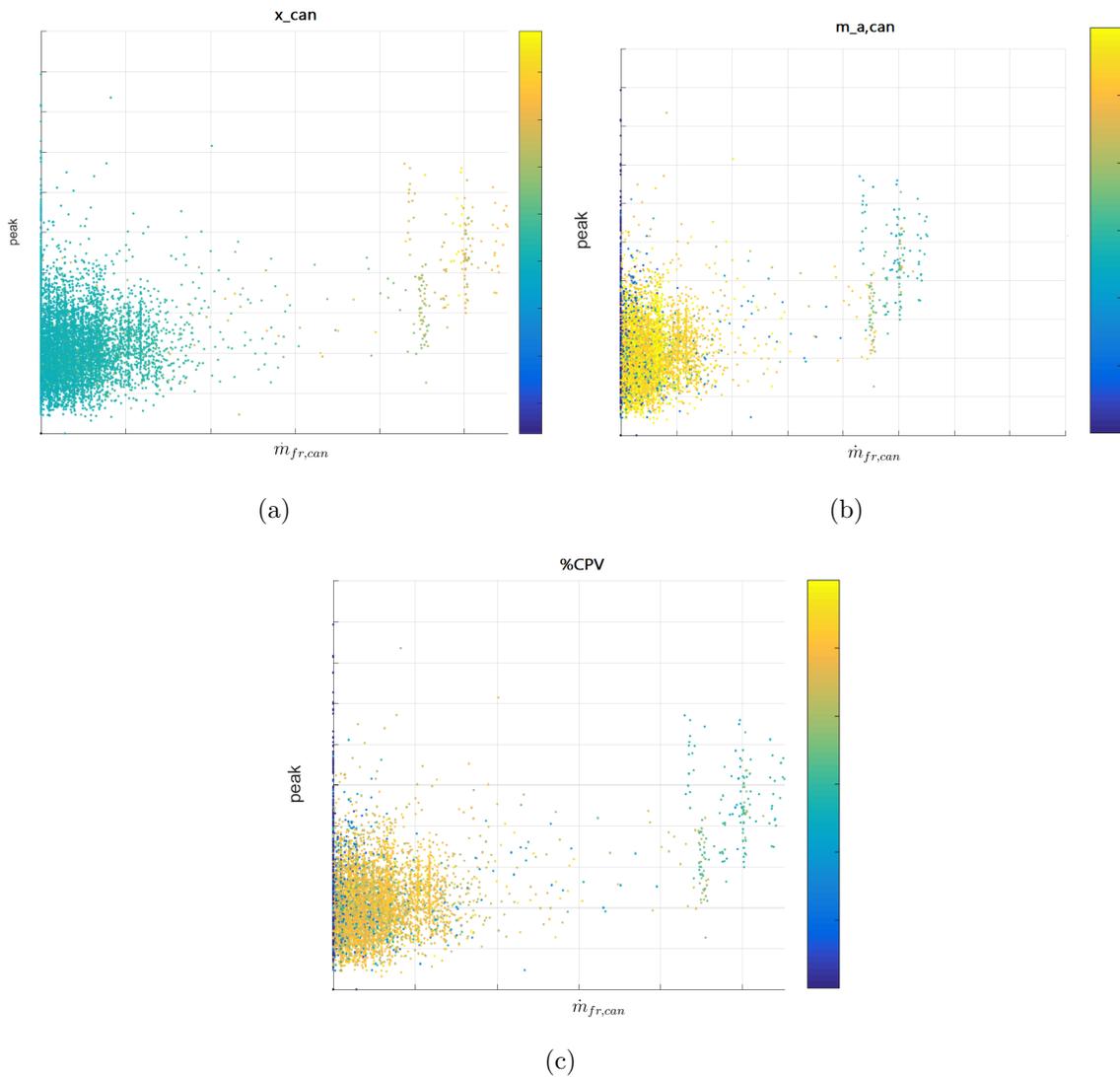


Figura 53: *Distribuzione ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$ per Vettura A, colorate secondo il valore di x_{can} (a), $\dot{m}_{a,r}$ (c) e $\%CPV$ (d)*

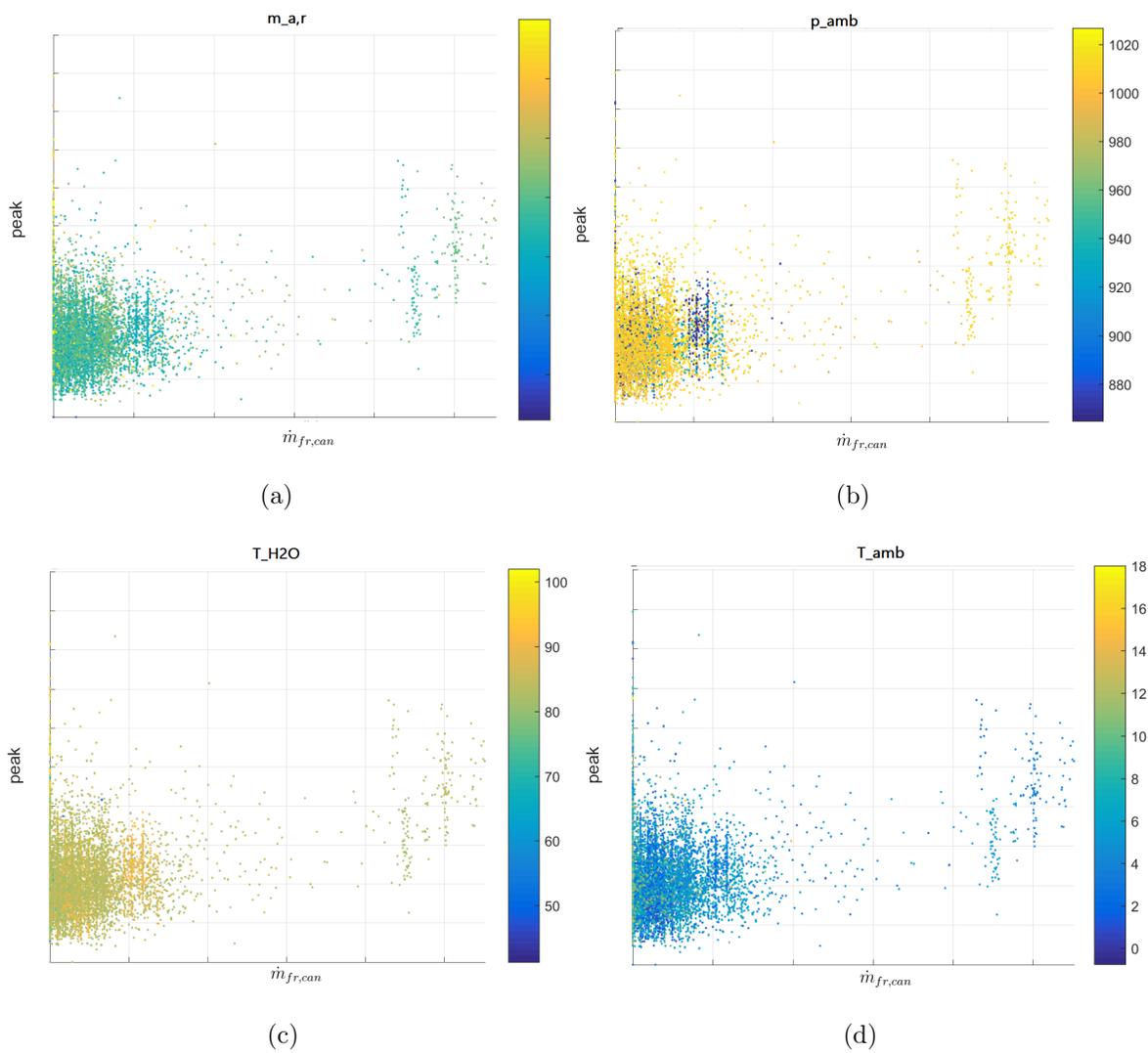


Figura 54: *Distribuzione ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$ per Vettura A, colorate secondo il valore di $m_{a,r}$ (a), p_{amb} (b), T_{H_2O} (c) e T_{amb} (d)*

Vettura B

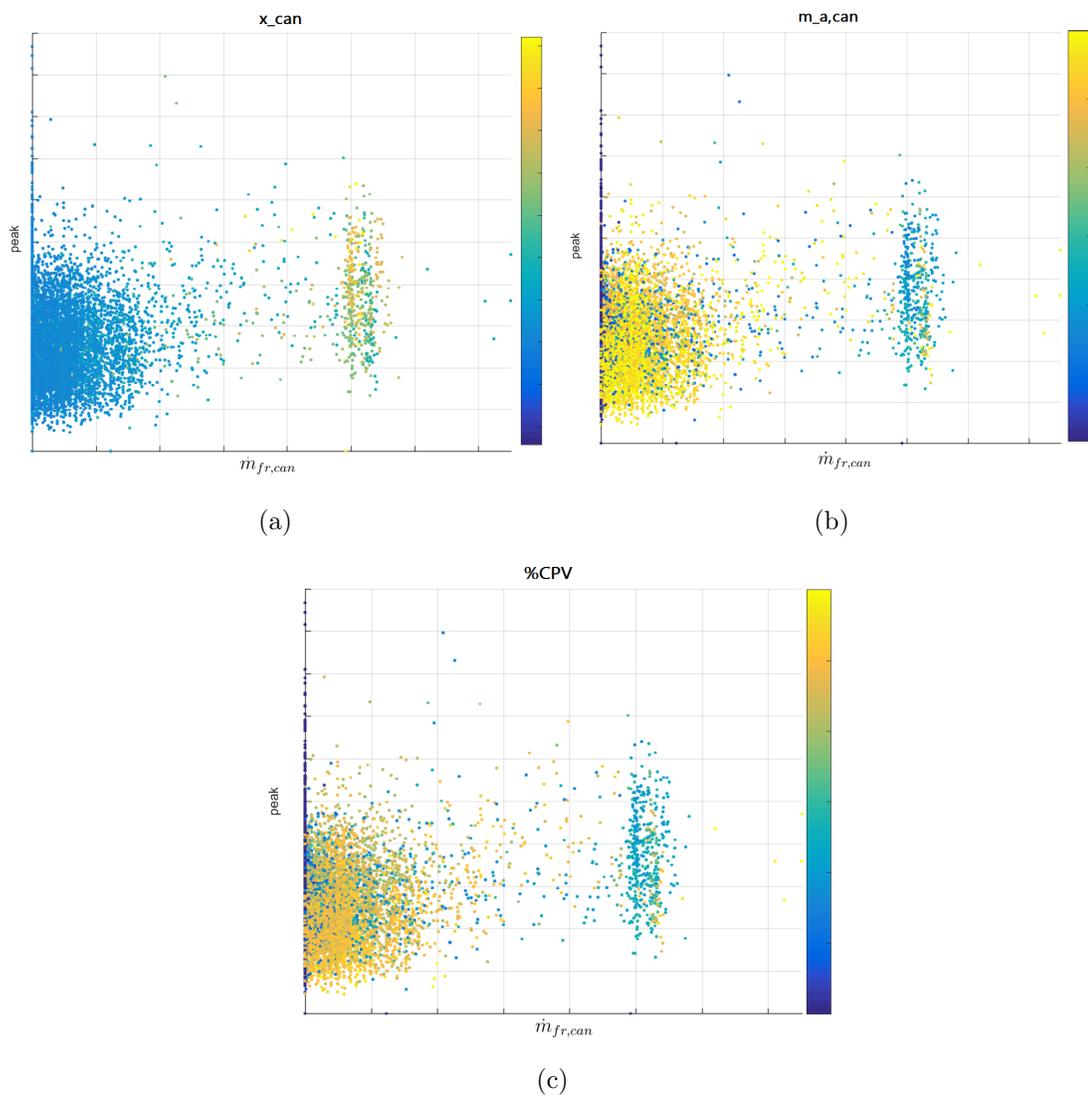


Figura 55: *Distribuzione ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$ per Vettura B, colorate secondo il valore di x_{can} (a), $\dot{m}_{a,r}$ (c) e $\%CPV$ (d)*

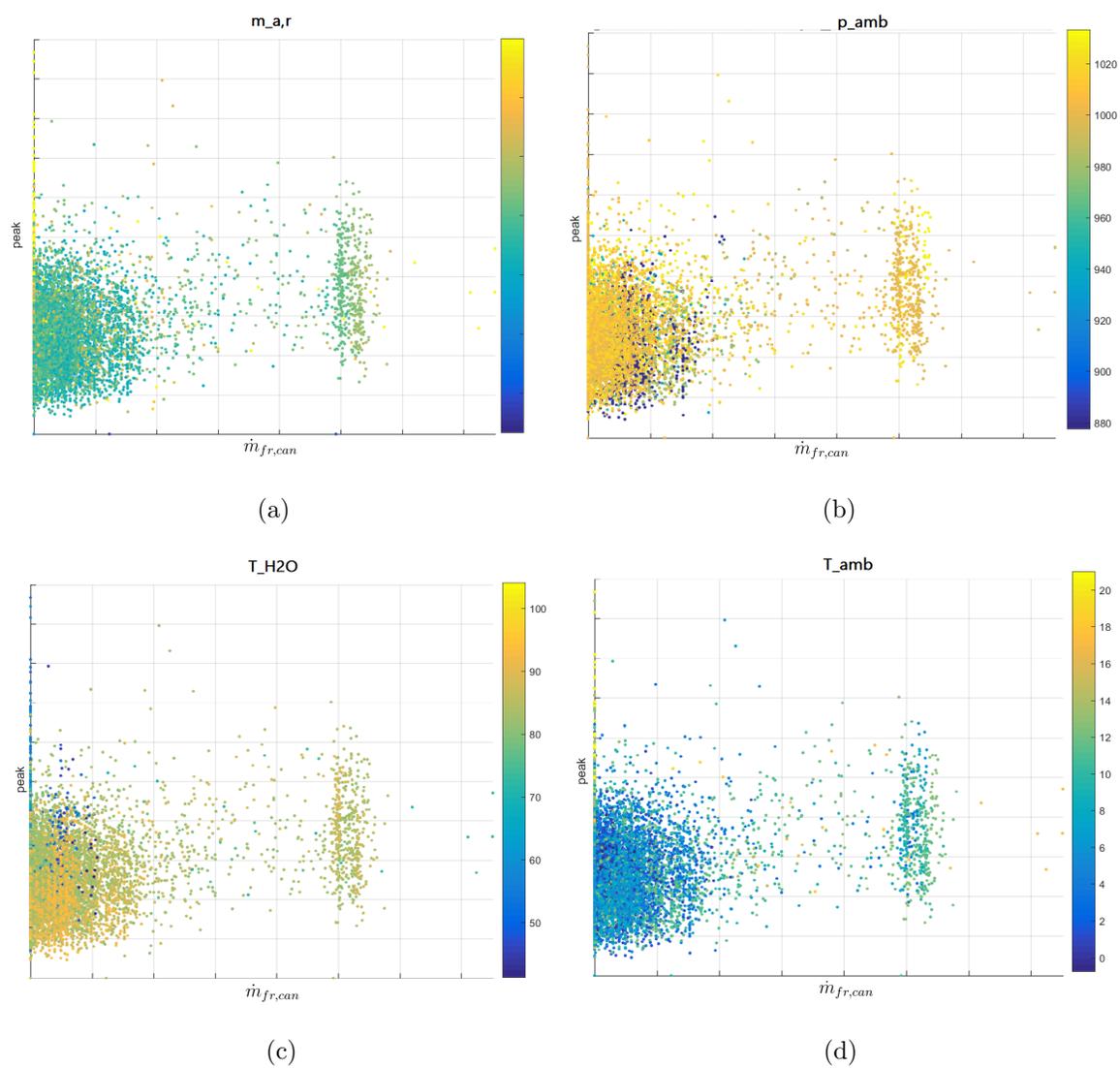


Figura 56: *Distribuzione ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$ per Vettura B, colorate secondo il valore di $m_{a,r}$ (a), p_{amb} (b), T_{H_2O} (c) e T_{amb} (d)*

Verifica - Conclusioni

I risultati di quest'ultima analisi, riportati nelle Figure 53-56, dimostrano quanto già noto, cioè una dipendenza dell'ampiezza del picco, a parità di $\dot{m}_{fr,can}$ e di correzione al tempo di iniezione, da $\dot{m}_{a,can}$ e x_{can} . Queste due grandezze sono inversamente proporzionali perché il loro prodotto rappresenta proprio $\dot{m}_{fr,can}$, per cui è indifferente riferirsi all'una o all'altra a parità di $\dot{m}_{fr,can}$. Però la dipendenza fisica è solamente da $\dot{m}_{fr,can}$, perché da tale portata dipendono le dinamiche dell'aria all'interno del polmone.

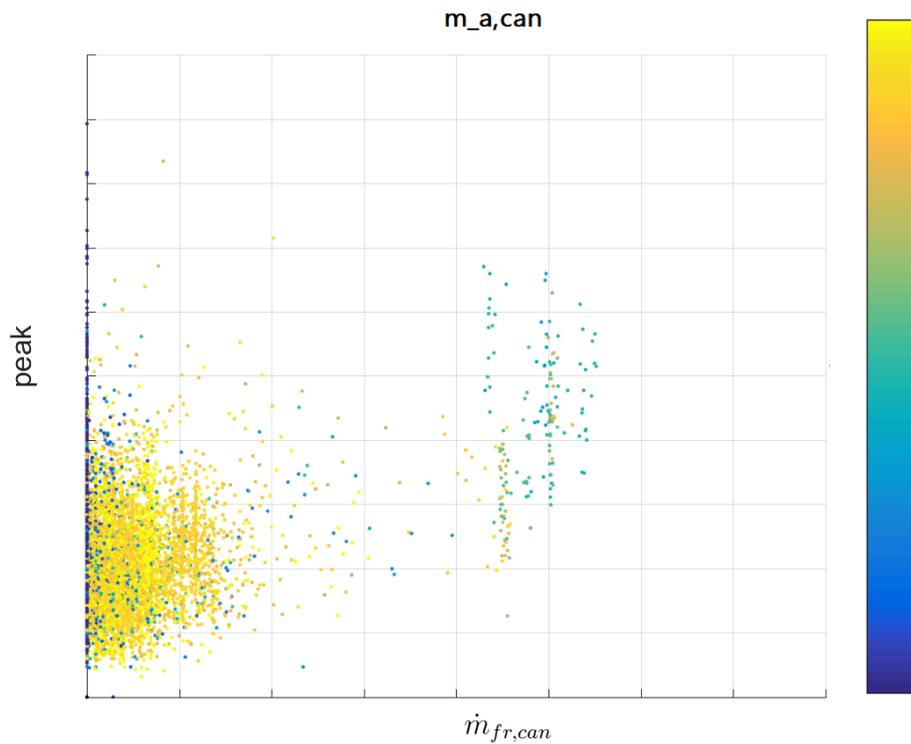


Figura 57: *Distribuzione ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$ per Vettura A, colorate secondo il valore di $\dot{m}_{a,can}$*

È quindi logico pensare che al variare di $\dot{m}_{fr,can}$ vari la distribuzione dei vapori sui quattro cilindri della bancata e di conseguenza andrebbe adattata la correzione applicata ai tempi di iniezione. Nonostante questa dipendenza fosse nota fin dall'inizio dell'attività (infatti osservando i risultati di sala prove riportati nel Capitolo 1, gli effetti del lavaggio del filtro antievaporativo sulla coppia erogata dipendono proprio dalla portata di miscela proveniente dal canister), si è deciso di non tenerne conto perché si tratta di una grandezza stimata da un modello, che al momento non è accurato al punto da

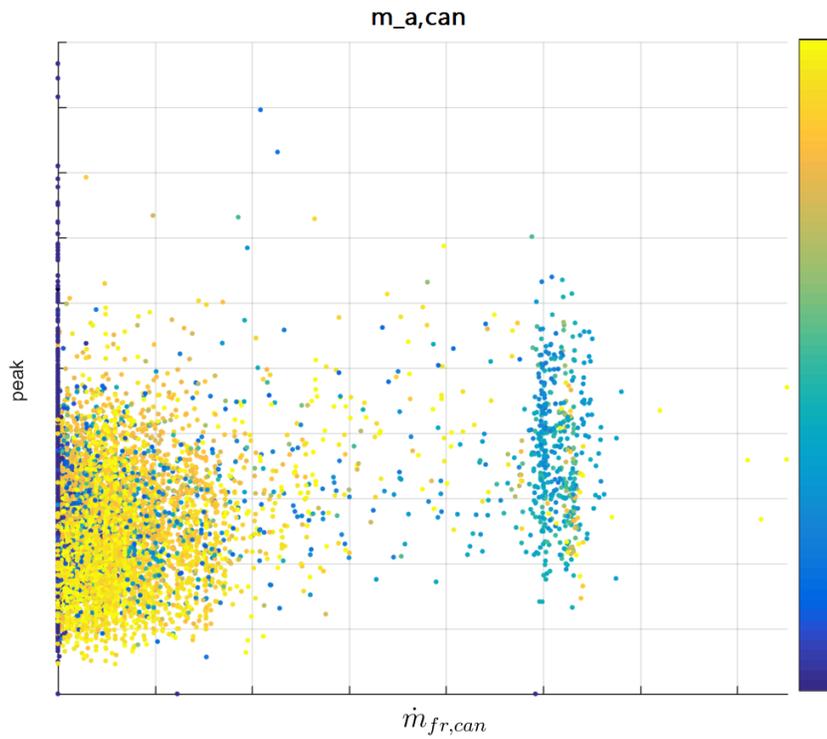


Figura 58: *Distribuzione ampiezza dei picchi in funzione di $\dot{m}_{fr,can}$ per Vettura B, colorate secondo il valore di $\dot{m}_{a,can}$*

poter basare su di esso un'intera strategia. La scelta di $\dot{m}_{fr,can}$ invece è stata compiuta poiché si tratta di una grandezza stimata, ma anche attuata come correzione al tempo di iniezione, per cui i suoi effetti sono direttamente valutabili.

7 Conclusioni

Fino ad oggi la correzione al tempo di iniezione dovuta alla portata proveniente dal filtro antievaporativo era calcolata in maniera univoca per tutti i cilindri. Questo però era causa, su alcuni nuovi motori, di problemi vibrazionali dovuti agli squilibri di coppia indicata, causati a loro volta da una distribuzione asimmetrica dei vapori lungo la bancata stessa. È nata quindi la necessità di una correzione ai tempi di iniezione non più uguale per tutti i cilindri, ma calcolata cilindro per cilindro. Ed è stato proprio questo l'obiettivo del presente lavoro di tesi: la creazione, calibrazione e verifica di una strategia di controllo che correggesse ad hoc i tempi di iniezione per i singoli cilindri, per ridurre l'entità delle vibrazioni che gli squilibri di coppia inducono fin dentro l'abitacolo. I risultati ottenuti sono soddisfacenti: la nuova strategia infatti rispetta gli obiettivi che ci si era imposti, migliorando la qualità del minimo tramite l'ottimizzazione del tempo di iniezione cilindro per cilindro. Il miglioramento è stato dimostrato sia con prove oggettive che soggettive:

- Oggettive, in prima battuta equipaggiando accelerometri in vettura e misurando l'effettiva ampiezza delle vibrazioni trasmesse. Dopodiché è stata creato un report che dimostra, su base statistica, che la nuova strategia non peggiora il comportamento della vettura in nessuna condizione di funzionamento, riportando le ampiezze di accelerazione trasmessa a valori simili alle condizioni a canister scarico;
- Soggettive, tramite il QP fornito dai collaudatori, migliore di almeno mezzo punto (+5%) rispetto alla situazione precedente. Questo rappresenta un risultato molto importante, nell'ottica di dover vendere una vettura, in quanto è la percezione che il cliente ha del prodotto a dover essere la migliore possibile.

Infine, quanto emerso dall'ultima indagine, ossia la dipendenza della distribuzione dei vapori dalla portata di miscela proveniente dal canister $\dot{m}_{a,can}$, potrà essere il punto di partenza per attività future, che permetteranno sicuramente di migliorare la correzione cilindrica al tempo di iniezione, a patto di riuscire ad ottenere a banco un modello più robusto di stima di $\dot{m}_{a,can}$.

A Appendice A: Analisi misure di durata

Lo scopo di questo tool era inizialmente quello di poter ritrovare all'interno della mole di acquisizioni provenienti dalle prove di durata i punti in cui la strategia implementata si fosse attivata e poterne così controllare l'efficacia. Ma poiché era breve il passo per estendere la possibilità di funzionamento a tutti i tipi di condizioni, il tool è stato reso universale. Esso è infatti in grado di ritrovare una qualsiasi condizione che coinvolga le variabili acquisite all'interno di una lista di file o una cartella.

A.1 Interfaccia grafica

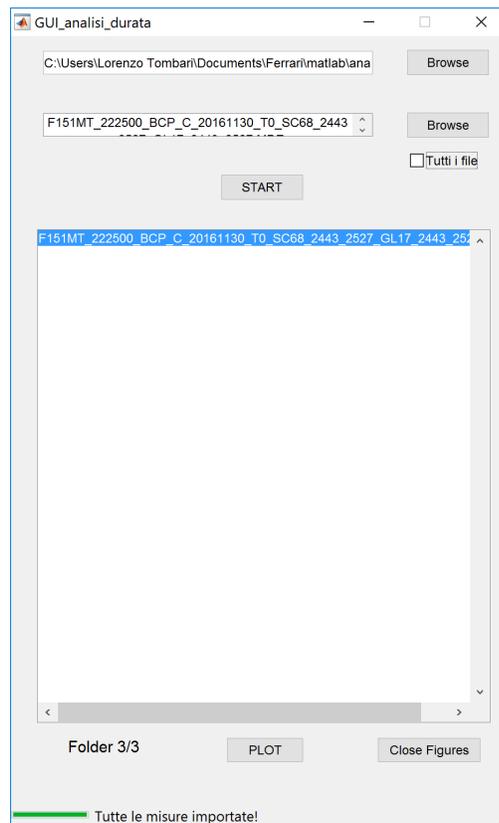


Figura 59: *Interfaccia grafica*

Per avere uno strumento che potesse essere utilizzato senza difficoltà, è stata creata un'interfaccia grafica (Figura 59). Essa presenta due caselle in cui è possibile inserire percorso e nome dei file da analizzare. Selezionando la casella "Tutti i file" è invece possibile analizzare tutti i file all'interno del percorso selezionato, sottocartelle incluse. Una volta lanciata l'analisi con il tasto Start, il tool verifica su ogni misura selezionata che le condizioni imposte siano verificate e, se lo sono, mostra nella *listbox* sottostante il nome del file in questione. Selezionando uno dei file nella lista e premendo il tasto "PLOT", verrà mostrato un grafico come quelli di Figura 60.

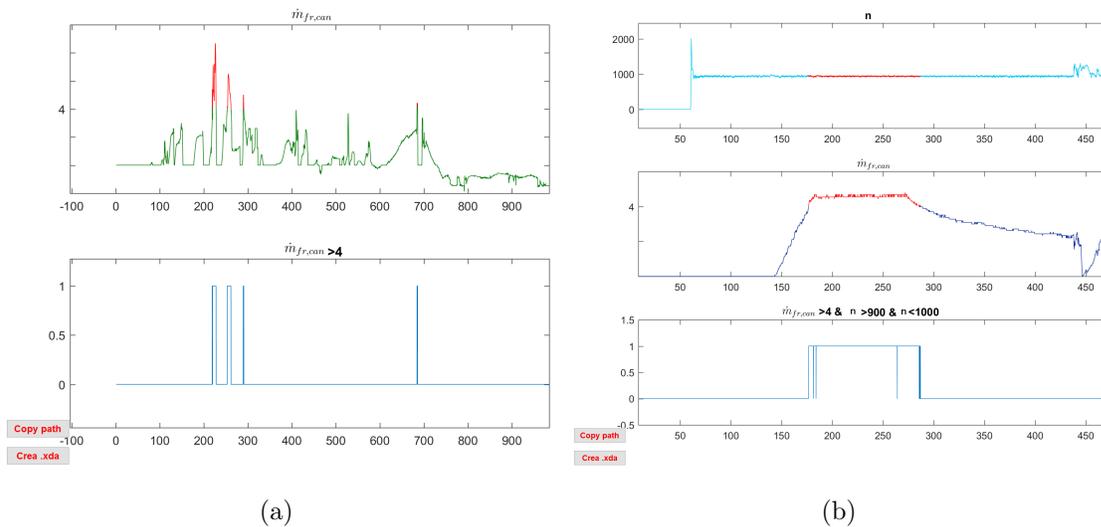


Figura 60: Grafico che si ottiene premendo il tasto plot nel caso fosse impostata una condizione riguardante un solo canale (a) e nel caso di molteplici canali (b)

A.2 Lista condizioni

Le condizioni imposte devono essere scritte, prima di lanciare l'analisi, in un file excel strutturato come segue e come mostrato in Figura 61:

- nella prima colonna le condizioni vere e proprie, scritte in linguaggio Matlab;
- nella seconda colonna, in corrispondenza della condizione interessata, il tempo minimo per cui essa deve essere soddisfatta; se lasciata vuota, non verrà imposto alcun limite;

- nella terza colonna, sempre in corrispondenza della condizione interessata, il tempo massimo per cui essa deve essere soddisfatta; di nuovo, se lasciata vuota, non verrà imposto alcun limite.

	A	B	C
1	Trig	Tmin	Tmax
2	m_fr,can>1.5	0,5	3
3	m_fr,can>1.5 & n>900 & n<1000	0,5	

Figura 61: *Esempio di condizioni imposte tramite foglio excel*

Come già detto, le condizioni vanno scritte in linguaggio Matlab poiché vengono eseguite all'interno del tool tramite il comando *eval*, che è in grado di eseguire in Matlab un comando contenuto all'interno di una stringa.

A.3 Risultati

A fine analisi, i risultati sono consultabili in due modi: salvati in un foglio excel e graficati.

All'interno del foglio excel sono organizzati in colonne (Figura 62), indicando per ogni misura analizzata le condizioni soddisfatte e i rispettivi intervalli temporali.

I grafici invece, come quelli riportati in precedenza in Figura 60 (a) e (b), presentano un numero di subplot pari al numero di variabili coinvolte nella condizione, più uno. Questo perché ognuna delle variabili viene graficata, colorata di rosso quando la condizione è soddisfatta, mentre in basso, nell'ultimo subplot, è riportato il flag che rappresenta appunto il soddisfacimento della condizione.

Nella parte bassa della figura, a sinistra, sono presenti due tasti:

- **Copy path** che copia negli appunti il percorso del file selezionato;
- **Create .xda**: questo tasto crea un file in formato *.xda*, che è un file di configurazione per ETAS MDA (*Measure Data Analyzer*). MDA è un programma della famiglia di INCA, che permette la visualizzazione delle acquisizioni. Il file *.xda* ne è una configurazione predefinita, che consente di aprire una nuova misura mantenendo lo stesso formato e gli stessi canali della misura precedente.

Il tasto **Create .xda** permette quindi di selezionare due punti sul grafico che rappresentano la finestra temporale di interesse, creare un file *.xda* con i canali inclusi

	A	B
1	D:\ACQUISIZIONI DURATA\MP6\20170117\2349-CAN2L\20170115_092817_ChannelGroup.DAT	
2	m_fr,can>1.5	m_fr,can>1.5 & n>900 & n<1000
3		
4	608.659-610.7888	91.1329-92.1608
5	613.6603-615.6736	94.9688-95.5409
6	624.977-626.9797	571.0851-571.795
7	661.237-662.286	3512.7428-3513.3785
8	662.6993-664.7973	3514.1097-3533.0344
9	878.638-881.5519	3533.045-3621.0777
10	1121.4273-1124.0976	3621.1201-3624.8075
11	1648.1614-1649.3164	3624.8287-3664.4371
12	2613.3107-2614.6458	3680.8399-3685.0572
13	3084.415-3085.8667	3685.0678-3685.9579
14	3168.0292-3169.3325	3686.2122-3687.3883
15	3187.8546-3189.2109	3687.4307-3701.905
16	3192.4851-3192.9937	3701.958-3720.4907
17	4139.1441-4139.6527	3720.5013-3736.014
18	4140.7229-4141.3481	3736.0246-3737.5505
19	4182.9486-4184.5486	3737.5611-3816.9155
20	4190.048-4191.3513	3817.0215-3826.1872
21	4713.9635-4714.9595	3826.1978-3844.8364
22	4715.8602-4718.0536	3845.0165-3853.9384
23	4743.3889-4744.7876	3853.9914-3864.0366
24		3864.1107-3870.2989
25		3870.3201-3880.1533
26		3880.291-3886.5746
27		3886.6805-3890.2408
28		3890.5481-3912.7152
29		3912.7258-3921.1498

Figura 62: *Esempio di report salvato all'interno di un foglio excel*

nella condizione imposta e infine lanciare MDA, aprendo la misura in questione secondo la configurazione appena creata.

A.4 Ottimizzazione memoria

Le misure analizzate vengono importate in Matlab sotto forma di variabile struttura m . I campi di m sono tutti i canali importati ed ognuno di essi contiene il vettore dei tempi e il vettore dei valori. Tali valori devono essere memorizzati per poter plottare i risultati in un momento arbitrario, successivo alla loro creazione. Inizialmente venivano quindi mantenuti nel workspace di Matlab, pronti ad essere richiamati dal tasto PLOT. Ovviamente solo i canali presenti nelle condizioni vengono importati, ma nonostante questo, durante la fase di debug si è riusciti a forzare casi in cui analizzando grandi moli di dati e impostando condizioni molto blande, si arrivasse a saturare la RAM del calcolatore. Si sono quindi adottate diverse contromisure per impedire che ciò potesse accadere.

Per prima cosa, si è deciso di salvare i dati delle misure che soddisfacevano le condizioni

sotto forma di file MAT, che sono compressi e memorizzati nel disco rigido e di eliminarli mano a mano dal workspace. In questo modo si è riusciti a mantenere libera la RAM, ma si è presentato il rischio di occupare una quantità di spazio di archiviazione non indifferente.

Quindi poiché tutti i vettori dei canali erano interpolati lungo lo stesso asse dei tempi, si è deciso di esportare un solo vettore dei tempi, valido per tutti i canali, giungendo così quasi a dimezzare lo spazio occupato. Non contenti, si è effettuata un'ulteriore compressione, convertendo i dati da *double* (cioè a 64 bit) a *single* (32 bit). Detti quindi i il numero di canali e j il numero di elementi del vettore, e ricordando che per ogni canale si avevano il vettore dei valori e il proprio asse dei tempi:

$$M_{old} = 64 \cdot (2 i \cdot j) \text{ [bit]}$$

$$M_{new} = 32 \cdot (1 + i \cdot j) \text{ [bit]}$$

$$\frac{M_{new}}{M_{old}} = \frac{32 \cdot (1 + i \cdot j)}{64 \cdot (2 i \cdot j)} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2 i \cdot j} \simeq \frac{1}{4}$$

A questo valore va moltiplicato anche il rapporto di compressione del file MAT, che porta quindi ad un rapporto di compressione totale maggiore del 75%.

B Appendice B: STFFT e colormap

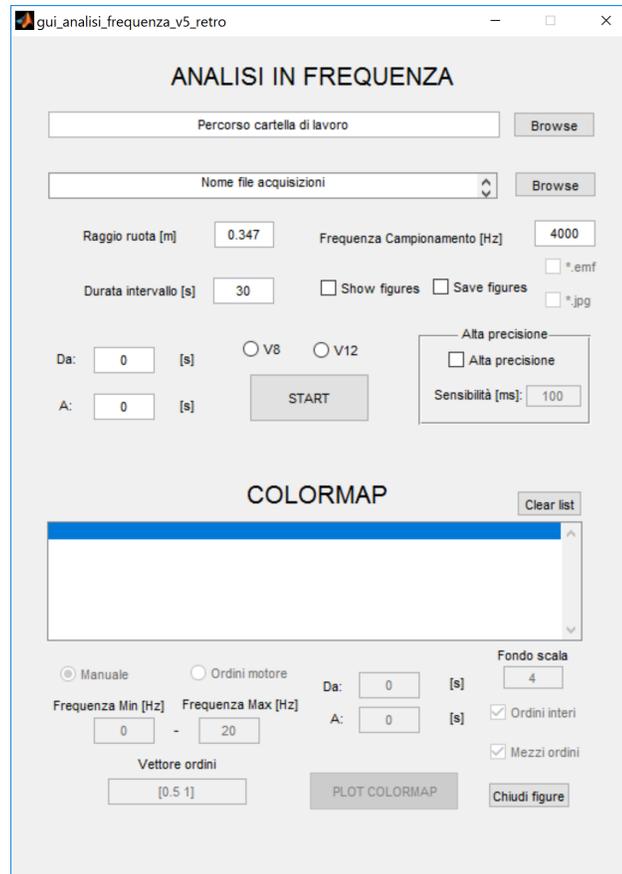


Figura 63: *Interfaccia grafica del tool di analisi in frequenza*

Partendo dallo script preesistente per effettuare STFFT dei segnali di velocità angolare dell'albero motore, è stato creato questo tool, in grado anche di produrre colormap a partire dai dati elaborati.

B.1 STFFT

Con la sigla STFFT (*Short Time Fast Fourier Transform*) si indica una particolare trasformata di Fourier in grado di determinare i contenuti in frequenza di un segnale che cambia nel tempo. Per farlo, il segnale viene suddiviso in intervalli e viene condotta una trasformata di Fourier sulla singola finestra temporale. Questo permette appunto di apprezzare l'evoluzione temporale del contenuto in frequenza. Dopodiché è utile

plottare gli spettri ottenuti in funzione del tempo sotto forma di colormap.

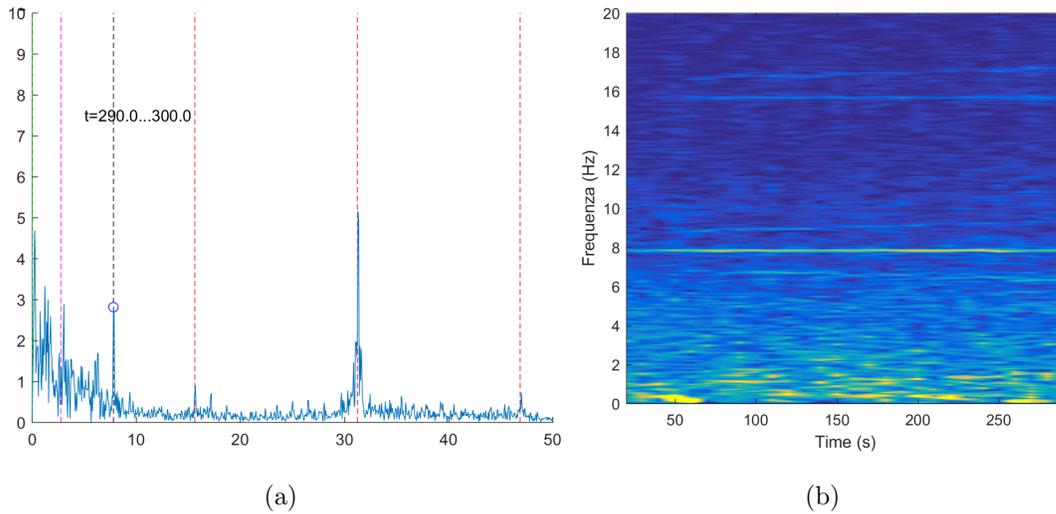


Figura 64: *STFFT su intervalli di 10 s, spettro di frequenze (a) e colormap (b)*

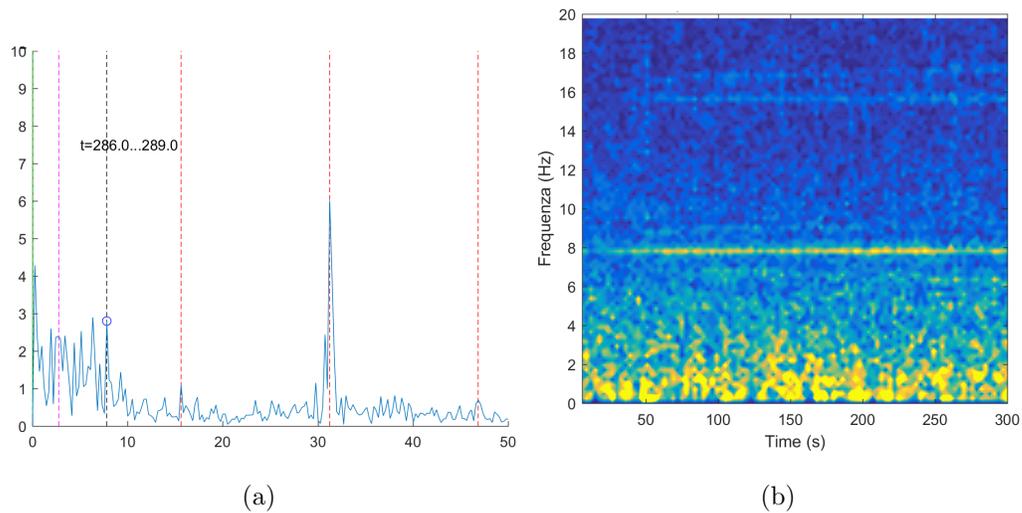


Figura 65: *STFFT su intervalli di 3 s, spettro di frequenze (a) e colormap (b)*

Il "limite" di questa tecnica è che si deve cercare un compromesso tra risoluzione nel campo della frequenza e risoluzione temporale. Infatti suddividendo il segnale in segmenti più lunghi, si avrà una migliore risoluzione nel dominio della frequenza, ma meno campioni lungo l'asse dei tempi. Al contrario, intervalli troppo corti risulteranno in una migliore risoluzione temporale, ma una scarsa definizione nel dominio della frequenza.

Questo effetto è mostrato molto bene nelle Figure 64 e 65.

Il tool permette di scegliere la durata degli intervalli in cui suddividere la misura, ma il miglior valore di compromesso a cui si è giunti è di 3 s.

B.1.1 STFFT con overlap

La tecnica di overlap consiste nel sovrapporre finestre successive, facendo scorrere la finestrazione di una quantità piccola (minore della durata della finestra) ma mantenendo la stessa durata degli intervalli. In questo modo è possibile avere al contempo una buona risoluzione temporale e nel dominio della frequenza. La controindicazione però è l'aumento del tempo di calcolo, poiché è necessario effettuare una FFT ogni volta che la finestra viene fatta scorrere. Se per esempio su un segnale di 30 s viene condotta una STFFT con overlap, facendo scorrere la finestrazione di 100 ms alla volta, con finestre di 3 s, il numero di FFT da eseguire sarà pari a $30/0.1 = 300$, contro le $30/3 = 10$ senza sovrapposizione. In Figura 66 si vede il confronto tra i due casi appena citati.

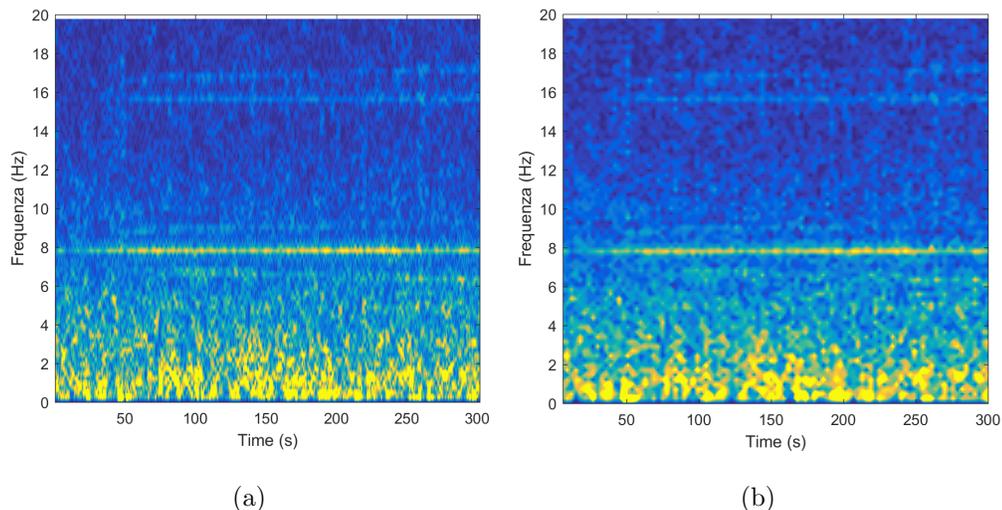


Figura 66: *STFFT su intervalli di 3 s, con overlap (a) e senza (b). I tempi di calcolo sono proporzionali al numero di FFT da eseguire.*

B.2 Interfaccia grafica

Per rendere più accessibile l'utilizzo dei tool di analisi in frequenza, è stata creata un'interfaccia grafica con il comando **guide** che permettesse di lanciare le analisi in

frequenza e generare le colormap (Figura 63).

Dopo aver selezionato il file dell'acquisizione, si possono impostare la frequenza di campionamento e la durata degli intervalli in cui finestrare la misura. Si può inoltre scegliere l'intervallo temporale da analizzare, per velocizzare il processo nel caso di acquisizioni molto lunghe. Il tasto START lancia l'analisi in frequenza, che ha come risultato gli spettri come quelli rappresentati nelle Figure 64 (a) e 65 (a). Dopodiché nella parte inferiore appare l'elenco delle misure analizzate, da cui selezionare quella di cui si desidera generare la colormap. Si possono scegliere il limite superiore di frequenza del grafico, gli istanti di inizio e fine e il fondo scala della scala di colori, da poter variare a seconda dell'effettiva ampiezza dei picchi. Si può anche decidere di mostrare o nascondere il valore degli ordini (interi e mezzi), come mostrato in Figura 67.

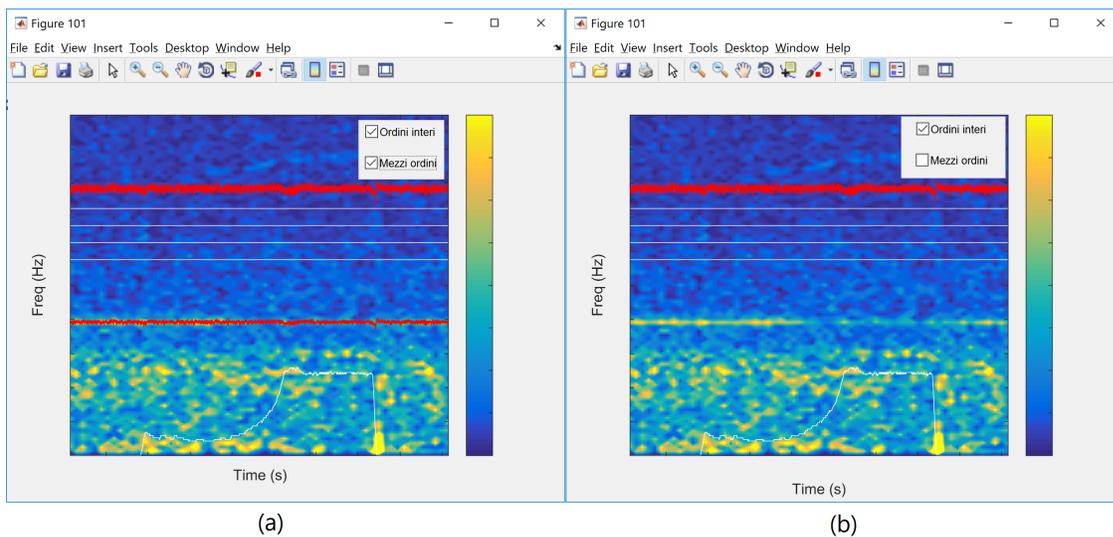


Figura 67: *Colormap con mezzi ordini presenti (a) e nascosti (b)*

Bibliografia e sitografia

Bibliografia

1. Bosch, *Diagnosis for OBD*
2. Bosch, *Automotive Handbook*
3. S. Paolin, *Tesi di laurea magistrale*

Sitografia

1. <https://www.autosar.org/>
2. <https://www.etas.com/>
3. <http://www.ferrari.com/>