



*Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca*



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Dottorato di Ricerca in Ingegneria Meccanica

XIV Ciclo N.S. (2012-2015)

***“Sviluppo e sperimentazione di un sistema di ibridizzazione e
del relativo sistema di controllo per veicoli convenzionali.”***

Ing. Mario D'Agostino

Il Tutor

Ch.mo Prof. Gabriele Cricrì

Il Coordinatore

Ch.mo Prof. Vincenzo Sergi

Il Co-Tutor

Ch.mo Prof. Gianfranco Rizzo

Non ho certo raggiunto la mèta, non sono arrivato alla perfezione; ma mi sforzo di correre per conquistarla, perché anch'io sono stato conquistato da Cristo Gesù. Fratelli, io non ritengo ancora di averla conquistata. So soltanto questo: dimenticando ciò che mi sta alle spalle e proteso verso ciò che mi sta di fronte, corro verso la mèta, al premio che Dio ci chiama a ricevere lassù, in Cristo Gesù.

Dalla lettera di san Paolo apostolo ai Filippési

INDICE GENERALE

INDICE DELLE FIGURE	VI
INDICE DELLE TABELLE	X
1.INTRODUZIONE	11
2.IL QUADRO ENERGETICO	14
2.1 La riduzione delle emissioni inquinanti	19
3.I VEICOLI INNOVATIVI	22
3.1 Veicoli elettrici	24
3.2 Veicoli ibridi	25
3.2.1. Ibrido serie	29
3.2.2. Ibrido parallelo	30
3.2.3. Ibrido misto	31
3.2.4. Scelta dell'architettura migliore.	31
3.2.5. Fattore di ibridizzazione	32
3.2.6. Gestione dell'energia	34
3.3 L'energia del sole e le sue applicazioni	35
4.HY SOLAR KIT	40
4.1 Il progetto	40
4.2 Il Kit	43
4.2.1. Ruote motorizzate	44
4.2.2. Le batterie	46

4.2.3. Pannelli fotovoltaici	49
4.2.4. Il sistema di controllo	51
4.2.5. Il protocollo OBD	53
4.2.6. Scelta del veicolo	54
5.INTEGRAZIONE DEL SISTEMA	56
6.BANCO PROVA IN-WHEEL MOTORS	61
6.1 Supporto motore	62
6.2 Supporto pinza freno	62
6.3 Pinza freno	63
6.4 Disco freno	64
6.5 Cella di carico	64
6.5.1. Modalità installazione cella di carico	65
6.6 Sensore fotoelettrico di velocità	65
6.6.1. Caratteristiche sensore fotoelettrico	66
6.7 Scheda di acquisizione dati	67
6.8 Manometro	68
6.8.1. Modalità di installazione del manometro	68
6.8.2. Funzionamento freno	69
6.9 Ventola raffreddamento disco	70
6.10 Funzionamento del banco prova	70
6.11 Taratura cella di carico	72
6.12 Montaggio e calibratura del sensore fotoelettrico	75

INDICE GENERALE	III
6.13 Interfaccia di controllo	75
6.14 Predizione della coppia frenante	77
6.15 Tracciamento delle curve di coppia e potenza	79
7.INTERFACCIA COMANDO DA PC	82
7.1 Scheda NI USB-6212	82
7.2 Struttura del software	84
8.SVILUPPO ED IMPLEMENTAZIONE DELLA STRATEGIA DI CONTROLLO	89
8.1 Le strategie di controllo del veicolo.	90
8.2 Strategie basate sull'ottimizzazione.	92
8.2.1. Ottimizzazione globale.	93
8.2.2. Ottimizzazione in tempo reale.	94
8.3 La strategia ECMS.	95
8.4 Controllo Real Time HSK	98
8.5 Individuazione della marcia	99
8.6 Modello del folle	104
8.6.1. Implementazione modello	105
8.7 Sviluppo Software on line	111
9.LA DINAMICA LONGITUDINALE	114
9.1 Schematizzazione forze	115
9.2 Modello della dinamica longitudinale	117

9.3 Risultati della dinamica longitudinale in modalità di guida puramente termica	119
9.4 Forza aerodinamica e coefficiente di attrito aerodinamico	121
9.5 Identificazione parametri	123
9.5.1. Discretizzazione dei dati relativi alla velocità	123
9.5.2. Problema del rumore	124
9.5.3. Implementazione algoritmo	125
9.5.4. Ricerca del parametro δ	126
9.5.5. Stima del coefficiente di attrito aerodinamico e della resistenza al rotolamento	127
10.CONTROLLO VEICOLO HSK	129
10.1 Software real-time	129
10.1.1. Modalità ibrida	132
10.1.2. Modalità elettrica	134
10.1.3. Frenata rigenerativa	135
11.PROVE SPERIMENTALI	136
11.1 Risultati in modalità di guida puramente elettrica	137
11.2 Test dei consumi	141
12.STRATEGIE DI CONTROLLO DELLA FRENATA	148
12.1 Strategia di controllo 1: strategia base	148
12.2 Strategia di controllo 2: dipendenza a gradino del brake al variare della coppia alle ruote Tdrive	151
12.2.1. Strategia di controllo 2: “guidabilità”	154

INDICE GENERALE **V**

12.3 Strategia di controllo 3: dipendenza lineare del brake dalla coppia alle ruote Tdrive	155
12.3.1. Strategia di controllo 3: “guidabilità”	157
12.4 Test dei consumi	158
13.CONCLUSIONI	164
REFERENCES	167

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Distribuzione delle riserve fossili nel mondo, fonte BP. _____	11
Figura 2 Densità mondiale veicoli abitanti (fonte: OICA)_____	12
Figura 3 Consumi energetici pro capite (fonte: BP Statistical Review of World Energy). _____	14
Figura 4 Percentuale di consumo di energia rinnovabili rispetto al consumo globale di energia, 2009. _____	15
Figura 5 Distribuzione dei consumi mondiali di energia primaria dal 1973 al 2010. (BP British Petroleum)_____	16
Figura 6 Andamento prezzo del petrolio, fonte BP. _____	16
Figura 7 Atmospheric CO2 for August 2012,Original data file created by NOAA_____	17
Figura 8 Man-made Co2 Emissions (OICA)_____	20
Figura 9 Piaggio porter ibrido, prototipo Università degli studi di Salerno. _____	23
Figura 10 La Jamais Contente. _____	24
Figura 11 Porsche ibrida,inizio 900. _____	28
Figura 12 Schema ibrido serie. _____	29
Figura 13 Schema ibrido parallelo. _____	30
Figura 14 Schema ibrido misto _____	31
Figura 15 Miglioramento dell'efficienza (in percentuale rispetto al veicolo a propulsore endotermica) in funzione del fattore di ibridizzazione HF, simulazioni effettuate per tre ipotetici veicoli di diverse potenze. _____	33
Figura 16 Distribuzione della radiazione solare sulla Terra. _____	35
Figura 17 La crescita dell'efficienza delle celle solari negli ultimi trent'anni,(fonte: National Renewable Energy Laboratory). _____	36
Figura 18 Andamento costi PV. _____	37
Figura 19 Prototipo di vettura solare. _____	37

VII

Figura 20 Contributo solare. _____	39
Figura 21- Schema di funzionamento del Hy Solar Kit _____	41
Figura 22- Payback in funzione del tipo di automobile _____	42
Figura 23-Il kit _____	43
Figura 24-Schema ruote motorizzate _____	44
Figura 25 Caratteristiche IWM _____	45
Figura 26 disegni tecnici ruote motorizzate _____	46
Figura 27 Invert IWM _____	46
Figura 28 Caratteristiche celle _____	48
Figura 29-Pacco batteria agli ioni di Litio utilizzata per il kit _____	49
Figura 30 Curve di tensione-potenza per una cella solare in condizioni di mismatching (verde), ed in condizioni normali (rosso). _____	50
Figura 31- Pannelli fotovoltaici forniti da ENECOM _____	50
Figura 32 Andamento del SOC in una giornata tipo. _____	52
Figura 33 Grande Punto utilizzata per il kit. _____	55
Figura 34 Ruota motorizzata _____	56
Figura 35-Piastra preesistente (verde), piastra sistema di fissaggio (gialla), cilindro(arancione), saldatura(nera-grigia) _____	57
Figura 36-Ruota motorizzata (blu), flangia Grande Punto (verde), piastra supporto (giallo), cilindro supporto (arancione), linguetta(rossa). _____	57
Figura 37-Ruota motorizzata _____	58
Figura 38-Pacco batteria, box contenete scheda NI 6212 e driver installati nel cofano della FIAT Grande Punto _____	58
Figura 39-Tasto di emergenza. Teleruttore _____	59
Figura 40- Cavi elettrici sotto le piastre di copertura _____	60
Figura 41 Il prototipo con Mario D'Agostino e Massimo Naddeo _____	60
Figura 42 - Elementi banco prova _____	61
Figura 43 - Supporto motore _____	62
Figura 44 Supporto Pinza _____	62
Figura 45 Pinza freno. _____	63
Figura 46 - Disco freno _____	64

VIII

Figura 47 - Cella di carico _____	64
Figura 48 – Retta d'azione forza F _____	65
Figura 49 - Applicazione sensore fotoelettrico _____	66
Figura 50 - Sensore fotoelettrico _____	66
Figura 51 DAQ NI USB-6008 _____	67
Figura 52 - Manometro e relativo posizionamento _____	68
Figura 53 - Vite a due fori di uscita _____	68
Figura 54 - Schema pressioni della vite a due fori di uscita _____	69
Figura 55 Funzionamento freno _____	69
Figura 56 - Ventola di raffreddamento _____	70
Figura 57 - Funzionamento banco prova (realizzato in SolidWorks) ____	71
Figura 58 - Foglio istruzioni cella di carico _____	72
Figura 59 - Prima taratura cella di carico _____	73
Figura 60 - Curva di taratura della cella di carico _____	74
Figura 61 Particolari banco prova _____	75
Figura 62 Block Diagram Banco Prova _____	76
Figura 63 Front Panel Banco Prova _____	77
Figura 64 - Grafico della relazione della coppia frenante predetta ____	79
Figura 65 - Curve di coppia e potenza ai vari V_{pil} _____	80
Figura 66 - Confronto con la curve a $V_{pil}=1.5$ con quella fornite da Kelly Controls _____	81
Figura 67- Scheda NI USB-6212 _____	83
Figura 68-Screw Terminal _____	83
Figura 69-Front panel _____	84
Figura 70-block diagram _____	85
Figura 71 configurazione DAQ-Assistant per l'acceleratore _____	86
Figura 72 codice a blocchi per i canali digitali relativi al pacco batteria e al senso di marcia delle ruote motorizzate _____	86
Figura 73 configurazione DAQ-Assistant per i canali digitali _____	87
Figura 74- codice a blocchi per l'abilitazione dei motori _____	87
Figura 75 Classificazione delle strategie di controllo _____	92

IX

Figura 76 Modello Veicolo _____	95
Figura 77 Power Split Factor _____	96
Figura 78 Soc e fattore di equivalenza _____	97
Figura 79- confronto tra gli R calcolati attraverso i dati rilevati dalla porta OBD e gli R teorici su un reale ciclo di guida _____	100
Figura 80 Velocità per un ciclo di guida sperimentale _____	101
Figura 81- Situazione di marcia inserita _____	101
Figura 82- Errore di discretizzazione vs velocità del veicolo _____	102
Figura 83 Diagramma di flusso cambio marcia _____	103
Figura 84- Confronto tra i dati relativi al numero di giri con e senza filtro _____	104
Figura 85- Confronto tra i dati relativi al carico sull'acceleratore con e senza filtro _____	104
Figura 86- Confronto tra la derivata del numero di giri calcolata con e senza filtro _____	105
Figura 87- Confronto tra la derivata del carico sull'acceleratore calcolata, con e senza filtro _____	105
Figura 88- Confronto tra la funzione rpm secondo i dati acquisiti e quella interpolata _____	106
Figura 89 Ingrandimento del grafico precedente _____	106
Figura 90- Confronto tra la derivata del numero di giri con e senza il ritardo _____	107
Figura 91- In verde è rappresentata la funzione derivata del numero di giri, in rosso e tratteggiati sono rappresentati i limiti della regione di confidenza _____	108
Figura 92- Confronto tra la derivata predetta e quella calcolata _____	108
Figura 93 - Confronto tra velocità e velocità filtrata in un caso di guida reale _____	110
Figura 94 - Confronto tra la derivata di rpm per un ciclo di guida reale e quella relativa ai coefficienti trovati in precedenza _____	111

Figura 95- Numero di giri del motore; velocità del veicolo; posizione del pedale; marcia inserita _____	112
Figura 96- Vista dalla videocamera _____	112
Figura 97-tempo di cambio marcia sul video vs tempo di cambio marcia sui dati _____	113
Figura 98 Diagramma di controllo _____	129
Figura 99 Diagramma di flusso per la predizione del cambio marcia _	132
Figura 100 Target Emissioni _____	164
Figura 101 Tempi di recupero dell'investimento per diverse classi di veicoli. _____	165

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Caratteristiche cella di carico _____	64
Tabella 2 - Caratteristiche prodotto sensore fotoelettrico _____	66
Tabella 3 -Dati elettrici sensore fotoelettrico _____	67
Tabella 4 - Dati di uscita sensore fotoelettrico _____	67
Tabella 5 - Dati prima taratura cella di carico _____	73
Tabella 6 - Prove sul motore a banco _____	78
Tabella 7 Modalità operative di un veicolo ibrido _____	91

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

In questa società massificata e massificante, ove, come ciclone che spazza, si sono succedute moltissime ideologie e tecnologie, le problematiche associate all'approvvigionamento energetico hanno assunto una dimensione considerevole, soprattutto per la particolare distribuzione geografica delle riserve fossili in aree politicamente instabili.

Distribution of proved reserves in 1991, 2001 and 2011
Percentage

■ Middle East
■ S. & Cent. America
■ North America
■ Europe & Eurasia
■ Africa
■ Asia Pacific

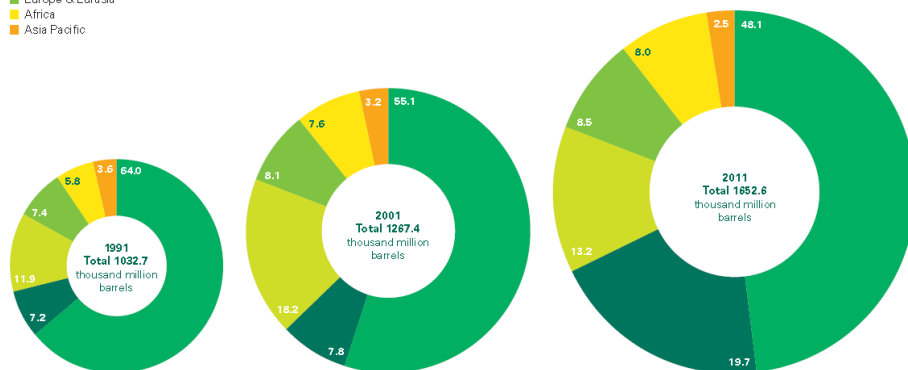


Figura 1 Distribuzione delle riserve fossili nel mondo, fonte BP.

L'ultimo secolo ha visto un notevole aumento della popolazione che si è unito a un altrettanto brusco ampliamento del numero dei veicoli circolanti in tutto il mondo. I dati OICA¹ confermano un primato italiano: la densità veicoli/abitanti. Nel nostro paese circolano 690 veicoli ogni 1.000 abitanti, siamo secondi solo agli USA, dove sono 815. Le recenti previsioni attestano che tale fenomeno continuerà a crescere anche negli anni futuri e le stime fornite da OICA indicano che nel 2050 il numero di veicoli aumenterà fino a raggiungere i 2,5 miliardi[2].

¹ Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles

Lo scenario atteso, nel caso in cui tale cifra sia composta solamente da mezzi di trasporto dotati di comuni motori a combustione interna, sarà contraddistinto da un'enorme richiesta di combustibile che andrà inevitabilmente a esaurire le riserve delle risorse primarie, già duramente provate dal massiccio sfruttamento verificatosi nell'ultimo periodo, e da un preoccupante incremento delle emissioni inquinanti che provocherà un progressivo quanto inevitabile peggioramento delle condizioni ambientali.

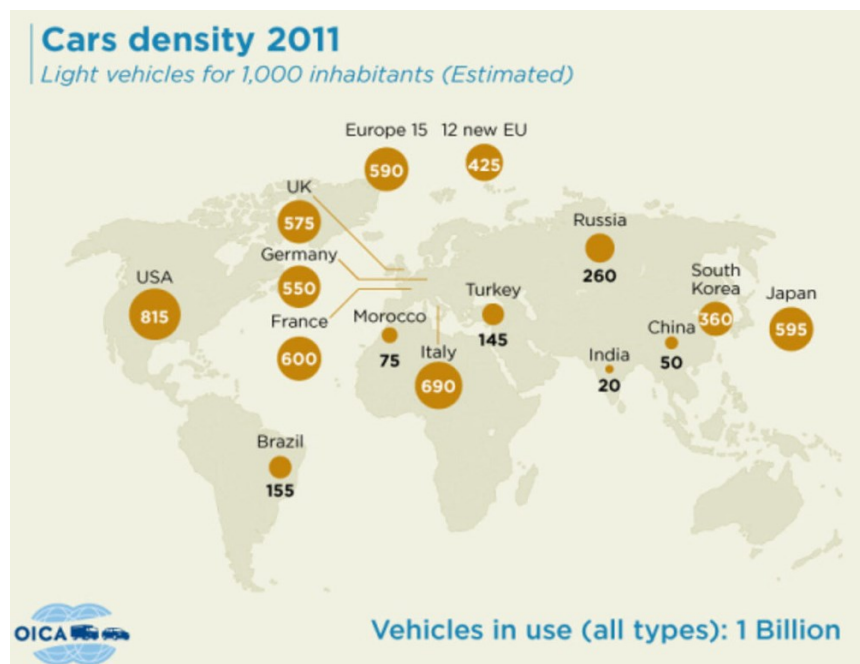


Figura 2 Densità mondiale veicoli abitanti (fonte: OICA)

Questa prospettiva e le problematiche a essa connesse conducono alla necessità di individuare, per i prossimi anni, un sistema di trasporto su strada sostenibile che miri a contenere l'utilizzazione delle fonti energetiche entro un livello accettabile, aumentando l'efficienza di conversione da fonte primaria a lavoro utile per la propulsione e, insieme, migliorare la qualità dell'aria nelle zone più popolate, contenendo le emissioni degli agenti inquinanti.

Si è così rivolta l'attenzione verso i veicoli elettrici, capaci di assicurare la mobilità senza produrre direttamente emissioni. Nonostante essi appaiano come la soluzione migliore atta a garantirne il superamento e pur essendo, ormai, familiari all'opinione pubblica, sono ancora penalizzati da varie limitazioni, in particolare il prezzo non ancora concorrenziale e l'autonomia limitata rispetto a un normale veicolo.

Una possibile risposta a queste necessità è rappresentata dai *veicoli ibridi*, nei quali l'energia per la propulsione può provenire da più sorgenti di diversa natura: al momento, infatti, tale tecnologia è stata identificata come l'unica capace di operare nel breve-medio termine una robusta riduzione delle emissioni inquinanti e dei consumi di combustibile, fornendo, allo stesso tempo, mezzi di trasporto in grado di soddisfare le attese del mercato in termini di prestazioni, facilità di guida e costi. Infatti, associando al motore a combustione interna una macchina elettrica in grado, per la sua reversibilità, di aggiungere o sottrarre potenza alla totale potenza di propulsione, si possono ottimizzare prestazioni, consumi ed emissioni, recuperare energia in fase di frenata e avanzare, per piccoli tragitti, esclusivamente "in elettrico", senza immettere, quindi, sostanze inquinanti in atmosfera.

Si ottiene, in tal modo, un sistema a trazione ibrida, che consente di utilizzare il motore a combustione interna nelle condizioni di funzionamento a rendimento più elevato, minimizzandone l'uso nelle condizioni di basso carico.

È proprio questa l'intenzione del lavoro illustrato in questa tesi, la possibilità di ibridizzare l'attuale parco auto in modo semplice ed economico senza dovere necessariamente acquistare un nuovo veicolo.

CAPITOLO 2

IL QUADRO ENERGETICO

E' ben noto da tempo che l'economia e il tenore di vita della popolazione hanno una relazione diretta con l'energia. Le fonti energetiche, però, anche se spingono l'economia mondiale, presentano delle problematiche, come il fenomeno dell'inquinamento, che vanno risolte nel più breve tempo possibile.

Negli ultimi 150 anni, la rivoluzione industriale ha cambiato completamente il modo di utilizzare l'energia da parte dell'uomo: l'estrazione su vasta scala di combustibili ad alta densità energetica e a basso costo, come il petrolio e solo poi il gas, facili entrambi da essere veicolati, ha permesso l'accesso ad un'enorme quantità di energia potenziale. La domanda mondiale si presenta, tuttavia, molto difforme per area geografica, rispetto al peso demografico di ciascuna di essa; gli abitanti dei Paesi OCSE², che costituiscono il 18% della popolazione mondiale, nel 2006 hanno avuto un consumo medio pro capite di 4,7 tep, a fronte di circa 1 tep consumato da ciascun individuo del restante 82% della popolazione mondiale e questo costituisce un primo e preoccupante elemento di criticità per il futuro.

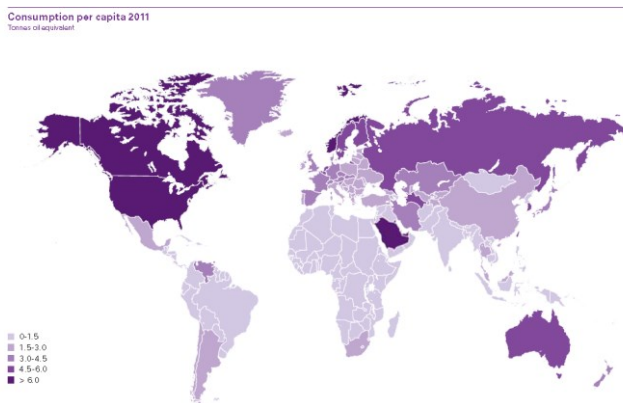


Figura 3 Consumi energetici pro capite (fonte: BP Statistical Review of World Energy).

² Organization for Economic Co-operation and Development.

Stando a quelli che sono i dati forniti dal *Renewable Global Status Report* redatto dal REN21³, ad oggi circa l'80% della domanda mondiale di energia primaria è soddisfatta da combustibili fossili. Questi costituiscono parte delle fonti energetiche non rinnovabili ossia quelle fonti caratterizzate da riserve non inesauribili, ma al contrario destinate a consumarsi in un periodo più o meno breve.

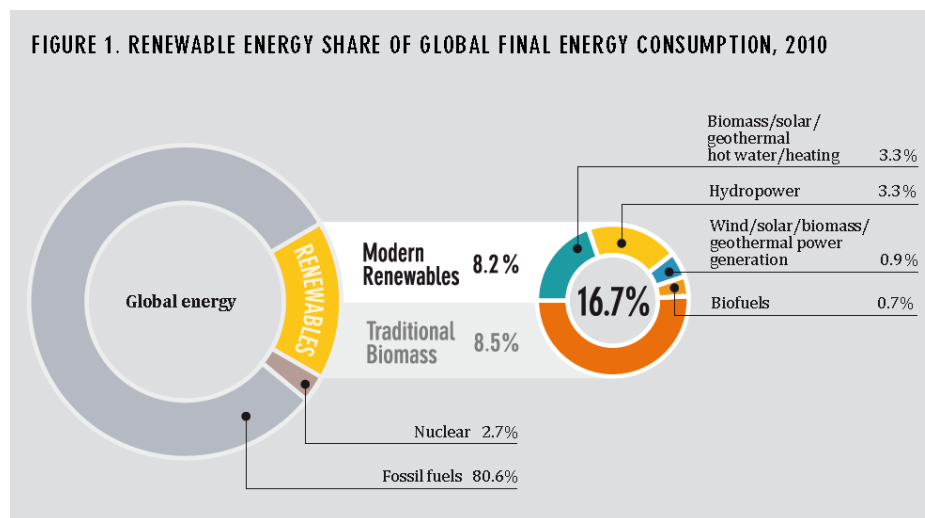


Figura 4 Percentuale di consumo di energia rinnovabili rispetto al consumo globale di energia, 2009.

Dal Report annuale sul consumo di energia globale redatto dalla British Petroleum si evince che la domanda di energia in continua crescita fino al 2008, dopo una lieve riduzione, ha ripreso ad aumentare per superare una quota di 12 miliardi di tonnellate di petrolio equivalente nel 2011.

³ Il *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* è una rete politica che fornisce un forum on-line per condividere conoscenze ed esperienze approfondite sul tema delle energie rinnovabili.

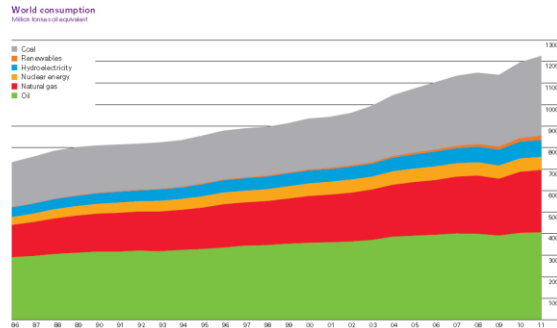


Figura 5 Distribuzione dei consumi mondiali di energia primaria dal 1973 al 2010. (BP British Petroleum)

Il prezzo del petrolio è un dato estremamente instabile: esso viene stabilito non solo tramite la domanda e l'offerta globale ma anche sulla base di scenari politici ed economici del momento storico che attraversa. Esaminando gli ultimi due decenni, si osserva che nel dicembre 1998 il prezzo di un barile di petrolio ha toccato un picco negativo pari a circa 11 dollari al barile, per poi raggiungere il massimo storico l'11 luglio 2008 quando le quotazioni registrarono i 147.25 \$ al barile.

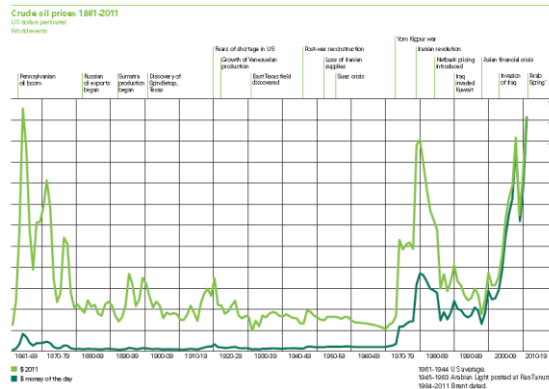


Figura 6 Andamento prezzo del petrolio, fonte BP.

Come abbiamo accennato precedentemente, uno dei maggiori problemi legati a tali risorse è l'inquinamento da esse prodotto ed in particolare l'emissione di biossido di carbonio (CO_2), uno dei gas responsabili dell'effetto serra.

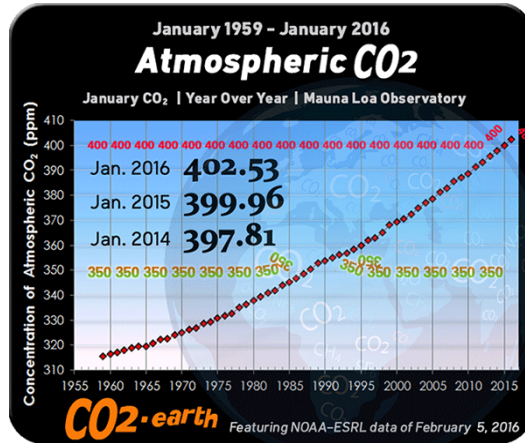


Figura 7 Atmospheric CO₂ for August 2012, Original data file created by NOAA

L'effetto serra è il fenomeno mediante il quale una parte del calore sprigionato dal Sole viene trattenuto sulla superficie della Terra. Ciò è reso possibile dalla presenza di gas serra, come CO_2 e CH_4 , che formano una sorta di schermo per la radiazione riflessa dalla superficie terrestre: consentono di fatto l'ingresso dei raggi solari ed impediscono la fuoriuscita di parte dei raggi infrarossi, ovvero di quella radiazione che viene riflessa dalla Terra stessa. Tale radiazione viene quindi trattenuta nell'atmosfera andando così a generare l'innalzamento della temperatura terrestre. Questo incremento di temperatura è di circa 33°C rispetto a quella che si avrebbe in sua assenza. L'effetto serra è da considerarsi, quindi, un beneficio e un fenomeno indispensabile per la vita sul nostro pianeta. Il problema risiede nel fatto che l'entità del calore trattenuto dipende dai gas serra presenti nell'atmosfera. Di conseguenza un incremento eccessivo della produzione e dell'emissione di questi gas comporterebbe un'ulteriore innalzamento della temperatura terrestre con delle conseguenze catastrofiche. Tra i maggiori responsabili dell'incremento di queste emissioni di gas vi sono senza dubbio le attività umane. Basti pensare che un gas come il Biossido di Carbonio, considerato da larga parte della comunità scientifica globale come il maggior responsabile dei problemi atmosferici ai quali stiamo andando incontro viene rilasciato nell'atmosfera ogni qual volta si bruciano legna, carbone, gas o petrolio.

Quindi nel 1997 venne istituito il Protocollo di Kyoto, che stabiliva, per i Paesi aderenti, una drastica riduzione delle emissioni di Biossido di Carbonio e gas serra in generale. Anche se sottoscritto nel 1997, il protocollo di Kyoto è entrato effettivamente in vigore solo nel 2005, dopo la sottoscrizione da parte della Russia, in quanto, condizione necessaria per l'attuazione dello stesso era l'adesione di 55 nazioni che complessivamente coprissero almeno il 55% delle emissioni di gas inquinanti nell'atmosfera. Ad ottobre 2009 erano 184 gli Stati aderenti. Tra i grandi assenti spiccano gli Stati Uniti d'America, responsabili da soli del 35% circa del totale delle emissioni gassose. Per i Paesi più industrializzati l'obbligo, per il periodo che va dal 2008 al 2012, è ridurre almeno del 5% le emissioni inquinanti; inoltre ogni nazione dovrà creare un meccanismo per la stima delle emissioni gassose e realizzare un sistema per compensarle. Il mancato rispetto degli accordi sanciti, impone il pagamento di una penale di 100 euro per ogni tonnellata di CO_2 equivalente⁴ in eccesso. A livello italiano, l'obiettivo è la riduzione del 6,5% di agenti inquinanti emessi nell'atmosfera rispetto alla quota prodotta nel 1990; nel 2020 questa riduzione dovrà essere del 13%. Al fine di rispettare gli impegni presi, sono state introdotte diverse politiche di incentivazione per lo sviluppo delle fonti rinnovabili come il Feed in Tariff (FIT) o il Renewable Portfolio Standard (RPS)[9], in quanto attualmente la produzione da tali fonti energetiche non è ancora del tutto competitiva rispetto ai combustibili fossili. Senza l'introduzione di norme come queste, che mirano alla prevenzione ed alla salvaguardia del livello globale dei gas serra, si prevede che entro il 2100 si verificherà un incremento della temperatura media superficiale della Terra di circa 3°C, senza peraltro escludere l'intensificarsi di fenomeni estremi quali eventi alluvionali e siccità, scioglimento dei ghiacciai (che causerebbero principalmente l'innalzamento del livello dei mari e

⁴ La tonnellata di CO_2 equivalente è l'unità di misura usata per misurare il GWP (Global Warming Potential) dei gas serra, ovvero il loro potenziale di riscaldamento globale. La CO_2 è il gas utilizzato come riferimento per misurare tutti gli altri, quindi il GWP della $CO_2=1$; l'effetto del metano CH_4 per il riscaldamento della Terra è equiparabile a 21 volte quello della CO_2 , mentre quello del protossido di azoto N_2O è equivalente a 310 volte quello della CO_2 ; la giga tonnellata di CO_2 equivalente corrisponde ad 1 miliardo di $CO_2 - eq$.

conseguentemente la compromissione di ampie zone costiere largamente popolate).

L'inadempienza provocherebbe effetti anche sulla salute umana come un aumento, nelle zone temperate, di malattie infettive caratteristiche delle zone tropicali o come un incremento delle morti causate dalle onde di calore.

Grava sull'uomo, quindi, un importante impegno: ridurre le emissioni inquinanti, non solo per le considerevoli sanzioni imposte, ma soprattutto per gli effetti nocivi che esse causano al nostro ecosistema. La risoluzione di tali problematiche lascia spazio a nuove politiche volte a sfruttare forme di energia alternative, molte delle quali sono anche pulite, in altre parole non inquinanti per l'atmosfera terrestre. Rientrano in questa categoria il Sole, il Mare, il Vento ed il calore della Terra.

2.1 La riduzione delle emissioni inquinanti

Bisogna considerare che diverse sono le cause che comportano l'intensificarsi delle emissioni inquinanti. Tra queste, le principali sono senza dubbio la crescita economica⁵ e demografica, la deforestazione⁶ e le già citate attività umane. Il settore dei trasporti influisce per ben il 16% sui consumi di CO_2 .

E secondo alcuni studi, nei prossimi 50 anni, la popolazione mondiale crescerà da 6 a 10 miliardi ed il numero di veicoli da 700 milioni a 2,5 miliardi. Di questi milioni di veicoli, la quasi totalità è mossa da motori a combustione interna.

⁵ spiccano l'India e la Cina, dove risiede circa un terzo della popolazione mondiale e dove il tasso di sviluppo economico lascia prevedere una crescita dei consumi energetici molto elevata.

⁶ le piante verdi consentono di mantenere stabile la concentrazione di CO_2 : il disboscamento va a compromettere questo equilibrio influenzando di conseguenza l'effetto serra.

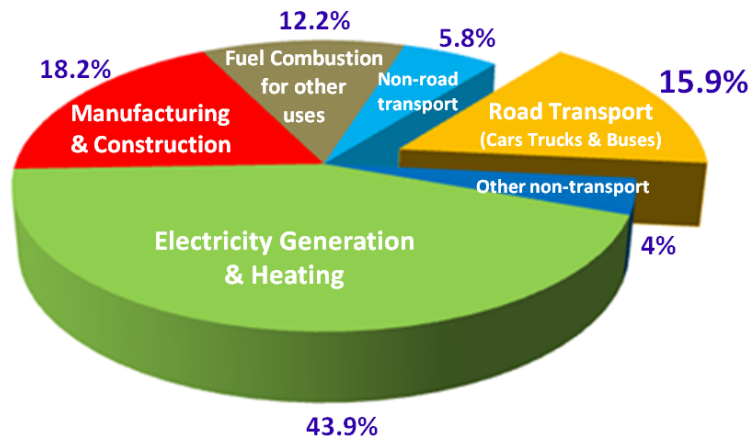


Figura 8 Man-made Co2 Emissions (OICA)

L'unica alternativa è rappresentata da modelli di mobilità non alimentati da combustibili fossili. Diverse sono le soluzioni in via di sviluppo: biocombustibili, macchine elettriche, macchine solari ed ibride-solari. Oltre a queste tecnologie innovative esistono altre fonti come il gas naturale, comunemente conosciuto come gas metano⁷, che pur non essendo rinnovabili, rappresentano una valida alternativa in termini di impatto ambientale: in primo luogo perché sono risorse molto abbondanti in natura e risultano, inoltre, particolarmente competitive in termini di risparmio economico. Malgrado ciò, non sono in grado di offrire prestazioni del motore paragonabili a quelle garantite da altri combustibili. Un'altra scelta è rappresentata dalle macchine a idrogeno: si tratta di veicoli che utilizzano l'idrogeno come combustibile. Questi convertono l'energia chimica dell'idrogeno in energia meccanica, bruciandolo in un motore a combustione interna o facendolo reagire con l'ossigeno in una pila a combustibile, producendo elettricità. Sulla Terra l'idrogeno non si trova libero in natura, a causa di questo non va considerato come una fonte di energia ma piuttosto come un vettore

⁷ In realtà è una miscela di gas in cui il metano ricopre una percentuale elevata. Di questo composto fanno parte anche altri idrocarburi leggeri come propano, butano e altri gas.

energetico⁸. Attualmente, questo, è un aspetto che lo limita molto poiché viene prodotto principalmente dal metano o dai combustibili fossili, non risolvendo, quindi, il problema delle emissioni.

Per tornare alle fonti rinnovabili di energia, i bio-combustibili sono dei propellenti ottenuti in modo indiretto dalle biomasse come grano, bietola o mais. Essi sono accusati di ridurre la disponibilità di risorse alimentari nonostante l'evidente vantaggio legato alla loro combustione: infatti essa libera nell'ambiente una quantità di carbonio pari a quella assimilata dalle piante durante la loro crescita, consentendo un sommario equilibrio fra CO_2 emessa e assorbita. Gli studi effettuati in alcuni Stati e regioni in merito alla possibilità di passare integralmente ai bio-combustibili, hanno rivelato che questa soluzione richiede un'estensione territoriale eccessiva; infatti secondo la Coldiretti, il biodiesel italo ha una resa media di circa 850 kg per ettaro. Poiché la superficie agricola utile è pari a circa 13 milioni di ettari, non sarebbe quindi possibile soddisfare il fabbisogno del parco dei veicoli nazionale.

⁸ Detta anche cella di combustibile, è un dispositivo elettrochimico che permette di ottenere elettricità direttamente da certe sostanze, tipicamente idrogeno ed ossigeno, senza che avvenga nessun processo di combustione termica.

CAPITOLO 3

I VEICOLI INNOVATIVI

L'aumento della popolazione mondiale, con il conseguente innalzamento del livello di sfruttamento delle risorse naturali, impone delle restrizioni ai consumi e alle emissioni di gas inquinanti degli autoveicoli. I centri di ricerca e sviluppo di tutte le principali case costruttrici di automobili e i poli di ricerca universitari sono impegnati da diverso tempo nel trovare una risposta più sostenibile alle esigenze di mobilità della popolazione. Sono in corso continui tentativi di miglioramento dell'efficienza dei motori, in particolare per i motori a ciclo Otto e a ciclo Diesel. La trazione elettrica, ottima per il trasporto urbano, consente un'autonomia modesta e un tempo di ricarica del pacco batterie non competitivo con il riempimento del serbatoio di combustibile. Ad ogni modo i risultati lusinghieri possono essere ulteriormente incrementati modificando totalmente architettura, nel caso di veicolo a fuel cell, o integrando un motore a combustione interna con un elettrico, nel caso di veicolo ibrido.

I veicoli ibridi, che prevedono la presenza di un motore elettrico (*Hybrid Electric Vehicle, HEV*) in aggiunta al tradizionale motore a combustione interna, consentono, infatti, di ridurre i consumi di combustibile e le relative emissioni fino al 40%, grazie all'uso ottimizzato dei due propulsori e al recupero dell'energia in frenata. L'integrazione con pannelli fotovoltaici porterebbe a ulteriori significativi risparmi di combustibile e di emissioni, permettendo di utilizzare una fonte di energia gratuita e largamente diffusa. La presenza di un propulsore tradizionale garantirebbe poi l'autonomia del veicolo anche in assenza di radiazione solare, o quando le batterie risultassero scariche. Alcuni studi hanno mostrato come, per un utilizzo intermittente in ambito urbano (*city-car*), come avviene per larga parte degli automobilisti, possano ottenersi ulteriori riduzioni dell'ordine del 20-40% rispetto ad un veicolo ibrido, e quindi riduzioni anche superiori al 50% rispetto alle vetture attuali. Anche la fattibilità economica di questo tipo di veicoli può rappresentare un obiettivo realisticamente raggiungibile nell'arco dei prossimi anni, considerando la crescita del prezzo del

petrolio, e le riduzioni di costi ed i miglioramenti tecnologici dei componenti solari. Inoltre, con l'ausilio dei pannelli solari montati sull' ibrido, che contribuiscono alla trazione o alla carica della batteria, nel momento in cui il veicolo è carico e parcheggiato potrebbe immettere energia tramite collegamento a una rete elettrica rivendendo i surplus energetici ricavati, contribuendo, così, alla produzione di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili. Per adesso questa tecnica (*Vehicle to Grid, V2G*) è ancora in fase di studio dato che la sua applicazione su larga scala comporterebbe adeguamenti normativi legati alla vendita e l'acquisto di energia in tale progetto e il dimensionamento di una rete di trasmissione reticolare, al momento non adeguata, per il prelievo e l'immissione in rete in ogni luogo.



Figura 9 Piaggio porter ibrido, prototipo Università degli studi di Salerno.

3.1 Veicoli elettrici

Il primo veicolo elettrico fu inventato tra il 1834 e il 1837 dall'imprenditore scozzese Robert Anderson, ma i numerosi limiti associati al suo utilizzo, primo tra tutti quello relativo all'efficienza ed alla dimensione delle batterie elettriche che ne dovevano garantire l'autonomia, ed il rapido sviluppo dei motori a combustione interna, segnarono il declino dei veicoli mossi da energia elettrica.

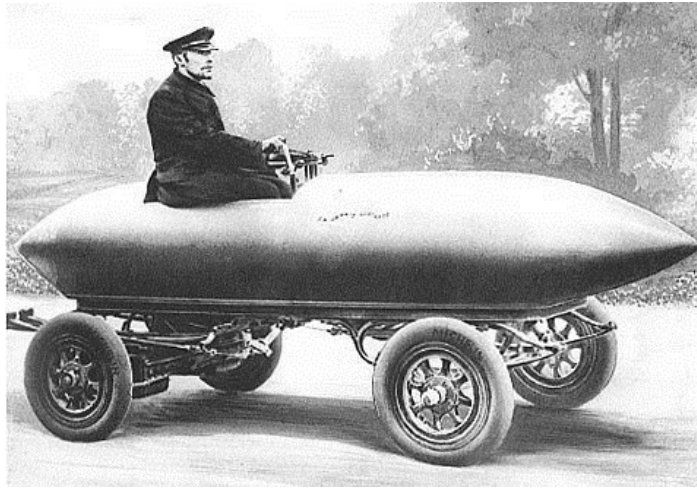


Figura 10 La Jamais Contente.

Intorno al 1970 questa tecnologia, insieme a quella ibrida, viene riscoperta. Tuttavia gli attuali veicoli elettrici, frutto delle nuove tecnologie a disposizione, sono macchine completamente diverse dai primi modelli del secolo scorso. Gli EV sono dotati di un motore elettrico per la propulsione, di una batteria che alimenta il motore e dall'elettronica di potenza suddivisibile in diversi componenti: un caricabatteria, necessario per ricaricare la batteria dalla rete esterna; un inverter per la trazione, che sia in grado di controllare il motore elettrico e provvedere all'energia necessaria alla batteria; un convertitore DC/DC, il quale garantisce il livello di tensione necessario ai sistemi elettrici dell'auto.

3.2 Veicoli ibridi

Il Technical Committee 69 (Electric Road Vehicles) definisce un veicolo elettrico ibrido (acronimo HEV – Hybrid Electric Vehicle) come un veicolo in cui l'energia per la propulsione proviene da due sorgenti e almeno una di queste fornisce energia elettrica. Alcuni definiscono come ibrido anche il veicolo termico policarburante⁹. Nel caso elettrico-termico i due propulsori sono adatti a coesistere poiché hanno caratteristiche complementari. Il motore a combustione interna trasforma l'energia chimica del combustibile (di notevole densità energetica e facilmente approvvigionabile dalla rete di rifornimento) con un'efficienza accettabile, in particolare in alcuni punti di funzionamento. Il motore elettrico, invece, converte con una maggiore efficienza e versatilità un'energia disponibile a bordo in minori quantità. Ogni macchina elettrica in sé è in grado di lavorare in trazione e generazione (nonché nei due sensi di marcia) e quindi ogni veicolo ibrido cerca di sfruttare nei rallentamenti la capacità di "frenare" con il motore elettrico, generando energia altrimenti dissipata nei freni. L'energia elettrica si può immagazzinare con l'utilizzo di vari dispositivi che possono essere utilizzati anche in contemporanea:

- Batterie: hanno densità energetica inferiore a quella del combustibile, possono essere dimensionate per accumulare la massima energia, per scambiare la massima potenza o per un compromesso fra i due estremi. Le batterie funzionano con processi elettrochimici distribuiti al loro interno e non è banale controllare tutte le condizioni, ad esempio di temperatura, per limitare quanto possibile il decadimento di elettrodi ed elettroliti.
- Supercondensatori: rispetto alle batterie, hanno minore densità energetica ma possono cedere e ricevere maggiori potenze. Sono basati su un processo fisico, maggiormente controllabile.
- Volani ad azionamento elettrico: l'energia è immagazzinata come energia cinetica di un volano messo in rotazione da una macchina

⁹ Benzina/gpl, benzina/metano, gasolio/kerosene, benzina/idrogeno.

elettrica, è un processo del tutto meccanico e presenta problemi di controllo ancora differenti dai precedenti.

A seconda del grado di ibridazione¹⁰ e della capacità del sistema di propulsione ibrido di immagazzinare energia elettrica si definiscono, in maniera informale, alcuni livelli di ibridazione:

- Ibridazione piena (full hybrid), allorché il sistema elettrico è, ad es., in grado da solo di far avanzare il veicolo su un ciclo di guida normalizzato, pur prescindendo dall'autonomia delle batterie
- ibridazione leggera (mild hybrid), allorché il modo di funzionamento puramente elettrico non è in grado di seguire per intero un ciclo di guida normalizzato
- ibridazione minima (minimal hybrid), normalmente confusa con la propulsione tradizionale munita di sistema start e stop¹¹, caratterizzata da una decrescente percorrenza in modalità elettrica pura e da un decrescente grado di ibridazione.

Una delle peculiarità del veicolo ibrido, è quella di essere dotato di un motore termico di dimensioni ridotte rispetto ai veicoli tradizionali comparabili, a vantaggio dell'efficienza. Le ragioni per cui un motore termico di dimensioni ridotte è più efficiente di uno di dimensioni maggiori sono le seguenti:

- La massa è minore, il che comporta una minor energia impiegata in fase di accelerazione.
- I pistoni e gli altri componenti interni sono più leggeri, richiedendo così minore energia ogni volta che compiono il moto alternato all'interno del cilindro.
- La cilindrata unitaria è minore, pertanto è richiesta una minore quantità di combustibile da iniettare in ogni ciclo.

¹⁰ Potenza del propulsore elettrico rispetto alla potenza totale installata.

¹¹ I veicoli con funzione stop and start sono anche impropriamente chiamati "micro hybrids", ma questa funzione, tipica anche di molti veicoli ibridi, è ottenuta con componenti tradizionali e non certo con un diverso sistema propulsivo.

- Il numero dei cilindri è minore, quindi si spreca meno combustibile quando si è a veicolo fermo.

Quando le condizioni di guida impongono una potenza che il solo motore termico non può soddisfare (fase di accelerazione del veicolo oppure strada in salita), interviene il motore elettrico. Il motore termico di un veicolo ibrido, a differenza di un motore termico di un veicolo tradizionale, che è dimensionato per prestazioni di picco (che si raggiungono in pochissimi casi), è "ad hoc" per le richieste di potenza che mediamente vengono imposte al veicolo.

Oltre alla scelta di un motore termico di ridotte dimensioni, i veicoli ibridi adottano i seguenti "trucchi" per aumentare ulteriormente l'autonomia:

- Frenata rigenerativa – La frenata riduce l'energia cinetica del veicolo, dissipandola sotto forma di calore. Nel veicolo ibrido si recupera parte di questa energia persa mediante l'utilizzo del motore elettrico come generatore, il quale, ricaricando le batterie, frena il veicolo.
- Spegnimento del motore termico – Non sempre è necessario che il motore termico sia funzionante, in quanto, essendo dotato di due sorgenti di potenza (motore termico e motore elettrico), il veicolo ibrido può contare sull'apporto di potenza da parte di quello elettrico, per esempio a veicolo fermo o a velocità basse, che costringerebbero il motore termico a funzionare in un intervallo di giri da cui deriverebbe una bassa efficienza.
- Aerodinamica avanzata – La scelta di forme il più possibile simili alla goccia d'acqua permettono di diminuire notevolmente la potenza impiegata nella penetrazione del fluido, l'aria, in cui il veicolo è immerso. Infatti la potenza richiesta risulta:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_x S v^3$$

Equazione 1 Potenza richiesta da un veicolo in movimento.

dove ρ è la densità dell'aria, C_x è il coefficiente di penetrazione aerodinamica, funzione della forma propria del veicolo, S è la sezione frontale del veicolo¹² e v è la velocità di marcia. È chiaro dunque il motivo

¹² Sperimentalmente risulta $S = 0.8 \cdot b \cdot h$ dove b è la base e h è l'altezza del veicolo della sezione frontale maggiore.

per cui un SUV (*Sport Utility Vehicle*) consuma più carburante di un'utilitaria: oltre che per la massa, anche per la sezione frontale maggiore. Carenare il sottoscocca, sostituire gli specchietti retrovisori con delle piccole videocamere sono delle soluzioni atte a ridurre ulteriormente la resistenza aerodinamica.

- Pneumatici a bassa resistenza al rotolamento – La maggior parte dei veicoli tradizionali monta degli pneumatici che sono ottimizzati per rendere confortevole la guida, per minimizzare il rumore, per garantire una buona tenuta di strada in tutte le condizioni atmosferiche. Ma raramente sono ottimizzati per minimizzare la potenza assorbita nel rotolamento degli pneumatici, che per velocità inferiori alla velocità caratteristica (la velocità caratteristica di un veicolo è la velocità oltre la quale la potenza assorbita per vincere la resistenza aerodinamica supera la potenza necessaria al rotolamento) del veicolo, risulta maggiore della potenza assorbita per vincere la resistenza aerodinamica. Per ovviare a questo, i veicoli ibridi utilizzano pneumatici più rigidi e gonfiati a una pressione più elevata.
- Materiali leggeri – A fronte di un incremento della massa dei veicoli, a causa dell'aumento delle dimensioni e del numero di componenti, l'industria dei veicoli è da tempo impegnata nel contrastare tale tendenza, utilizzando materiali compositi come la fibra di carbonio, e metalli leggeri come l'alluminio e il magnesio.

Esistono due schemi costruttivi principali per l'integrazione di un motore termico ed una macchina elettrica: ibrido serie e ibrido parallelo. La combinazione dei due dà origine all'ibrido misto.



Figura 11 Porsche ibrida, inizio 900.

3.2.1. Ibrido serie

In questa tipologia il motore termico non è collegato alle ruote; esso ha il compito di generare la corrente per alimentare il motore elettrico che la trasforma in moto, mentre l'energia superflua viene utilizzata per ricaricare le batterie.

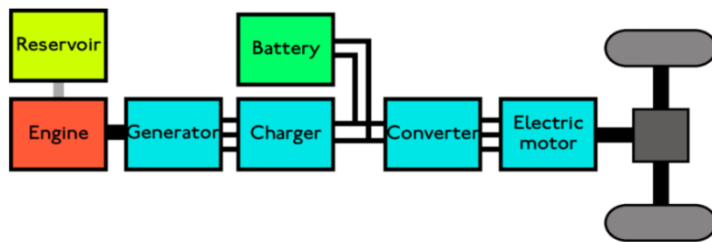


Figura 12 Schema ibrido serie.

Nei momenti in cui è richiesta una grande quantità di energia, essa è attinta sia dal motore termico sia dalle batterie. Poiché i motori sono in grado di operare su di una grande vastità di regimi di rotazione, questa struttura permette di rimuovere o ridurre la necessità di una trasmissione complessa. L'efficienza dei motori a combustione interna cambia al variare del numero di giri, nei sistemi ibrido serie i giri del motore termico vengono impostati per ottenere sempre la massima efficienza non dovendo subire né accelerazioni né decelerazioni. Data questa condizione e per compensare l'ulteriore trasformazione energetica, si può usare un motore termico che abbia una fascia di sfruttamento/funzionamento molto stretta rispetto ai regimi totali e che per questo abbia un rendimento più elevato dei motori termici classici, per lo meno in quella fascia di regimi. In alcuni prototipi sono installati piccoli motori elettrici per ogni ruota in modo da poter controllare la potenza erogata per ogni ruota. Il maggiore svantaggio degli ibridi serie consiste nella seria riduzione di efficienza rispetto ai motori solo termici in condizioni di elevata e costante velocità. Questo è causato dal fatto che nella conversione termico-elettrico-moto parte dell'energia viene persa mentre ciò non accadrebbe con una trasmissione diretta. Gli ibridi serie sono i più efficienti per i veicoli che necessitano di continue frenate e ripartenze come le auto ad uso urbano, autobus e taxi. Molti modelli di ibridi serie hanno, in dotazione, un pulsante per spegnere il motore termico. La funzione viene utilizzata specialmente per la circolazione nelle zone a traffico

limitato. L'autonomia è limitata alla carica delle batterie, il motore termico, comunque, può essere riattivato con la pressione del medesimo pulsante. Il motore termico viene inoltre spento automaticamente durante le soste.

3.2.2. Ibrido parallelo

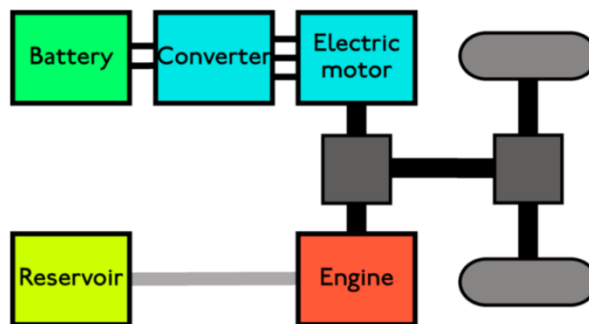


Figura 13 Schema ibrido parallelo.

Tale architettura è tra le più usate nelle auto ibride. È caratterizzata da un nodo meccanico di accoppiamento della potenza, per cui entrambi i motori forniscono coppia alle ruote. Il motore termico può inoltre essere utilizzato per ricaricare le batterie in caso di

necessità. La realizzazione costruttiva del nodo meccanico e la sua posizione nell'ambito del sistema di propulsione servono a distinguere ibridi paralleli pre-trasmissione¹³, post-trasmissione¹⁴ e post-ruote¹⁵.

Gli ibridi parallelo possono ulteriormente essere classificati a seconda del bilanciamento dei due motori nel fornire potenza motrice. Nella maggior parte dei casi, ad esempio, il motore a combustione interna è la parte dominante e il motore elettrico ha la semplice funzione di fornire una maggiore potenza nei momenti di necessità. La maggior parte dei progetti combinano un grande generatore elettrico e un motore in una singola unità, spesso situata tra il motore a combustione interna e la trasmissione, nel posto del volano, rimpiazzando sia il motorino di avviamento che l'alternatore. Solitamente il cambio è automatico.

¹³ Motore elettrico a monte del cambio.

¹⁴ Motore elettrico a valle del cambio.

¹⁵ I due assali hanno due motorizzazioni meccanicamente indipendenti, l'accoppiamento è dunque costituito dalla strada.

Il vantaggio sta nell'eliminazione delle marce basse e del consumo a ruote ferme o a passo d'uomo. Inoltre permette cilindrate più basse in quanto alla massima velocità il motore termico può essere supportato da quello elettrico. Questo li rende veicoli adatti ai ritmi cittadini piuttosto che alle lunghe percorrenze autostradali.

3.2.3. Ibrido misto

Gli ibridi misti sono caratterizzati da un nodo meccanico, come negli ibridi paralleli, e da un nodo elettrico, come negli ibridi serie. Come questi ultimi, presentano due macchine elettriche. La modalità costruttiva per realizzare tale ibrido può variare. Un esempio relativamente semplice è dato dall'architettura della Toyota Prius, che realizza l'accoppiamento meccanico tra il motore termico, le due macchine elettriche e l'albero di trasmissione finale attraverso la combinazione di un rotismo epicicloidale ed un riduttore.

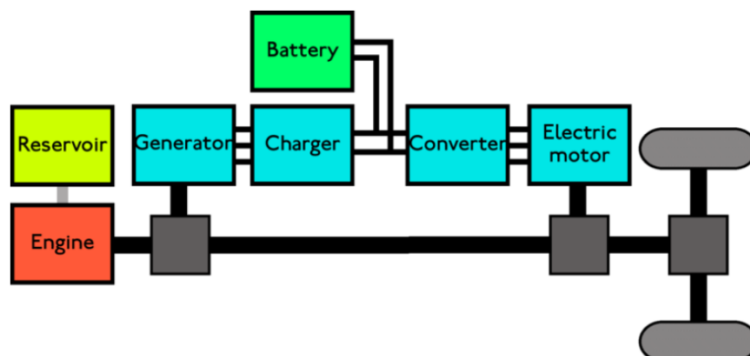


Figura 14 Schema ibrido misto

3.2.4. Scelta dell'architettura migliore.

La scelta del tipo di architettura ottimale è influenzata da diversi fattori e, nello stesso tempo, influenza prestazioni e vincoli progettuali. I parametri determinanti per la scelta di un propulsore sono:

- Peso del veicolo
- Tipo di utilizzo (urbano o extraurbano)

Per quanto riguarda il peso, i veicoli possono essere distinti in veicoli leggeri (*LDV, light duty vehicle*) quali scooter ed autovetture, e i veicoli pesanti (*HDV, heavy duty vehicle*) quali autobus e i veicoli per il trasporto merci.

Per i veicoli leggeri solitamente si adottano configurazioni del tipo ibrido parallelo oppure serie-parallelo. Nel caso serie-parallelo le batterie necessarie per un seriale puro porterebbero un sovraccarico di peso che incide notevolmente sui consumi. Per i veicoli più piccoli come ad esempio gli scooter si preferisce la sola propulsione elettrica che da un lato garantisce emissioni nulle¹⁶, dall'altra non permette prestazioni e autonomia paragonabili né con i veicoli convenzionali né con veicoli ibridi sia in configurazione parallelo che in configurazione serie-parallelo.

Per i veicoli pesanti come gli autobus cittadini è preponderante l'uso della disposizione seriale poiché il peso e le dimensioni permettono una facile disposizione delle batterie che non incidono, in maniera eccessiva, sul peso globale del mezzo.

I veicoli adibiti al trasporto merci, il cui utilizzo è associato a lunghi percorsi autostradali, si preferisce una disposizione parallela; il motore endotermico in queste condizioni lavora in un campo di velocità il cui rendimento è buono e le prestazioni che si possono ottenere in questo modo sono superiori a quelle di un ibrido serie.

3.2.5. Fattore di ibridizzazione

Nei veicoli ibridi non esiste una soluzione standard per determinare la dimensione del motore termico e del motore elettrico, neppure per stabilire il rapporto ottimale delle rispettive potenze; tale scelta dipende dalle caratteristiche dei due motori, dalla particolare applicazione, e da problemi legati al costo, al consumo e alle prestazioni richieste.

Il fattore d'ibridizzazione (*Hybridization factor, HF*) è dato dal rapporto:

$$HF = \frac{P_{EM}}{P_{EM} + P_{ICE}} = \frac{P_{EM}}{P_{TOT}}$$

¹⁶ Si parla di ZEV, zero emission vehicle.

dove P_{EM} è la potenza del motore elettrico e P_{ICE} è la potenza del motore endotermico. Il fattore d'ibridizzazione assume i valori limite di 0 e 1, rispettivamente, per un veicolo endotermico convenzionale e per un veicolo puramente elettrico. Fissando la potenza totale del veicolo e quindi in ultima analisi le prestazioni richieste, si può studiare l'andamento dei consumi al variare del fattore d'ibridizzazione. In particolare è dimostrato come esiste un range ottimale di valori del rapporto tra le potenze dei due motori per minimizzare i consumi.

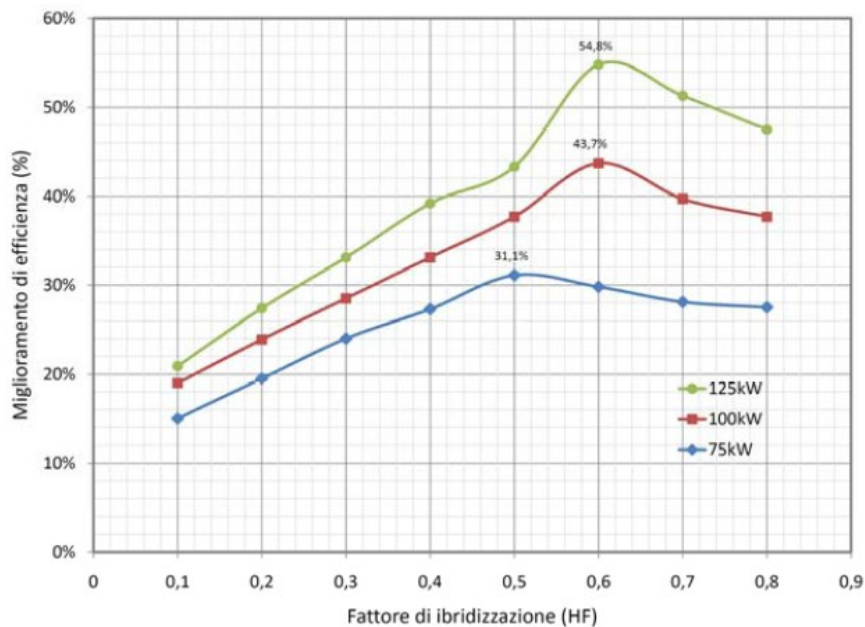


Figura 15 Miglioramento dell'efficienza (in percentuale rispetto al veicolo a propulsore endotermica) in funzione del fattore di ibridizzazione HF, simulazioni effettuate per tre ipotetici veicoli di diverse potenze.

Per comprendere il concetto è utile ragionare sui due casi estremi:

- Se il motore endotermico fosse troppo piccolo, per erogare la coppia richiesta dovrebbe lavorare troppo spesso oltre il regime di funzionamento ottimale, riducendo nel complesso l'efficienza del veicolo; al contrario se fosse sovradimensionato, la zona di

funzionamento, anche in questo caso comprometterebbe l'efficienza e quindi in entrambe le situazioni non si avrebbero dei miglioramenti.

- Analogamente non si può pensare di ridurre i consumi del veicolo sovradimensionando il motore elettrico, altrimenti servirebbe un pacco batterie di elevata capacità, quindi inevitabilmente si andrebbe ad appesantire eccessivamente il veicolo.

È chiaro quindi che il fattore d'ibridizzazione deve essere studiato con cura per lo specifico campo di impiego del veicolo. A titolo di esempio, per veicoli leggeri di piccola potenza, il valore ottenuto di fattore d'ibridizzazione HF si aggira intorno a $0.3 \div 0.6$.

È interessante valutare l'effetto d'ibridizzazione mantenendo costanti prestazioni e consumi e valutando l'andamento della potenza totale del veicolo; all'aumentare di HF, quindi all'aumentare delle dimensioni del motore elettrico, la potenza totale richiesta per garantire le prestazioni fissate diminuisce.

Questo trova spiegazione nel fatto che il motore avvantaggia il veicolo soprattutto durante le accelerazioni, grazie alla sua elevata coppia di spunto. Tuttavia, come già accennato un valore HF troppo alto, porta alla definizione di un veicolo in cui l'autonomia delle batterie non è sostituibile.

In conclusione si può affermare che l'aumento della potenza del motore elettrico comporta un vantaggio, in termini di consumo e prestazioni, fino al raggiungimento di un punto critico; oltre tale punto l'aumento del fattore di ibridizzazione non porta alcun beneficio. Inoltre, se il motore elettrico è correttamente dimensionato, i vantaggi riguardano non solo i consumi specifici, ma anche i costi produttivi.

3.2.6. Gestione dell'energia

La gestione dei flussi di energia fra i vari convertitori (motore a combustione interna, motore/i elettrico/i, trasmissione) ed accumulatori (batterie, supercondensatori) per rispondere ad una data richiesta di potenza (coppia e velocità) da parte del conducente è compito di un controllore.

Tale controllore, tipico dei veicoli ibridi, si colloca, rispetto ad una struttura di controllo in coppia tradizionale, in posizione intermedia tra gli algoritmi di interpretazione della volontà del conducente (trasformazione della posizione dei pedali di accelerazione e freno in richiesta di coppia) e quelli di controllo dei

singoli componenti (motori, trasmissione, freni). Gli algoritmi di gestione dell'energia sono ispirati a dei criteri di minimizzazione del consumo energetico globale (combustibile ed elettricità) vincolata al rispetto di un'evoluzione mediamente costante dello stato di carica delle batterie, oltre che dei limiti fisici dei componenti e dei vincoli dettati dalle esigenze di guida piacevole (driveability). Gli algoritmi di gestione dell'energia sviluppati finora appartengono a due categorie distinte, con possibilità di approcci misti:

- Strategie euristiche, basate sulla traduzione di specifiche a vari livelli e su regole empiriche dettate dall'esperienza dei progettisti.
- Strategie ottimizzate, basate sull'applicazione di algoritmi matematici di controllo ottimo.

3.3 L'energia del sole e le sue applicazioni

Il Sole rappresenta la fonte energetica per eccellenza. La radiazione annua che colpisce la Terra è molto superiore rispetto alla domanda annua di energia. La quantità di energia solare che raggiunge il suolo terrestre è molto elevata ma poco concentrata, quindi è necessario raccogliere l'energia da aree molto estese per ottenerne una quota significativa.

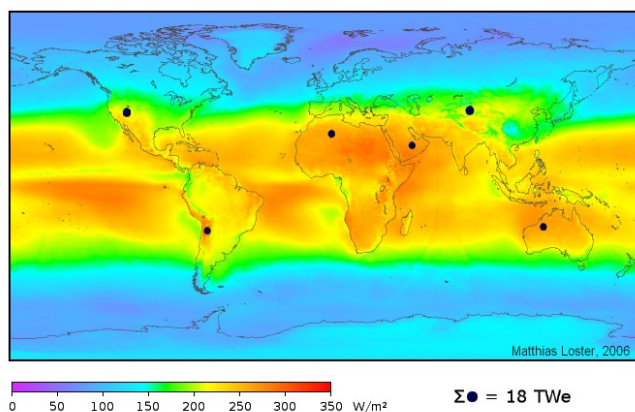


Figura 16 Distribuzione della radiazione solare sulla Terra.

Malgrado ciò, lo sfruttamento dell'energia solare, ai livelli attuali, non è del tutto competitiva a causa dei limiti in termini di costo ed efficienza e ai limiti legati alla caratteristica intrinseca di non programmabilità di tale fonte per effetto della totale assenza di essa durante la notte ed in situazioni di copertura nuvolosa. Occorre considerare, però, che i limiti legati al costo ed all'efficienza sono in continua riduzione nel corso degli anni. Per quanto riguarda la totale assenza di questa fonte durante la notte, basta notare che il picco di domanda di energia avviene durante il giorno, cioè proprio quando vi è la massima disponibilità della fonte solare. Negli ultimi anni si è riscontrata una sempre maggiore attenzione nelle applicazioni dell'energia solare alle auto ibride ed elettriche¹⁷.

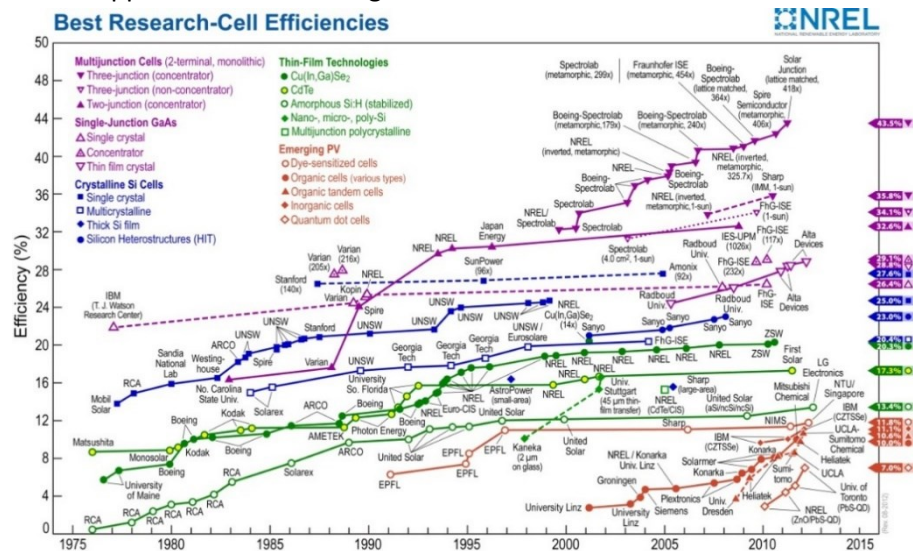


Figura 17 La crescita dell'efficienza delle celle solari negli ultimi trent'anni,(fonte: National Renewable Energy Laboratory).

L'energia del Sole è rinnovabile, libera e largamente diffusa, ed i pannelli fotovoltaici sono continuamente soggetti a sviluppo tecnologico in termini di efficienza delle celle fotovoltaiche. La loro diffusione è aumentata rapidamente

¹⁷ Attenzioni particolari se paragonate a quelle prestate per altre soluzioni, come le auto ad idrogeno, le cui prospettive di sviluppo sono state troncate da aspetti critici relativi alla produzione di idrogeno,distribuzione ed immagazzinamento.

e di conseguenza il loro costo, dopo una continua inversione di tendenza, dal 2004 si è avviato verso una costante riduzione.

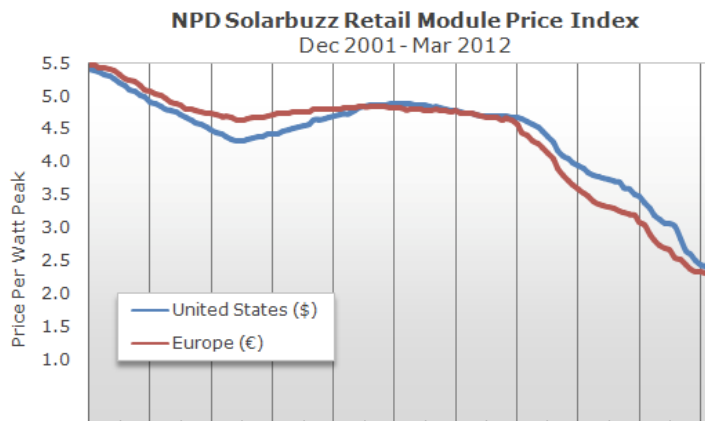


Figura 18 Andamento costi PV.

I primi prototipi di auto solare sono apparsi negli anni '80. Erano dei veicoli monoposto, molto leggeri (l'involucro esterno era realizzato con plastiche particolari in grado di garantire la leggerezza della struttura senza comprometterne la robustezza) ma soprattutto aerodinamici al fine di ridurre la resistenza all'aria.



Figura 19 Prototipo di vettura solare.

Essendo l'energia solare la loro fonte di ricarica, l'intera superficie esterna deve essere piatta e ricoperta di pannelli solari ad alto rendimento. L'energia solare raccolta mediante i pannelli fotovoltaici, viene trasferita in un convertitore che la trasforma in energia elettrica che viene accumulata in diversi modelli di batterie che a loro volta vanno ad alimentare un motore elettrico. Quest'ultimo provvede poi a trasmettere il moto alle ruote, trasformando l'energia elettrica in lavoro meccanico.

Ma, alimentare un'automobile con la sola energia solare non rappresenta una soluzione realistica a causa dei limiti in termini di potenza, dimensioni, costo, ma soprattutto a causa della totale dipendenza dalla radiazione solare: i pannelli devono essere sempre esposti e quando questo non è possibile l'auto deve basarsi sulla sua sola carica elettrica accumulata nella batteria.

Per questi motivi sta acquistando negli ultimi anni sempre maggiore importanza il concetto di auto ibrida elettrica integrata con pannelli solari. In linea di principio, si potrebbero, così, combinare i vantaggi degli HEV e quelli dell'energia solare. Il crescente interesse industriale circa le applicazioni del fotovoltaico sui veicoli mobili è evidenziato dal recente lancio, da parte delle maggiori compagnie automobilistiche, di nuovi modelli di auto ibride elettriche equipaggiate con pannelli solari. Ma, nonostante il recente successo commerciale degli HEV, il loro mercato è insufficiente per produrre un significativo impatto sui consumi energetici mondiali.

Questo soprattutto a causa di errate convinzioni legate al voler ragionare in termini di potenza: un pannello solare di dimensioni tali da rivestire il tetto di un'automobile, ha una potenza nominale di circa 300 W, valore molto minore (più di 50 volte) rispetto alla potenza di targa (ovvero la potenza massima) di un veicolo convenzionale. Bisogna ragionare invece in termini di energia. La maggior parte degli automobilisti usa l'auto per circa un'ora al giorno (con una potenza media richiesta dell'ordine dei 7-8 kW, ipotizzando un parziale recupero energetico durante la frenata), mentre un pannello opportunamente orientato e controllato riesce ad accumulare anche 2 kWh. Il contributo solare, in queste circostanze, è pari a circa il 20-30% dell'energia richiesta per la trazione.

	Potenza (kW)	Potenza media (kW)	Tempo (h/giorno)	Energia (kWh/giorno)
Car	70	8	1	8
PV Panel	0,3	0,2	10	2
Ratio	0,004	0,025	10	0,25

Figura 20 Contributo solare.

Sembra plausibile quindi l'integrazione del fotovoltaico con i veicoli ibridi elettrici. Tuttavia, considerando l'attuale crisi economica mondiale, l'ipotesi di una massiccia sostituzione dei veicoli convenzionali con veicoli elettrici e ibridi diventa poco realistica. Occorre quindi valutare alternative che siano compatibili con il quadro energetico-economico globale, come la realizzazione di un kit di ibridizzazione per veicoli convenzionali. Le caratteristiche di questo kit saranno illustrate nel prossimo capitolo.

CAPITOLO 4

HY SOLAR KIT

L'evoluzione dei motori a combustione interna nel corso degli anni si è focalizzata soprattutto sull'abbattimento dei consumi e il contemporaneo aumento delle prestazioni. Per quanto riguarda i consumi, infatti, sono caratterizzati da un rendimento basso in tutte quelle situazioni in cui non sono sotto sforzo, si tratta di situazioni tipiche dell'utilizzo cittadino. Come accennato nei capitoli precedenti, il ricorso alla propulsione ibrida si è rivelato una delle strategie più promettenti a breve/medio termine per la riduzione delle emissioni e un contemporaneo aumento del rendimento nei cicli cittadini. L'integrazione dei veicoli ibridi con l'energia solare, tramite adozione di pannelli fotovoltaici a bordo, può dare un ulteriore importante contributo alla riduzione di consumi ed emissioni: l'energia raccolta da un pannello in una giornata di sole può rappresentare anche il 30-40% dell'energia richiesta per la trazione, in caso di utilizzo in ambito urbano per un'ora al giorno.

4.1 Il progetto

Il progetto HY SOLAR KIT prevede l'installazione su un veicolo convenzionale (a due ruote motrici ed a trazione anteriore) nel quale l'assale anteriore (Front Wheels) sia mosso da un motore a combustione interna (ICE¹⁸), controllato dal sistema di controllo motore (ECU¹⁹) montato dal costruttore del veicolo. Il veicolo è di norma equipaggiato con una porta OBD (protocollo On Board Diagnostics), che permette di accedere a dati quali velocità del veicolo, velocità di rotazione del motore, posizione del pedale ed altre variabili. L'ibridizzazione è realizzata sostituendo le ruote posteriori (Rear Wheels) con ruote motorizzate

¹⁸ Internal combustion engine

¹⁹ Electronic control unit

(in-wheel motors), che includono un motore elettrico che può operare sia da motore che da generatore, ed un freno.

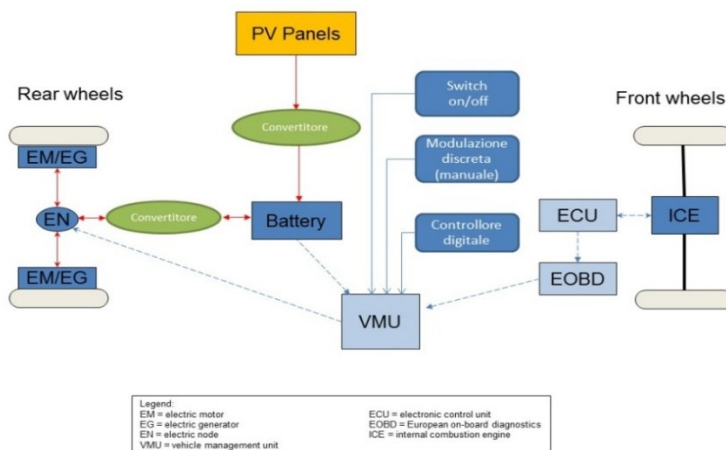


Figura 21- Schema di funzionamento del Hy Solar Kit

In tal modo, il veicolo può operare sia in modalità elettrica (quando il motore termico è spento o disconnesso dalle ruote anteriori) che in modalità ibrida, secondo una struttura di “ibrido parallelo” (quando il motore termico muove le ruote anteriori ed i motori elettrici operano in modalità di trazione o di ricarica, corrispondenti ad una coppia rispettivamente positiva o negativa). La batteria ausiliaria alimenta i motori elettrici, e può essere ricaricata sia dalle ruote posteriori in modalità generazione (frenata rigenerativa o modalità ibrida con coppia resistente) che dai pannelli solari montati sul tetto.

Il sistema d’ibridizzazione prevede, altresì, l’installazione di un’unità per la gestione del veicolo VMU²⁰ che guida le ruote motorizzate agendo sul nodo elettrico EN, e si basa sui dati ricevuti dalla porta OBD e dalla batteria per valutare lo stato di carica della stessa. Tale unità ha il compito, inoltre, di controllare i motori elettrici e definire le modalità di movimentazione del veicolo (ibrido o elettrico). Un’ulteriore modifica prevede l’introduzione di un display sul cruscotto, collegato alla VMU, che può informare il guidatore sulla modalità di operazione del sistema. Un aspetto di fondamentale importanza è legato alla

²⁰ Vehicle Menagment Unit

necessità di sviluppare un kit che non richiedi modifiche sull'unità di controllo del motore (ECU): infatti, la VMU guida i motori elettrici prelevando i dati dalla porta OBD, senza interferire con le operazioni dell'ECU. Ovviamente, l'esigenza di realizzare un sistema di controllo che coesista con il primario ECU determina alcuni contrasti specifici in termini di guidabilità, che danno luogo a differenti strategie di controllo contrastanti rispetto a quelle implementabili per i veicoli totalmente ibridi.

Benché i principali obiettivi siano di ordine energetico ed ambientale, si possono individuare ulteriori benefici indotti dalla ibridizzazione del veicolo:

- possibilità di ottenere migliori prestazioni in accelerazione, grazie alle caratteristiche di spunto dei motori elettrici;
- maggiore affidabilità del veicolo, grazie alla presenza di un propulsore ausiliario, sia in relazione a possibili guasti del sistema di propulsione tradizionale che all'eventuale esaurimento del combustibile;
- possibilità di raccogliere dati sul funzionamento reale del motore e del veicolo, utili per strategie di manutenzione predittiva.

Con l'installazione di questo sistema, è possibile ottenere da un veicolo tradizionale, un veicolo ibrido solare e i suoi relativi vantaggi. Ovviamente il kit presenterà un costo iniziale che verrà poi ammortizzato nel corso degli anni.

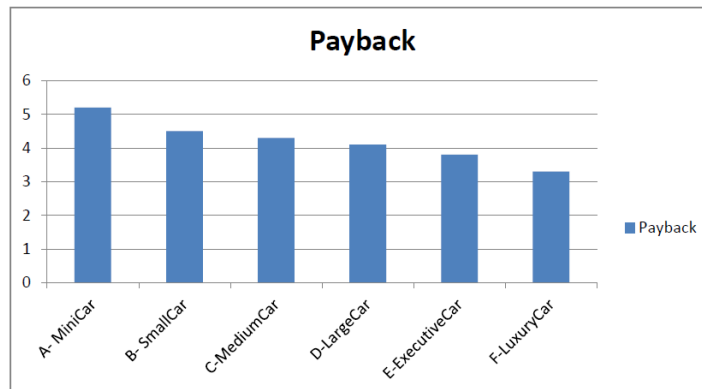


Figura 22- Payback in funzione del tipo di automobile

4.2 Il Kit

In sostanza il kit di apparecchiature da applicare su veicolo per trasformarlo in veicolo ibrido-solare comprenderà:

1. Coppia di ruote motorizzate, che potranno essere acquistate sul mercato (sono attualmente prodotte da Michelin e da altre case costruttrici) ed eventualmente modificate.
2. Una batteria ausiliaria, presumibilmente del tipo a ioni di litio.
3. Un sistema di controllo addizionale (VMU), che potrà essere adattato a diverse combinazioni di veicolo e ruote motorizzate.
4. Connettore per la porta OBD con i relativi cavi, da collegare al sistema di controllo VMU.
5. Un pannello fotovoltaico su supporto flessibile o semirigido, da applicare sul tetto della vettura.
6. Un'eventuale piccola plancia addizionale da collocare sul cruscotto, comprendente indicatori di stato per la batteria addizionale ed eventuali comandi per attivare o disattivare le modalità di guida (convenzionale, ibrida, solo elettrica).

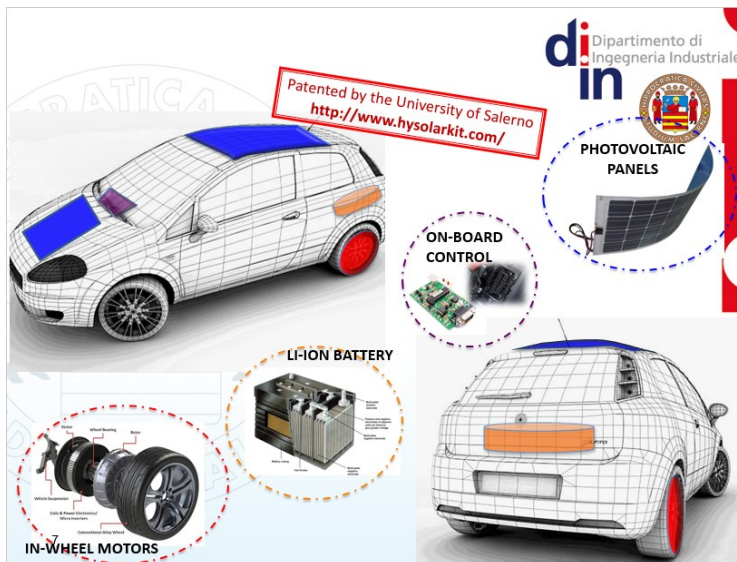


Figura 23-II kit

4.2.1. Ruote motorizzate

Le ruote motorizzate permettono l'ibridizzazione del veicolo senza preoccuparsi dei problemi relativi all'ingombro derivanti dall'aggiunta di un ulteriore sistema di propulsione. Il motore elettrico, che è collocato nel mezzo della ruota, è capace di fornire allo pneumatico la potenza e la coppia necessaria al movimento. Il sistema è costituito da un rotore, connesso alla ruota, e da uno statore, fissato alla sospensione del veicolo. La classe di motori che si presta meglio è quella degli azionamenti brushless caratterizzati da compattezza, peso limitato, elevati valori di coppia per unità di massa e di volume. Una rappresentazione schematica e complessiva di quale potrebbe essere l'assemblaggio di un in wheel motor è riportato nella figura sottostante.

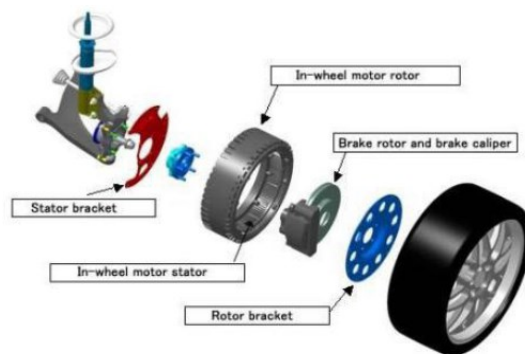


Figura 24-Schema ruote motorizzate

In questo caso il motore brushless è munito di rotore esterno per minimizzare gli ingombri. Come visibile, la cavità che si viene a creare all'interno dello statore può permettere l'alloggiamento, oltre che dell'albero, anche delle pinze dei freni. Tuttavia, anche questa soluzione non è esente da problematiche come ad esempio la realizzazione di sistemi di frenatura specifici e sistemi di raffreddamento diversi da quello ad aria con annessa progettazione del circuito. Un ulteriore problema è legato alla presenza di masse non sospese (ruota, freno, porta mozzo, bracci ed elementi della sospensione) che devono essere molto leggere per evitare problemi inerenti al comfort di guida e alla sicurezza. Sia la Bridgestone che la Michelin si sono mostrate interessate a questo tipo di mercato proponendo diverse soluzioni.

È difficile trovare in questo momento nel mercato europeo un tale prodotto a prezzi concorrenziali. Ci si è orientati quindi al mercato cinese, dove si trovano prezzi davvero competitivi. Il loro costo d'acquisto negli scorsi anni si aggirava intorno ai 207 €/kW e si stima che il costo attuale sia intorno ai 76 €/kW. Con buone probabilità, si ritiene che il loro costo continuerà a ridursi nel tempo. Tale aspetto non deve essere sottovalutato, poiché un minore costo dei componenti comporta una riduzione del costo di produzione stesso del kit, favorendo così, una riduzione del prezzo di vendita finale. Il prodotto acquistato è un DC brushless hub motor da 7 kW con le seguenti caratteristiche:

Pick Power	7 [kW]
Pick Torque	150 [Nm]
Diameter-Width	303-107 [mm]
Max Speed	1500 [rpm]
Weight	20 [kg]

Tabella 1 Caratteristiche IWM

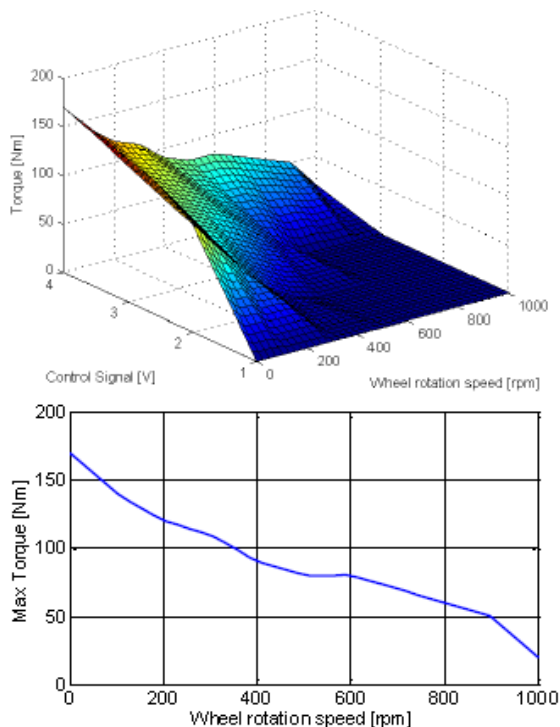


Figura 25 Caratteristiche IWM

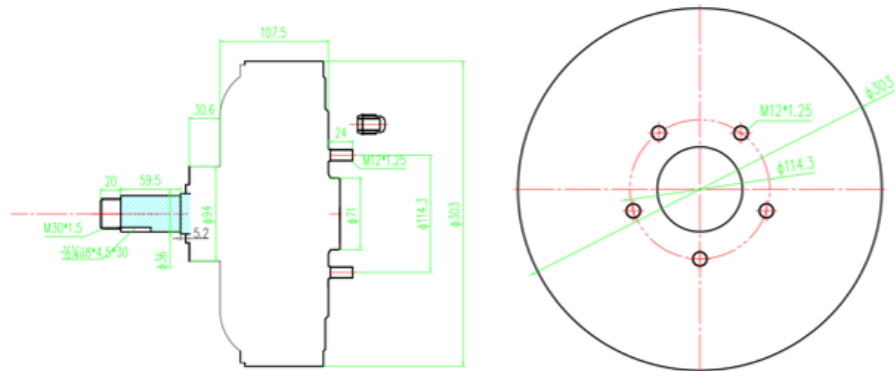


Figura 26 disegni tecnici ruote motorizzate

Insieme ai motori sono forniti i relativi driver per il controllo.



Figura 27 Invert IWM

4.2.2. Le batterie

Le batterie sono dispositivi che convertono energia chimica in energia elettrica. Esse possono essere classificate essenzialmente in due macro categorie:

- ricaricabili
- non ricaricabili

All'interno di una batteria avviene una reazione di ossidoriduzione tra due differenti sostanze, una delle quali perde elettroni per effetto dell'ossidazione, mentre l'altra si riduce, in altre parole acquista elettroni. Il suo funzionamento si basa proprio sul flusso di elettroni che è in grado di generare una corrente elettrica continua. Le pile risultano scariche nel momento in cui tali reazioni chimiche raggiungono uno stato di equilibrio. Nelle batterie primarie le reazioni chimiche che si determinano sono irreversibili. Conseguentemente essa, una volta scarica, sarà inutilizzabile in quanto non ricaricabile. Al contrario le pile secondarie sono quelle batterie in cui le reazioni chimiche interne sono reversibili. Ciò consente la ricarica del dispositivo mediante la somministrazione di energia elettrica che inverte il senso della reazione completa ottenendo la riformazione dei reagenti iniziali. Anche in questo caso, possiamo individuare differenti tipologie di accumulatori, tra cui i principali sono le pile al Piombo-acido e quelle agli ioni di Litio. Le batterie agli ioni di Litio sono le più adeguate per i veicoli elettrici grazie alle elevate potenzialità di sviluppo e alle notevoli prestazioni. Esse si contraddistinguono per il buon rapporto potenza-peso, per l'assenza dell'effetto memoria e per un lento processo di scarica in caso di mancato utilizzo. L'effetto memoria rappresenta la capacità delle batterie di ricordare quanta percentuale di scarica è stata richiesta nelle precedenti scariche, ovvero se una batteria completamente carica viene utilizzata per il 60% e successivamente viene ricaricata totalmente, quel 40% inutilizzato non viene riconosciuto e andrà così perso poiché irrecuperabile. La scelta delle batterie è un aspetto di fondamentale importanza poiché da esse dipende la capacità di immagazzinare l'energia solare raccolta dai pannelli. Un veicolo elettrico dovrà essere equipaggiato con batterie ricaricabili dotate di una discreta capacità di accumulo di energia e al tempo stesso con un peso contenuto in modo da non causare una notevole riduzione delle prestazioni del veicolo.

La scelta di una batteria va relazionata ad alcuni fattori quali:

- Durata cicli
- Densità di energia
- Voltaggio

La durata dei cicli indica il numero di ricariche possibili e secondo tale valore si possono scegliere batterie con elevate durate dei cicli che consentono così, di ridurre i costi. La densità di energia rappresenta invece la quantità di energia elettrica accumulata in rapporto al peso ed è quindi preferibile scegliere batterie con densità di energia elevata per consentire un accumulo maggiore. Infine il voltaggio è importante poiché non tutte le batterie sono in grado di fornire una tensione consistente. Gli accumulatori che meglio degli altri garantiscono queste prestazioni sono sicuramente quelli agli ioni di Litio.



温斯顿牌稀土锂钪动力电池性能说明
SPECIFICATION FOR WINSTON RARE EARTH LITHIUM YTIUM POWER BATTERY

單體電池尺寸 DIMENSIONS		技術參數 SPECIFICATIONS	
<p>型号(MODEL): WB-LYP40AHA</p>		型號(MODEL): WB-LYP40AHA	
		標稱容量 Nominal Capacity	40Ah
	工作電壓 Operation Voltage	充電 (Charge)	4.0V
	放電 (Discharge)	2.8V	
最大充電電流 Max Charge Current	≤3CA		
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 (Constant Current)	< 3CA	
	脈衝式 (Impulse Current)	< 20CA	
標準充放電電流 Standard Charge/Discharge Current	0.5CA		
循環壽命 Cycle Life	(80DOD%)	>3000Times	
	(70DOD%)	>5000Times	
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	≤200℃		
適應環境 Operating Temperature	充電 (Charge)	-45℃~85℃	
	放電 (Discharge)	-45℃~85℃	
自放電率(月) Self-discharge Rate	≤3% (Monthly)		
單體電池重量 Weight	1.5kg ± 50g		

Figura 28 Caratteristiche celle



Figura 29-Pacco batteria agli ioni di Litio utilizzata per il kit

Nel nostro caso sono state scelte delle celle con le caratteristiche riportate nella figura di sopra. Il pacco formato da 30 celle ha una capacità di 4kWh.

4.2.3. Pannelli fotovoltaici

L'inserimento di elementi fotovoltaici su di un veicolo è un'operazione abbastanza complessa per diversi motivi come l'incremento di peso, i problemi aerodinamici legati all'introduzione degli elementi fotovoltaici e la ridotta superficie disponibile su cui poter installare i pannelli che comporta l'esigenza di massimizzare l'energia ricavabile da essi. Tale esigenza è soddisfatta quando si opera con un impianto fisso, in quanto esso è dotato di dispositivi che consentono di orientare i pannelli per poter ottenere la massima potenza estraibile. Questo non è possibile per un veicolo in moto. Tuttavia si possono valutare differenti opzioni come l'inserimento di pannelli sulle portiere e nei vetri. È quindi questo uno degli aspetti più critici da gestire.

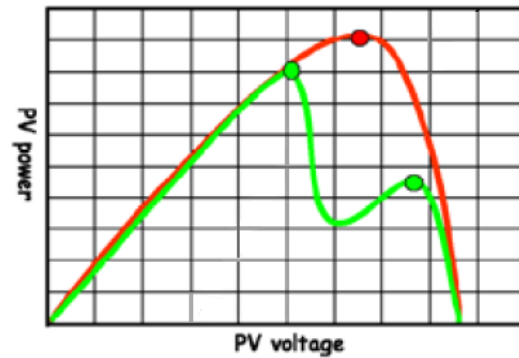


Figura 30 Curve di tensione-potenza per una cella solare in condizioni di mismatching (verde), ed in condizioni normali (rosso).

Quando abbiamo a che fare con pannelli che sono realizzati con materiali differenti o che sono soggetti a disuniformità d'insolazione, di orientamento o di ombreggiamento la curva tensione-potenza presenta più picchi²¹ (non più uno come si verifica in condizioni normali), saranno quindi necessari dispositivi di controllo più articolati rispetto a quelli adottati per gli impianti fissi.

Per il kit è stato progettato un tetto fotovoltaico, che copra tetto e cofano, con l'uso di pannelli flessibili e celle a silicio monocristallino ad alta efficienza (18%). I pannelli fotovoltaici sono stati forniti da ENECOM, leader nel settore dei pannelli flessibili



Figura 31- Pannelli fotovoltaici forniti da ENECOM

²¹ Tale fenomeno è noto come mismatching.

Il compito dei pannelli solari è quello di ricaricare la batteria in modo da compensare parte dell'energia spesa per l'alimentazione delle ruote motorizzate. Tuttavia, la velocità con cui il pannello riesce a ricaricare la batteria è piccola rispetto alla velocità di scarica e quindi da sola non basta. Il vantaggio sostanziale, però, sta nel fatto che la batteria può essere ricaricata anche nelle fasi di parcheggio che, per una city car, costituiscono la maggioranza del tempo giustificandone così l'installazione e l'utilizzo. Questa ipotesi è resa ancor più ragionevole tenendo conto dell'utilizzo medio di un'automobile che, per oltre il 35 % degli europei, è limitato a spostamenti inferiori ai 10 km richiedendo una quantità di energia relativamente bassa fruibile, in buona parte, dai pannelli stessi.

Caratteristiche dei pannelli applicati sul veicolo:

- Area approssimata: 0,80m²
- Potenza massima accumulata: 80W
- Energia: 100W/m²

4.2.4. Il sistema di controllo

Un ultimo aspetto da considerare per lo sviluppo del kit d'ibridizzazione è legato alla realizzazione di un sistema di controllo adeguato e che non interferisca con quello originale del veicolo (ECU). Esso agisce tramite l'unità di controllo del veicolo (VMU) che muove i due motori elettrici basandosi sulle informazioni ricevute dalla porta OBD e dalla batteria. La VMU svolge una serie di funzionalità volte a garantire maggiore stabilità e sicurezza durante la guida. Infatti mediante la strategia di controllo sviluppata, gestisce e regola un attento controllo della trazione e in base alle esigenze di guida del conducente (coppia motrice e resistente richieste) ripartisce la potenza necessaria alle singole ruote. L'obiettivo principale del sistema di controllo accessorio è garantire un livello di carica della batteria addizionale adeguato. Per fare ciò, esso valuta il livello attuale di carica fornito dall'indicatore dello Stato di Carica²² e mira a

²² SOC - State of Charge è l'equivalente del livello del carburante per la batteria in un veicolo elettrico, veicolo ibrido o ibrido plug-in. L'unità di misura del SOC sono punti

ripristinare il valore iniziale, grazie al contributo energetico fornito dai pannelli fotovoltaici installati sul tetto e il cofano del veicolo. Lo stato di carica è calcolato in base ai motori elettrici integrati nelle ruote motorizzate e alla capacità della batteria. È proprio questo contributo energetico addizionale che ha richiesto lo sviluppo di strategie di controllo specifiche, differenti da quelle implementate per i veicoli ibridi elettrici convenzionali. Tale strategia valuta, a intervalli di tempo costanti, la variazione del livello di carica della batteria dovuta al mutevole fabbisogno di potenza da parte del guidatore. Anzitutto occorre valutare il contributo solare. Ciò è possibile attraverso un'attenta analisi dei dati ricavati da applicazioni GPS che forniscono informazioni sulle condizioni meteorologiche e in particolare sulla radiazione solare incidente o sulla presenza di nuvolosità locali. È possibile così conoscere l'energia solare captata (E_{PV}) da immagazzinare nella fase di parcheggio. In questo modo, conoscendo la massima energia accumulabile, si può stabilire in modo preciso il livello di carica ottimale. Tale valore ottimale deve permettere il totale ripristino, al termine della giornata, del livello di carica iniziale della batteria considerando il contributo solare nelle fasi di parcheggio. È importante precisare che l'obiettivo del sistema di controllo è ripristinare lo stato di carica della batteria al termine della giornata e non dopo ogni singola fase di parcheggio.

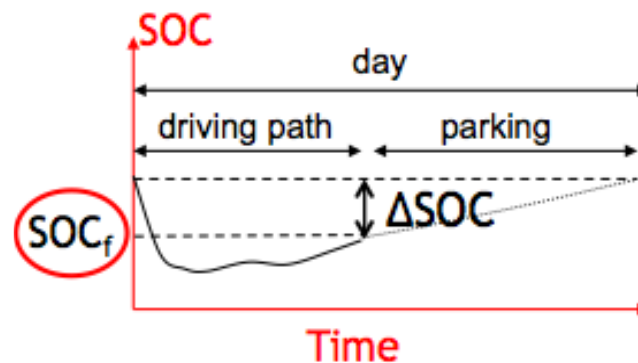


Figura 32 Andamento del SOC in una giornata tipo.

percentuale (dove lo 0% corrisponde alla scarica completa e 100% corrisponde, invece alla carica totale).

Come abbiamo già detto in precedenza, il sistema di controllo effettua continue stime del livello di carica della batteria. Per poterlo fare, si basa sul calcolo integrale di seguito riportato:

$$SOC(t) = SOC_{in} - \frac{\int_0^t i(t) dt}{C_{batt} \times 3600}$$

Dove SOC_{in} rappresenta il livello di carica iniziale della batteria; $i(t)$ rappresenta, invece la carica erogata dalla batteria nell'intervallo di tempo t ed è espressa in Ampere; infine C_{batt} esprime la capacità nominale della batteria. Per consentire l'immagazzinamento dell'energia durante la fase di parcheggio è necessario che il valore del SOC alla fine della fase di guida (SOC_f) deve mantenersi sempre minore del valore iniziale (SOC_{in}). Ed in particolare la loro differenza esprime il contributo energetico derivante dall'apporto solare nel corso della giornata. Per convenzione, per consentire una buona ricarica della batteria per effetto dei pannelli fotovoltaici, viene stabilito un valore del SOC_{in} di 0,7. Una volta noto il valore SOC_f , il sistema di controllo ripartisce la potenza tra i motori elettrici e quello termico al fine di ridurre, così, i consumi di combustibile.

4.2.5. Il protocollo OBD

La diagnostica a bordo, dall'inglese On-Board Diagnostics, OBD o OBD-II, in un contesto automobilistico, motociclistico o motoristico in generale, è un termine generico che si riferisce alla capacità di autodiagnosi e segnalazione di errori/guasti di un veicolo. Prima dell'autodiagnosi, erano i meccanici che dovevano fare una diagnosi dei guasti, mentre ora è la centralina stessa di bordo che si autocontrolla e verifica lo stato del mezzo. Il protocollo OBD consente la comunicazione di un set minimo di informazioni diagnostiche verso un "generico" dispositivo di monitoraggio esterno alla vettura. Il protocollo è specificato da uno standard internazionale (SAE 1979 rev APR2002) che definisce i servizi di diagnostica, il tipo e la sintassi dei messaggi di richiesta/risposta che il dispositivo esterno di test scambia con il veicolo. I messaggi sono relativi al controllo delle emissioni del motore. La SAE (Society of Automotive Engineers) ha inizialmente definito il protocollo sulla base della normativa Statunitense sulle emissioni degli autoveicoli del 1996. Successivamente il protocollo è stato accolto a livello internazionale dalla normativa ISO 15031-5. In particolare OBD

è definito dagli standard ISO 9141-2 (risale 1994 - 1996 ed è relativo ai requisiti per lo scambio di informazioni fra i sistemi di elettronica di bordo) e ISO 14230-4 (risale al 2000 e definisce il protocollo per la diagnostica di bordo. La parte 4 è relativa ai sistemi di controllo delle emissioni). Risultano compatibili con OBD i veicoli Europei costruiti a partire dall'anno 2000. Inoltre lo standard SAE 1979 rev APR2002 include anche i messaggi di diagnostica trasportati dal protocollo ISO 15765-4 (CAN per il controllo delle emissioni).

4.2.6. Scelta del veicolo

Si è scelto di utilizzare per il prototipo del kit una Grande Punto, un'automobile prodotta dalla casa automobilistica italiana Fiat dal 2005, nata come erede della Punto, che però non sostituisce, ma va semplicemente ad affiancare. La vettura corrisponde alla terza generazione della serie Punto (infatti in molti paesi continua a essere venduta come Fiat Punto) e l'aggettivo Grande è stato aggiunto al lancio per distinguerla dalla Punto II rimasta in produzione fino al 2010.

La scelta si è basata anche per il successo commerciale della Grande Punto: in tutta Europa risultò per alcuni mesi del 2006 l'automobile più venduta e in Germania, poco dopo il debutto, ha vinto il premio Volante d'oro conferito dalla rivista Bild am Sonntag mentre nel 2006 è stata eletta Auto Europa dai giornalisti italiani durante l'Uiga Motor Day. La Grande Punto inoltre è stata l'auto che ha segnato il ritorno del marchio Fiat in Australia e Nuova Zelanda nel luglio del 2006 (mercati dai quali era assente dal 1989) ed ha riscontrato subito un discreto successo commerciale grazie al riconoscimento come Auto più ecologica in

consumi del 2006 grazie al motore 1.3 Multijet diesel e al prezzo di listino non molto elevato.



Figura 33 Grande Punto utilizzata per il kit.

CAPITOLO 5

INTEGRAZIONE DEL SISTEMA

L'integrazione dei vari componenti, che costituiscono il kit, è stato realizzato tenendo conto di diversi aspetti fondamentali:

- Mantenere l'interno del veicolo confortevole per il guidatore e per eventuali passeggeri.
- Evitare problemi legati all'ingombro dei componenti.
- Isolare i componenti da vibrazioni dovuti all'irregolarità di strada
- Trovare una posizione facilmente accessibile per il tasto di emergenza

Tenuto conto di ciò si è provveduto all'installazione:

Ruote motorizzate: per il fissaggio si è utilizzata una piastra, da imbullonare a quella preesistente sul ponte dell'auto, con un cilindro cavo con una sede per la linguetta che accoglierà il mozzo della ruota motorizzata. Il foro della piastra preesistente è stato allargato di 3mm per permettere l'inserimento del mozzo della ruota. La progettazione di tale sistema è stato oggetto della mia tesi di studio specialistica.



Figura 34 Ruota motorizzata

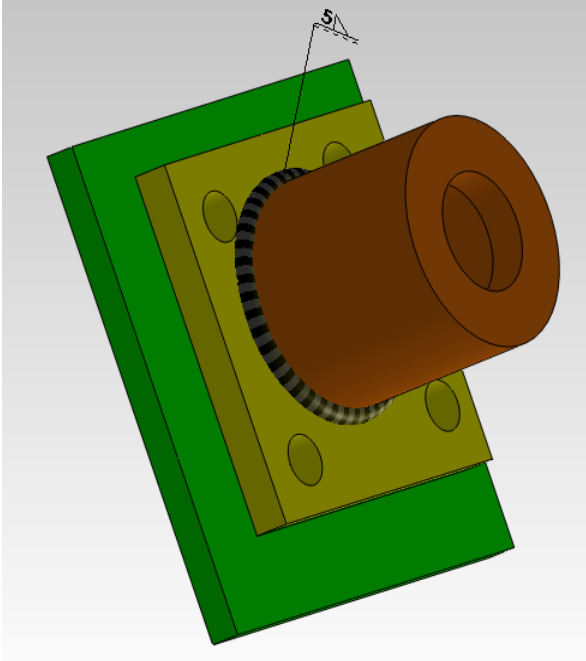


Figura 35-Piastra preesistente (verde), piastra sistema di fissaggio (gialla), cilindro(arancione), saldatura(nera-grigia)

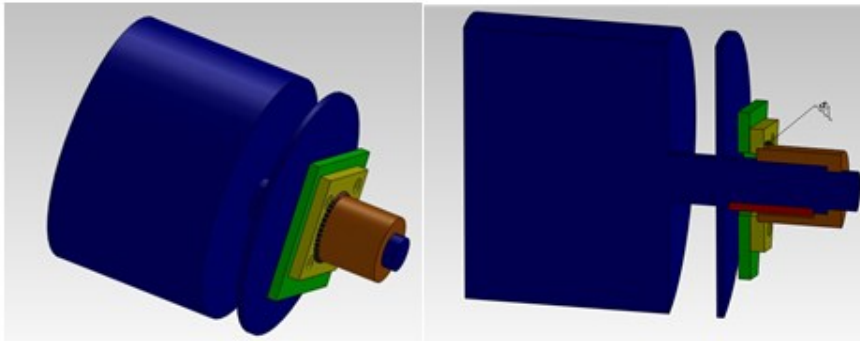


Figura 36-Ruota motorizzata (blu), flangia Grande Punto (verde), piastra supporto (giallo), cilindro supporto (arancione), linguetta(rossa).



Figura 37-Ruota motorizzata

Batteria, Driver e Scheda NI 6212: il pacco batteria fornito dall'azienda MEGARIS è stato fissato su una base rigida con il nastro Dual Lock. Gli elementi di fissaggio sono costituiti da steli di poliolefine con teste a forma di funghetti. Questi funghetti si innestano tra di loro producendo un forte ancoraggio sia in situazioni statiche che in situazioni dinamiche. La batteria è stata disposta sul retro dell'abitacolo, all'interno del portabagagli, e collegata alle due ruote motorizzate. Per il fissaggio dei due driver e del box contenente la scheda NI 6212 è stato utilizzato lo stesso sistema di ancoraggio; infatti essi sono stati disposti sul pacco batteria.



Figura 38-Pacco batteria, box contenete scheda NI 6212 e driver installati nel cofano della FIAT Grande Punto

Il pacco batteria utilizzato ha le seguenti caratteristiche:

- 30 celle collegate in serie
- Tensione di funzionamento 83-117 V
- Corrente max di funzionamento 150 A
- Dimensione pacco: 610x515x250 mm
- Peso pacco: 65kg

La batteria non è stata ancora ottimizzata in termini di dimensione e peso, infatti si prevede per il progetto finale una riduzione del 50%. La batteria è collegata alla scheda NI-USB-6212 che ne gestisce il funzionamento e valuta i dati come tensione e corrente.

Tasto di emergenza e teleruttori: il tasto di emergenza è stato posizionato in prossimità del cambio, in maniera tale da rendere la sua accessibilità semplice e rapida. Il foro è stato realizzato con una fresa e i fili elettrici sono stati fatti passare sotto la tappezzeria dell'abitacolo e collegati ai due teleruttori. In caso di pericolo, premendo il tasto, si attivano i due teleruttori. Questi spegneranno i due driver; andando così a bloccare l'alimentazione elettrica alle due ruote motorizzate.

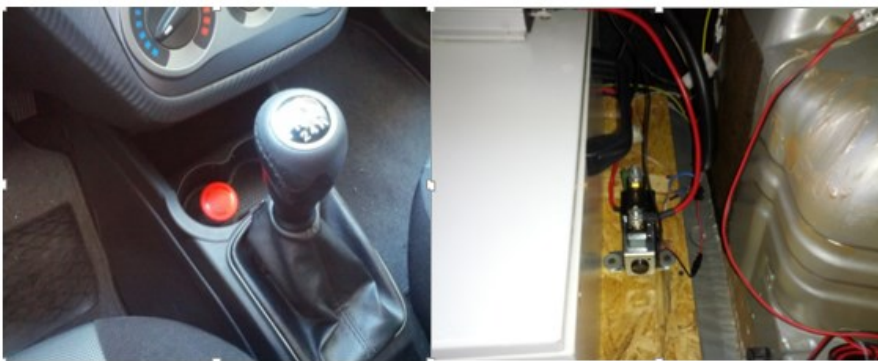


Figura 39-Tasto di emergenza. Teleruttore

Pannelli fotovoltaici: come illustrato nel capitolo precedente i pannelli hanno il compito di ricaricare la batteria in modo da compensare parte dell'energia spesa per l'alimentazione delle ruote motorizzate. I pannelli, essendo flessibili, sono stati applicati direttamente sul tetto e sul cofano del veicolo attraverso un particolare nastro che resiste molto bene alle elevate temperature. Il collegamento elettrico con la batteria ha richiesto alcune operazioni manuali, infatti si è cercato di portare i fili dal cofano alla batteria facendoli passare all'interno dell'abitacolo. Per fare ciò i cavi elettrici sono stati fatti passare sotto le piastre di copertura della vettura in modo da non avere la presenza di fili esposti.



Figura 40- Cavi elettrici sotto le piastre di copertura



Figura 41 Il prototipo con Mario D'Agostino e Massimo Naddeo

CAPITOLO 6

BANCO PROVA IN-WHEEL MOTORS

Durante lo sviluppo del brevetto Hy Solar Kit è nata l'esigenza di dover testare gli In-Wheel Motors al fine di poterne ricavare delle curve di coppia e potenza nei vari regimi funzionamento, testarne i consumi e valutarne il rumore in fase di avviamento.

Tale banco è costituito da:

- Supporto motore
- Motore brushless
- Driver motore brushless
- Supporto pinza freno
- Pinza freno con relativo circuito frenante
- Disco freno
- Cella di carico
- Sensore fotoelettrico di velocità
- Manometro
- Scheda di acquisizione dati
- Unità di elaborazione dati
- Ventola di raffreddamento disco

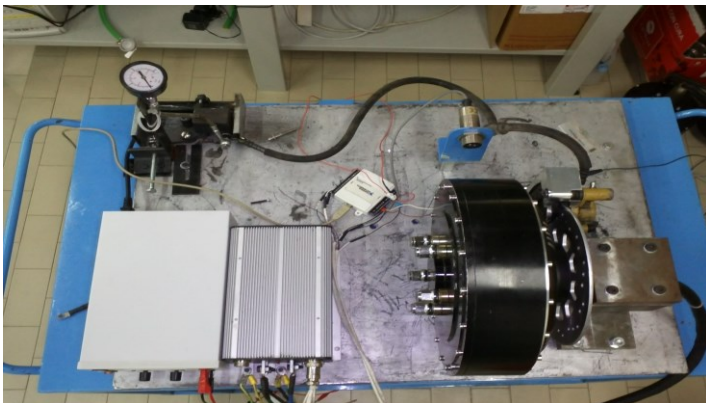


Figura 42 - Elementi banco prova

6.1 Supporto motore

Il supporto motore è realizzato in acciaio ed ha il compito di sostenere il motore brushless. Questo elemento è stato oggetto di studio della mia tesi di laurea specialistica, in questo elaborato tale studio è stato ampliato e realizzato.

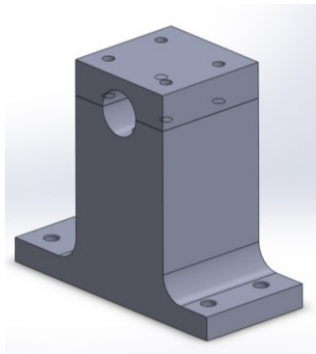


Figura 43 - Supporto motore

6.2 Supporto pinza freno

Il supporto per la pinza del freno ha la funzione di sostenere la pinza e trasferire il carico frenante sulla cella di carico. Esso è composto da due componenti:

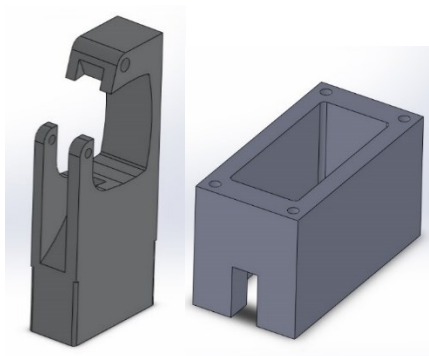


Figura 44 Supporto Pinza

- Braccio porta pinza
- Binario base per il braccio

I due componenti sono stati realizzati in alluminio e fresati tramite la fresa CNC del lab.4 del dipartimento di Ingegneria Industriale.

6.3 Pinza freno

La pinza freno con il relativo circuito frenante è stata ricavata da un vecchio Honda Bali 150. Tale pinza è stata riprodotta in SolidWorks per ricavarne le dimensioni per disegnare il braccio porta pinza.

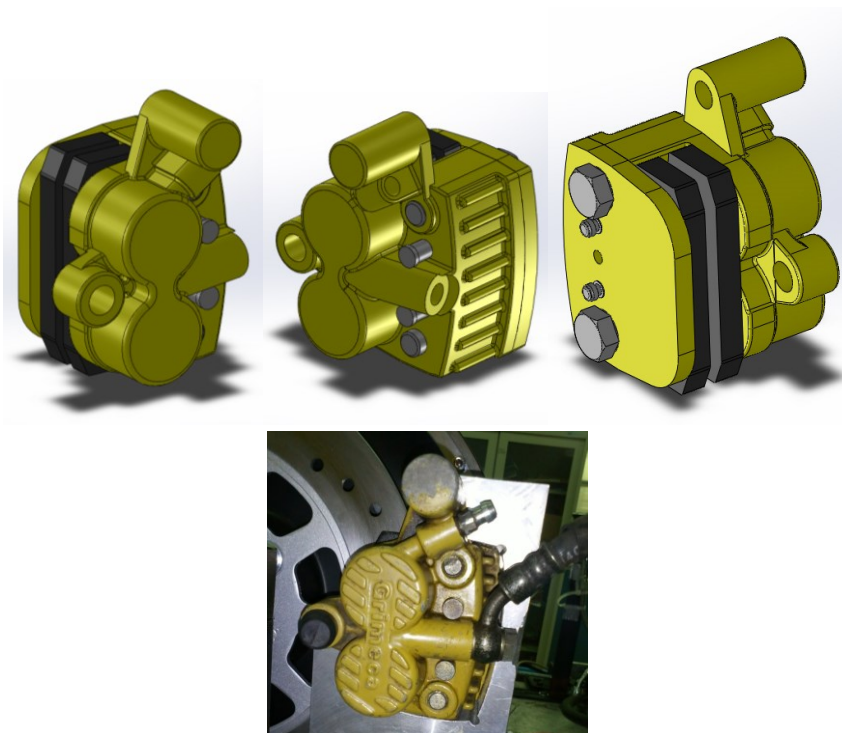


Figura 45 Pinza freno.

6.4 Disco freno

Il disco freno è realizzato in Acciaio ed è calettato sul motore brushless.



Figura 46 - Disco freno

6.5 Cella di carico

La cella di carico, che è inserita nel vano creato nel binario con sopra appoggiato il braccio porta pinza, ha le seguenti caratteristiche:

MARCA	METRO
PORTATA MASSIMA	45 kg
MASSIMA TENSIONE INGRESSO	15VDC
SEGNALE IN USCITA NOMINALE	3mV/V
RESISTENZA PONTE	350 Ω

Tabella 2 - Caratteristiche cella di carico

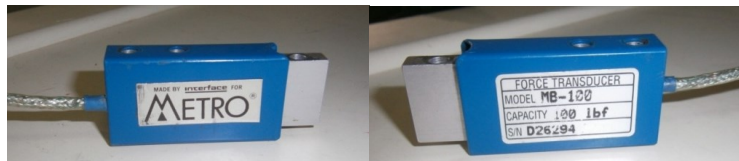


Figura 47 - Cella di carico

6.5.1. Modalità installazione cella di carico

Come si può osservare nella figura sottostante il perno su cui è appoggiato il braccio coincide con la retta che passa per i centri dei due pistoni della pinza freno in quanto la forza frenante delle pastiglie è concentrata proprio in quel punto.

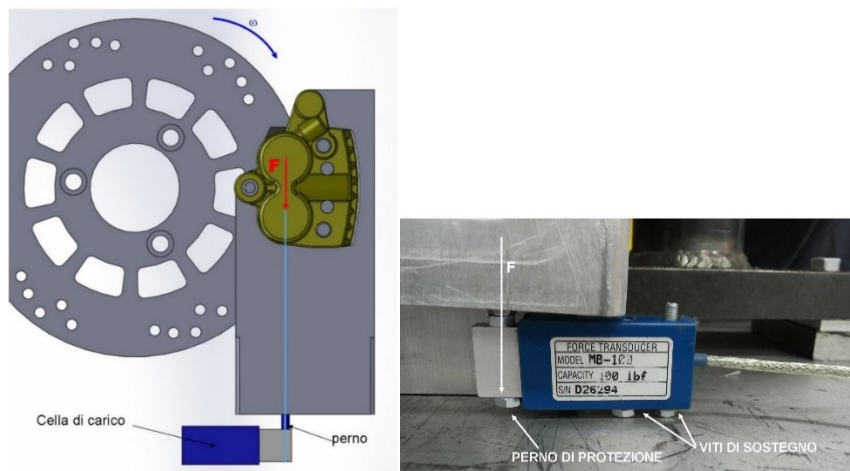


Figura 48 – Retta d'azione forza F

Si è effettuata una protezione da un eventuale sovraccarico inserendo un perno anche nella parte sottostante la staffa che misura il carico, affinché in caso di superamento del carico consentito, essa non possa flettere oltre il limite.

6.6 Sensore fotoelettrico di velocità

Il sensore fotoelettrico utilizzato per l'implementazione software e hardware sul banco prova delle ruote motorizzate è prodotto dalla Bernstein. La fotocellula è del tipo a riflessione diretta. Il sensore fotoelettrico a riflessione trasmette luce infrarossa sull'oggetto da rilevare il quale riflette la luce in maniera diffusa. Una parte del fascio di luce riflesso colpisce il ricevitore e, se raggiunge un'intensità sufficiente, fornisce un segnale di commutazione in uscita. Vengono analizzati gli

stati "riflessione" e "nessuna riflessione", che hanno lo stesso significato della presenza o dell'assenza di un oggetto nell'area di rilevamento. Il grado di riflessione della superficie dell'oggetto da rilevare incide sul campo di commutazione S_d ; a seconda della natura del materiale riflettente ci sono diversi fattori di correzione. Le caratteristiche superficiali e la colorazione della superficie degli oggetti hanno una notevole influenza sul riconoscimento dell'oggetto stesso (presenza - assenza) e sulla distanza di rilevamento che dipende principalmente dal tipo di sensore. Nella figura sottostante è mostrato un tipico sensore cilindrico a riflessione diretta e la sua applicazione.

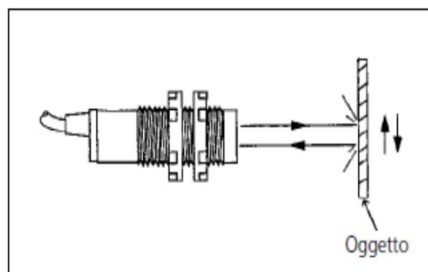


Figura 49 - Applicazione sensore fotoelettrico

6.6.1. Caratteristiche sensore fotoelettrico



Figura 50 - Sensore fotoelettrico

Tipo	fotocellula a riflessione diretta
Area di rilevamento	1-200 mm
Forma	cilindrica, in acciaio inox
Dimensioni	M24 x 1

Tabella 3 - Caratteristiche prodotto sensore fotoelettrico

Modello elettrico	DC PNP
Tensione di alimentazione	5-36 [V] DC
Corrente assorbita	25 [mA]
Tipo di luce	luce infrarossa

Tabella 4 -Dati elettrici sensore fotoelettrico

Caduta di tensione	2,5 [V]
Capacità di corrente	200 [mA]
Frequenza di commutazione	500 [Hz]

Tabella 5 - Dati di uscita sensore fotoelettrico

6.7 Scheda di acquisizione dati

La scheda di acquisizione dati è una scheda DAQ NI USB-6008 della National Instruments. La scheda è costituita da :

- 8 canali di ingresso analogici (AI)
- 2 canali di uscita analogici (AO)
- 12 canali digitali di ingresso/uscita (DIO)
- 1 contatore a 32 bit

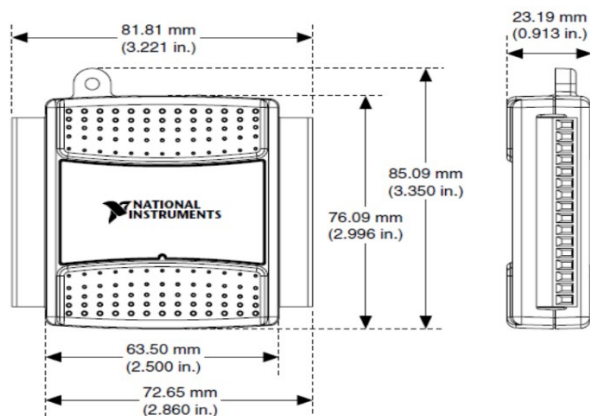


Figura 51 DAQ NI USB-6008

6.8 Manometro

Il manometro è situato a monte del circuito frenante, subito dopo la vaschetta che contiene il liquido frenante DOT4. Esso è collegato al circuito frenante grazie ad una vite con due fori di uscita. Il manometro misura la pressione del circuito frenante attraverso la lettura della pressione e secondo un'opportuna taratura, è possibile conoscere a priori la coppia frenante prima che il sistema entri a regime.



Figura 52 - Manometro e relativo posizionamento

6.8.1. Modalità di installazione del manometro

Il manometro è collegato al circuito frenante tramite una vite a due fori di uscita come mostra in evidenza la Figura 53 figura sottostante.



Figura 53 - Vite a due fori di uscita

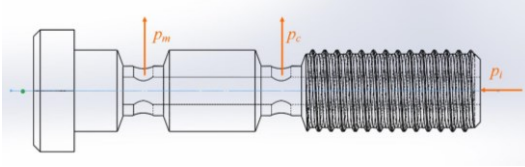


Figura 54 - Schema pressioni della vite a due fori di uscita

Considerando lo schema della Figura 54, chiamiamo

- p_m = pressione liquido in uscita al manometro
- p_c = pressione liquido in uscita al circuito frenante
- p_i = pressione liquido ingresso

Poiché ci troviamo in regime stazionario per la *Legge di Pascal* si ha che:

$$p_m = p_c = p_i$$

Equazione 2 - Equazione di Pascal per la vite a due fori di uscita

Quindi la pressione letta sul manometro è pari a quella del circuito frenante e a quella erogata dalla leva del freno.

6.8.2. Funzionamento freno

Il freno viene azionato tramite la leva posta sotto il manometro. L'operatore eroga la coppia frenante a seconda della pressione letta sul manometro. Una volta raggiunta la pressione desiderata, la leva viene fermata da una vite di bloccaggio lasciando erogare dal freno sempre la stessa coppia frenante.



Figura 55 Funzionamento freno

6.9 Ventola raffreddamento disco

A causa dell'attrito tra pastiglie e disco, la loro temperatura tende ad aumentare sensibilmente in fase di frenata. L'aumento della temperatura, comporta un'espansione del liquido frenante contenuto nei cilindri della pinza freno quindi la coppia frenante aumenta sempre di valore con l'aumentare della temperatura. Poiché abbiamo bisogno di misurare un valore più o meno costante della coppia frenante, si è pensato di raffreddare il disco con una ventola. Tale ventola, come è mostrato in Figura 56, è posizionata sul supporto motore e raffredda il disco all'uscita dalla pinza freno. In questo modo si cerca di tenere la temperatura del sistema più costante per ottenere una misura della coppia frenante in condizioni di equilibrio.



Figura 56 - Ventola di raffreddamento

6.10 Funzionamento del banco prova

L'operatore dà alla ruota in moto una coppia frenante azionando la leva del freno fino ad arrivare alla pressione desiderata che può leggere sul manometro. La pinza spinge le pastiglie sul disco aumentando la forza d'attrito F tra loro. La forza di attrito, e quindi la forza frenante, si trasmette sul braccio porta pinza lungo la retta d'azione, mentre la cella di carico misura proprio la forza F e trasmette tale misura all'unità di acquisizione dati. Il sensore ottico di velocità misura la velocità

della ruota inviando il segnale all'unità di acquisizione dati. Tramite la classica formula del momento

$$C = F * b$$

l'unità di acquisizione dati traccia una curva *rpm-coppia*.

A questo punto è possibile ricavare anche la curva *rpm-potenza* in quanto

$$W = C * \omega$$

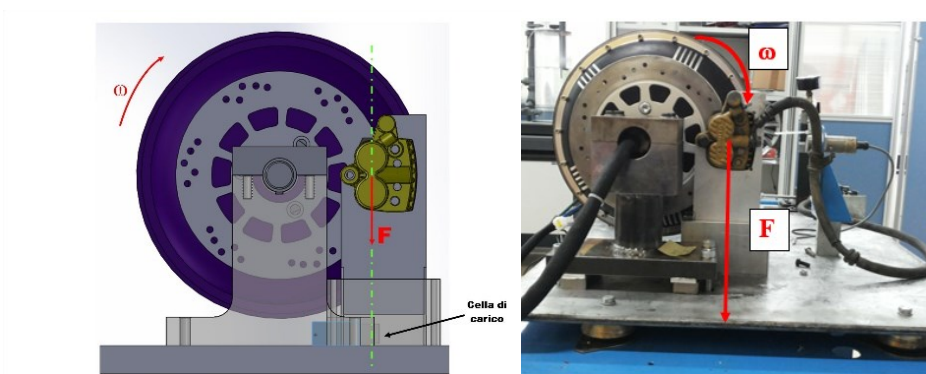


Figura 57 - Funzionamento banco prova (realizzato in SolidWorks)

6.11 Taratura cella di carico

La cella di carico ha le seguenti caratteristiche:

Interface
ADVANCED FORCE MEASUREMENT

MB

**CALIBRATION CERTIFICATE
INSTALLATION INFORMATION**

INSTALLATION DIMENSIONS

MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H
MB-5, 10, 25, 50	1	2 1/2	1/2	1/4	.500	1 1/4	1/4	1/4
75, 100, 150	25.4	60.3	12.7	6.4	12.7	33.3	4.4	4.4
	inch	1	2 1/2	1/2	1/4	.500	1 1/4	1/4
	mm	25.4	60.3	19.1	6.4	12.7	33.3	4.4

Mounting instructions: Fasten securely to flat rigid surface with two 8-32 X 1 1/4 screws. Torque to 24-inch pounds (2.7N-m) for best performance.

ELECTRICAL INFORMATION

MB Series is provided with a 4-conductor shielded cable (AWG 28) 5 feet (1.5m) long.

Wiring Color Code complies with ISA S37.8 "Specifications and Tests for Strain Gage Force Transducers" and SMA Load Cell Terminology.

RED - EXC	}	COMPRESSION UPSCALE
WH - OUT		
BLK - EXC		
GRN - OUT		
SHIELD		

APPLICATION NOTES

- The Minibeam load cells are designed for controlled environment applications. In general, they can be used anywhere a readout instrument is used.
- NOTE: Please exercise caution during handling and installation of these load cells. The application of a force equaling more than 150% of the rated capacity (7.5 lbs. on MB-5; 15 lbs. on MB-10; 37.5 lbs. on MB-25, etc.) can result in irreparable damage.
- These units are not intended for submerged operation. A Moisture Resistant coating is applied for capacities 25 thru 250 lbs. to protect MB Series from high humidity conditions up to and including 95% Relative Humidity and periodic exposure to condensation.

PRELOADED SPRING OVERLOAD PROTECTION

For spring overload details, request IFI #32.

TYPICAL INSTALLATION — ATTACHMENT METHODS

PERFORMANCE DATA

Nominal Output—mV/V	3
Input Resistance—Ohms	350 + 50 / - 3.5
Output Resistance—Ohms	350 ± 3.5
Recommended Excitation	10 VDC
Non-Linearity—% Full Scale	< ± 0.03%
Hysteresis—% Full Scale	< ± 0.02%
Compensated Temp. Range	0°F to 150°F (-15°C to 65°C)
Temperature effect on zero—% Rated Output/100°F (% Rated Output/55.6°C)	± 0.15
Zero Balance—% Rated Output	< ± 1

MINIBEAM LOAD CELL

INTERFACE, INC.
7401 E. Butherus Dr.
Scottsdale, Arizona 85260 U.S.A.
Telephone (480) 948-5555 • FAX (480) 948-1924
www.interfaceforce.com

WARRANTY & CERTIFICATION STATEMENT ON OTHER SIDE

FORM 15-11 Copyright © 1985 by INTERFACE, INC. Printed in U.S.A. 0889 3K

Figura 58 - Foglio istruzioni cella di carico

Si è effettuata una prima taratura con una tensione in ingresso di 10VDC utilizzando dei pesi già tarati e misurando la tensione di uscita con il tester. Abbiamo ottenuto i seguenti risultati:

PROVA	FORZA [Kgf]	SEGNALE[mV]
1	0.1	0.410
2	1	1.058
3	2	1.777
4	3	2.497
5	5	3.961
6	10	7.603

Tabella 6 - Dati prima taratura cella di carico

Utilizzando l'interpolazione tramite le funzioni polyfit e polyval di Matlab (il cui programma è scritto in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), si è ottenuta l'equazione lineare della cella di carico:

$$S = 0.7266 * F + 0.3303$$

Dove F è la forza espressa in Kgf e S è il segnale in mV.

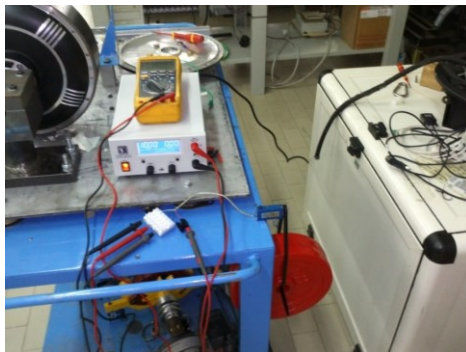


Figura 59 - Prima taratura cella di carico

Successivamente si è pensato di attaccare la cella di carico ad un classico alimentatore da rete a 12VDC in quanto quello utilizzato in precedenza sarebbe servito per alimentare la ruota motorizzata a 42VDC.

Si è effettuata quindi una nuova taratura collegando le uscite direttamente sul DAQ e con la cella già montata sotto il braccio porta pinza e ottenendo la misura

del carico netto. I pesi tarati sono stati poggiati sul braccio facendo coincidere i loro baricentri con la retta d'azione della forza.

I valori ottenuti dalla nuova prova sono:

PROVA	FORZA [Kgf]	SEGNALE[mV]
1	0	9.28
2	2	10.35
3	5	12.48
4	10	17.66

Tabella 7 Dati taratura definitiva cella di carico

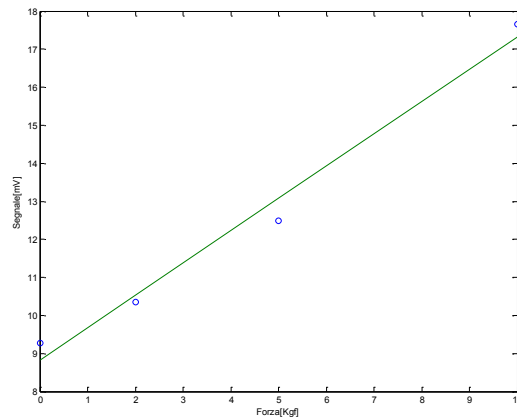


Figura 60 - Curva di taratura della cella di carico

L'equazione di taratura ottenuta è:

$$S = 0.8489 * F + 8.8345$$

Tale equazione poi è stata implementata nell'interfaccia di controllo del banco prova.

6.12 Montaggio e calibratura del sensore fotoelettrico

Il sensore fotoelettrico è stato montato ad una distanza di 8 cm dalla ruota, ed è stato collegato al DAQ.



Figura 61 Particolari banco prova

Come si può notare, agli ingressi è stata inserita una resistenza e un condensatore che servono per l'amplificazione e il filtraggio del segnale. Dopo il montaggio del sensore, è stato creato il programma per la misurazione in ambiente LabView. I valori della velocità visualizzati sul programma in LabView sono stati calibrati con un tachimetro digitale correttamente tarato.

6.13 Interfaccia di controllo

Una volta realizzati tutti i componenti, si è passati alla realizzazione di un interfaccia di controllo. Essa è stata realizzata in LabView e lo schema è il seguente:

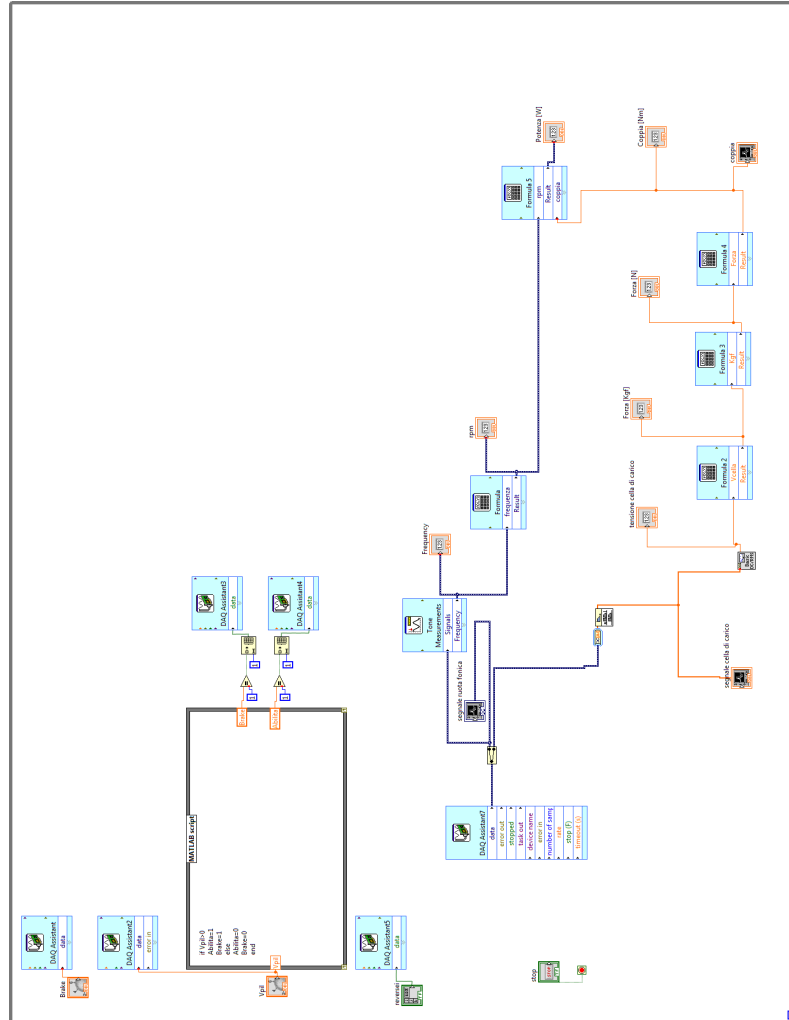


Figura 62 Block Diagram Banco Prova

Il relativo pannello frontale invece:



Figura 63 Front Panel Banco Prova

I comandi presenti sono:

- Manopola di regolazione della velocità di pilotaggio del motore (Vpil)
- Interfaccia per la predizione della coppia
- Lettura del numero di giri del motore
- Lettura della coppia e della potenza

6.14 Predizione della coppia frenante

Il controllo del freno è dato dalla leva. Poiché l'unico dato reperibile è la pressione nel circuito frenante, si è pensato di inserire un controllo in coppia del freno frutto di una regressione in funzione della velocità di pilotaggio e della pressione del circuito frenante.

Per ottenere la regressione sono state effettuate delle prove a diverse tensioni di pilotaggio e diverse pressioni. Tali prove sono state effettuate con un alimentatore che eroga una tensione di 42VDC e una potenza massima di 380W.

I risultati sono i seguenti:

Vpil	Pressione [bar]	Coppia [Nm]	Potenza [W]	rpm
0.49	0	1.7	12	67
0.49	0.5	3.5	24	66
0.49	1	4.6	31	64
0.49	1.5	6.9	45	62
0.49	2	10.5	65	59
1	0	1.3	19	145
1	0.5	3.3	50	143
1	1	4.7	70	140
1	1.5	7.3	104	137
1	2	14.5	199	131
1.5	0	1.3	29	215
1.5	0.5	3.3	73	212
1.5	1	5.3	115	209
1.5	1.5	7.9	170	205
1.5	2	10.8	228	202
2	0	1.2	36	289
2	0.5	2.6	78	286
2	1	4	119	283
2	1.5	6.4	188	280

Tabella 8 - Prove sul motore a banco

I valori sono stati elaborati in MatLab creando una regressione che correlasse la coppia, la pressione e la velocità di pilotaggio.

La relazione è la seguente:

$$C = 4.6921 * Vpil + 2.3855 * p^2 - 1.9741 * Vpil^2$$

dove:

- C = coppia prevista
- $Vpil$ = velocità pilotaggio motore letta sulla manopola dell'interfaccia di controllo

- p = pressione da applicare nel circuito frenante

Il grafico sottostante mostra lo scostamento dei punti rilevati dalla regressione trovata. Sono stati trovati inoltre i coefficienti di correlazione tra la coppia rilevata e quella prevista e si nota che sono pari rispettivamente a 1 e 0.9530.

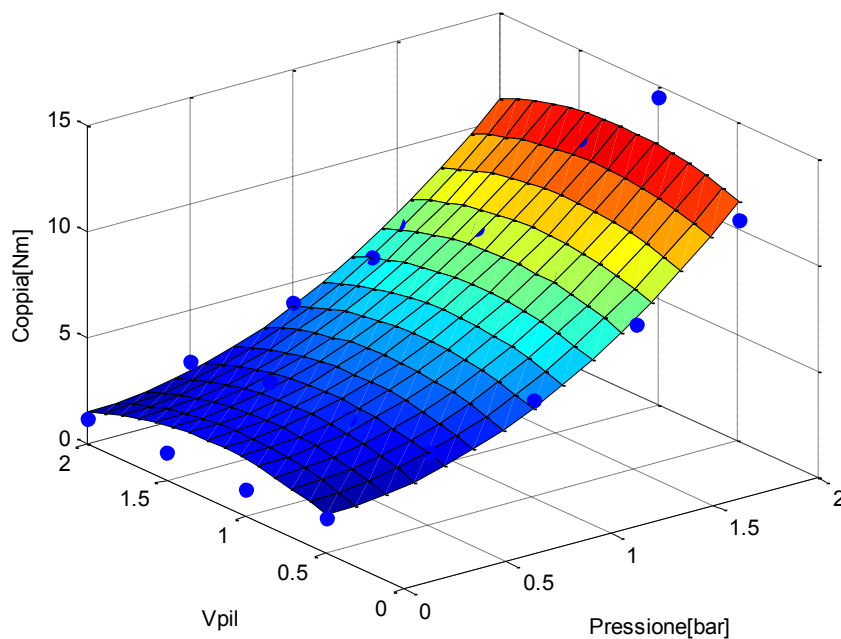


Figura 64 - Grafico della relazione della coppia frenante predetta

6.15 Tracciamento delle curve di coppia e potenza

Avendo effettuato delle prove, con i risultati ottenuti nella tabella precedente, si è pensato di tracciare delle curve di coppia e potenza nelle varie velocità di pilotaggio, e i risultati ottenuti sono i seguenti:

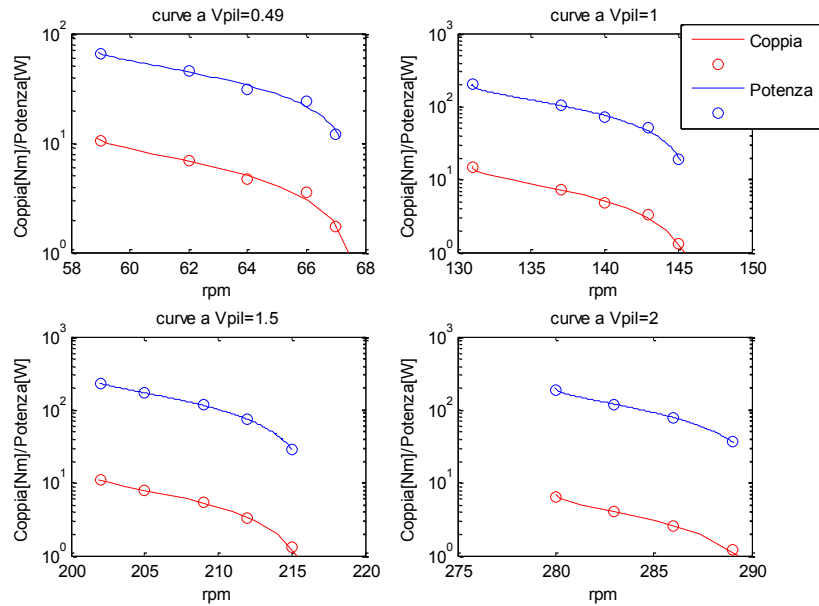


Figura 65 - Curve di coppia e potenza ai vari V_{pil}

Tali curve non possono essere però considerate come curve al massimo delle potenzialità del motore, in quanto i motori hanno una potenza di 7KW mentre la massima potenza di alimentazione che l'alimentatore può fornire è di 380W.

Sono da notare però gli andamenti, in particolare la rapida decrescita dopo un certo numero di giri. Tali curve, confrontate con quelle fornite dall'azienda costruttrice²³, hanno lo stesso andamento quindi si può affermare che il banco prova funziona correttamente.

²³ Le curve di coppia e potenza fornite dalla Kelly Controls sono relative a test effettuati sul motore con una tensione di alimentazione di 74VDC e una potenza in ingresso che raggiungeva gli 11KW

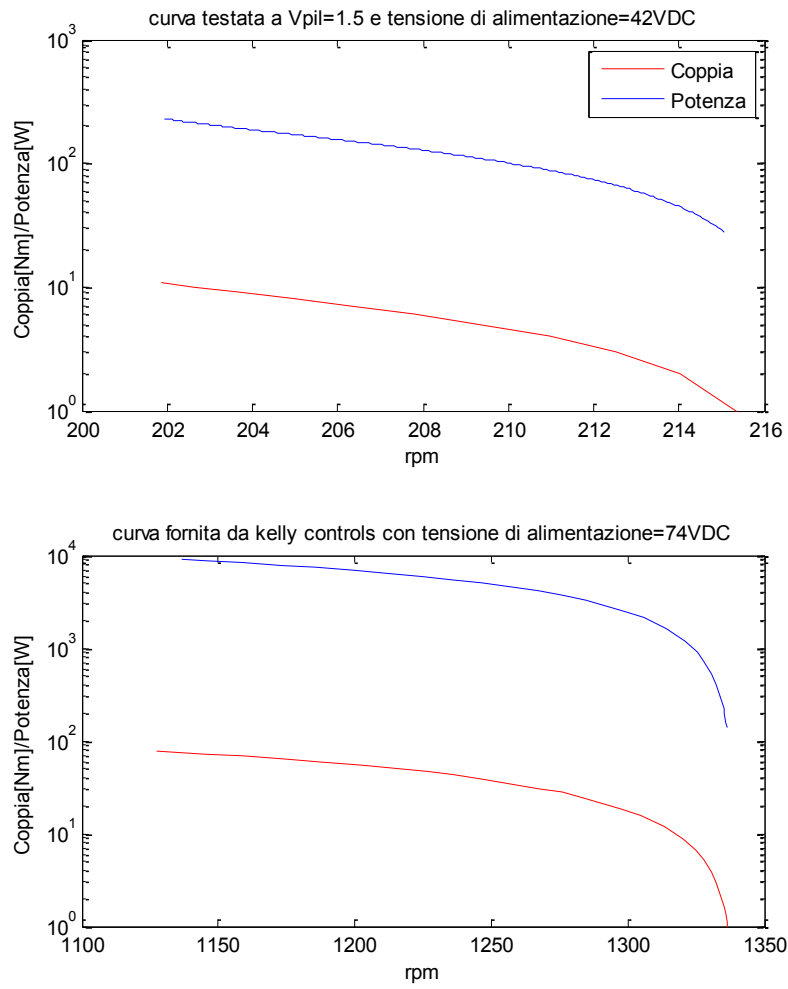


Figura 66 - Confronto con la curve a $V_{pil}=1.5$ con quella fornite da Kelly Controls

CAPITOLO 7

INTERFACCIA COMANDO DA PC

In questo capitolo verrà illustrato il programma scritto in ambiente LabVIEW per il controllo e la gestione del veicolo. Il sistema di controllo è stato implementato attraverso l'utilizzo della scheda di acquisizione e di elaborazione dati NI USB-6212.

7.1 Scheda NI USB-6212

Il programma, scritto in ambiente labview, permette la gestione della scheda NI USB-6212. La scheda è un sistema di acquisizione e condizionamento di segnali molto versatile e a basso costo. Essa presenta le seguenti caratteristiche:

- 16 canali analogici di ingresso (AI)
- 2 canali analogici di uscita (AO)
- 32 canali digitali di ingresso/uscita
- 2 contatori a 32 bit



Figura 67- Scheda NI USB-6212

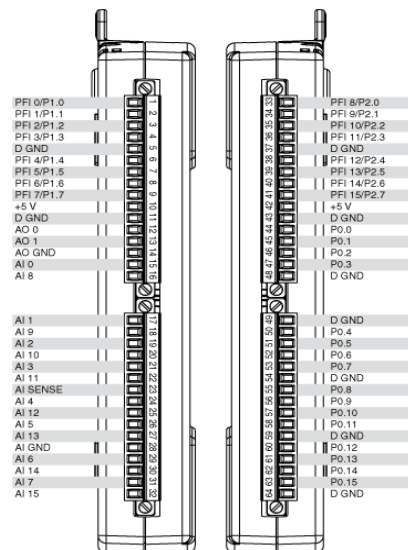


Figura 68-Screw Terminal

Caratteristica di questi canali è che possono ricevere segnali a basse frequenze, infatti la massima tensione applicabile al singolo canale rispetto alla massa del dispositivo è +/-10V che porta a una tensione massima misurabile (in forma differenziale) pari a +/- 20V. Poiché la scheda è collegata al pacco batteria, possiamo mediante il software labview rilevare i seguenti dati: corrente, tensione e temperatura. I valori in uscita sono dell'ordine di grandezza del Volt; a tal proposito sono stati calcolati gli opportuni coefficienti di correlazione per avere la corrente nell'ordine dell'Ampere e la tensione nell'ordine del Volt. Per

rilevare l'effettiva corrente, che circola all'interno della batteria, è stata utilizzata una pinza amperometrica; per quanto riguarda la differenza di potenziale ai capi del pacco batteria è stato utilizzato un multimetro.

7.2 Struttura del software

In questo paragrafo ci occuperemo della descrizione del programma scritto in ambiente labview. Il software è costituito da due parti caratteristiche:

- Front panel
- Block diagram

Il primo indica la finestra che rappresenta l'interfaccia tra il programma e l'utilizzatore; il secondo invece contiene il codice in diagramma a blocchi con gli opportuni collegamenti.

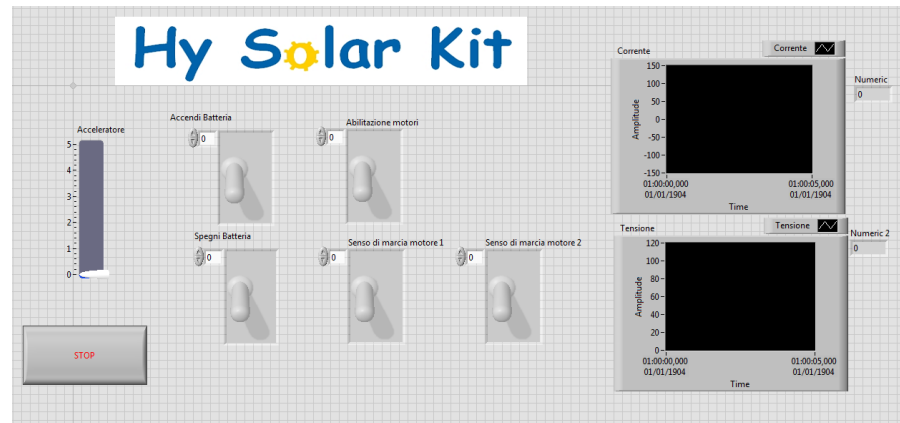


Figura 69-Front panel

In figura è rappresentata l'interfaccia del software dove troviamo 5 interruttori virtuali, 2 monitor per la visualizzazione della corrente e della tensione della batteria, una leva che gestisce l'accelerazione ed un tasto per l'arresto del programma.

Attraverso il front panel quindi possiamo:

1. accendere e spegnere il pacco batteria
2. abilitare e disabilitare i motori elettrici
3. modificare il senso di marcia dei motori elettrici
4. monitorare l'intensità di corrente e la tensione del pacco batteria
5. modificare la tensione di pilotaggio

L'interruzione del flusso di corrente verso i motori elettrici può essere realizzata anche attraverso il tasto di emergenza che è stato applicato in prossimità del cambio per ragioni di sicurezza.

E' importante stabilire opportunamente il senso di marcia delle due ruote per il corretto avanzamento del veicolo; A tal proposito, bisogna fare attenzione a settare le impostazioni di ciascuna affinché ruotino in versi rispettivamente opposti.

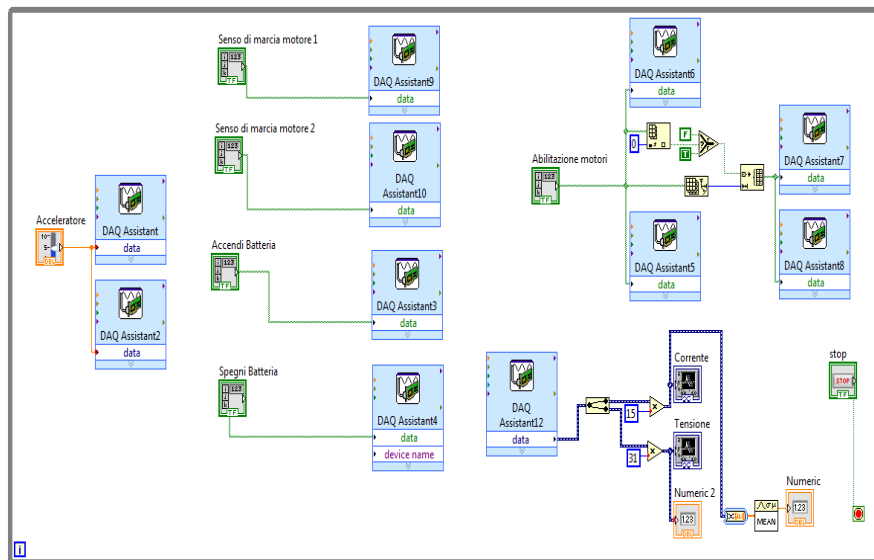


Figura 70-block diagram

In figura è rappresentato il block diagram che contiene il programma in forma grafica. Per la programmazione si ricorre al DAQ-Assistant che permette all'utente di interagire con i canali della scheda NI-USB 6212. Ogni DAQ è stato opportunamente configurato a seconda del tipo di canale analogico/digitale:

-ACCELERATORE: canale analogico di output

Nel caso dell'acceleratore abbiamo due DAQ Assistant, uno per ogni ruota elettrica, che ci permettono di interagire con 2 canali analogici di uscita. Per quanto riguarda la loro configurazione è stato semplicemente impostato il tipo di segnale che si vuole controllare (tensione di pilotaggio), il range(0-5) del segnale di uscita, l'unità di misura(V) e il canale. I due DAQ sono collegati a una manopola che è stata specializzata per una scala fra 0 e 5 V, con un incremento di 0,1V.

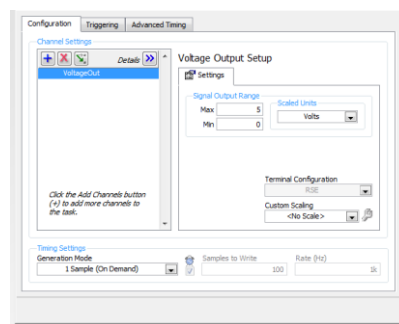


Figura 71 configurazione DAQ-Assistant per l'acceleratore

-CANALI DIGITALI

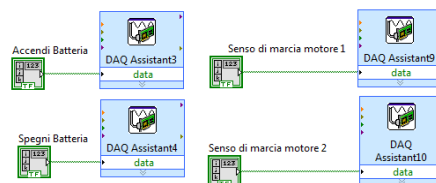


Figura 72 codice a blocchi per i canali digitali relativi al pacco batteria e al senso di marcia delle ruote motorizzate

In figura sono raffigurati i DAQ-Assistant, relativi ai canali digitali, collegati agli opportuni switch. I DAQ sono stati configurati tutti allo stesso modo andando a specificare il tipo di segnale in uscita (digitalout) e il canale dove vanno ad agire. Trattandosi di canali digitali essi sono raffigurati nel front panel come semplici interruttori ON/OFF che ci permettono di accendere/spegnere la batteria e cambiare il senso di marcia delle singole ruote elettriche.

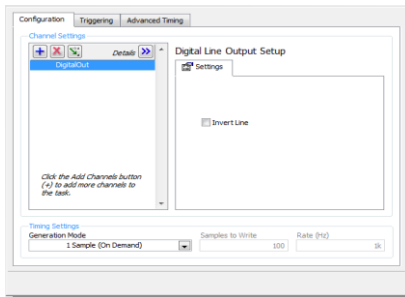


Figura 73 configurazione DAQ-Assistant per i canali digitali

In precedenza abbiamo detto che un modo per aumentare ulteriormente l'autonomia del veicolo ibrido è quello di sfruttare la frenata rigenerativa cioè recuperare parte dell'energia cinetica, dissipata sotto forma di calore, utilizzando il motore elettrico in modalità di generatore. A tal proposito importante fare attenzione allo schema a blocchi relativo all'abilitazione motori.

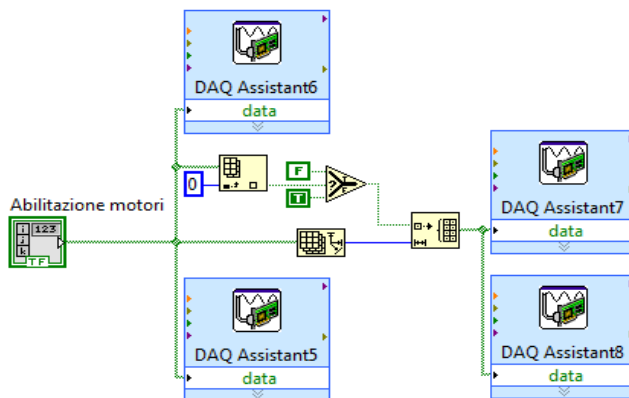
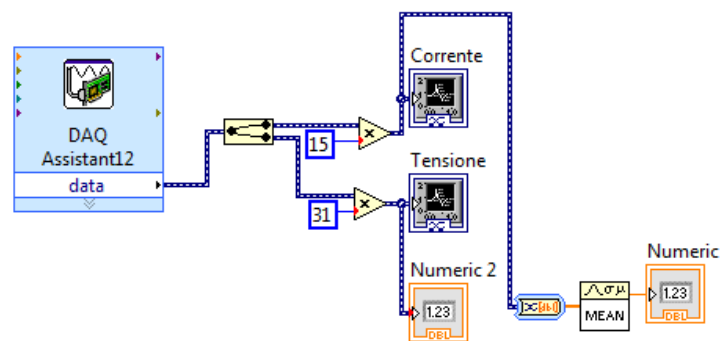


Figura 74- codice a blocchi per l'abilitazione dei motori

Trattandosi anche esso di un canale di tipo digitale, i DAQ sono collegati a uno switch on/off, che abilita e disabilita i motori elettrici. Nel momento in cui disabilitiamo le ruote elettriche, si attiva la modalità rigenerativa, che ci permetterà di ricaricare il pacco batteria.

-CORRENTE E TENSIONE PACCO BATTERIA: canali analogici di input



Il diagramma a blocchi relativo alla corrente e alla tensione del pacco batteria opportunamente calibrati è composto da due “graph indicators” e due “numeric indicators” che permettono di visualizzare la corrente e la tensione della batteria sul front panel sia graficamente che numericamente nell’ordine dell’ampere e del volt grazie ai coefficienti di correlazione citati e calcolati in precedenza e da un DAQ-Assistant che è stato collegato e configurato opportunamente. Per la configurazione del DAQ si è scelto il tipo di segnale analogico di INPUT(corrente/tensione), il range di visualizzazione grafica ([-20; +20] [-50; +50]) e i canali. L’intero codice a blocchi è inserito in un riquadro di colore nero, che corrisponde a un “WHILE” e che ha lo scopo di far ripetere il programma in tempo reale, finché non viene arrestato con il pulsante di STOP nel front panel. Tramite questo software di gestione delle ruote motorizzate è possibile effettuare diverse prove sul veicolo avendo il vantaggio di comandare i motori elettrici indipendentemente dal motore termico per avere maggiori informazioni sul comportamento della vettura in condizioni limite. Tramite queste prove sarà possibile ottimizzare al meglio il programma illustrato nel prossimo capitolo.

CAPITOLO 8

SVILUPPO ED IMPLEMENTAZIONE DELLA STRATEGIA DI CONTROLLO

Come già osservato in precedenza, i veicoli ibridi offrono un grosso potenziale come alternativa ai veicoli convenzionali grazie agli importanti vantaggi che l'impiego di tali mezzi offre. Essendo essi infatti dotati di una sorgente di energia elettrica e di una di natura termica in grado di assicurare la propulsione del mezzo, il loro funzionamento può essere ottimizzato sfruttandole opportunamente nelle varie condizioni di guida.

Parallelamente allo sviluppo tecnico dei veicoli ibridi nasce quindi l'esigenza di determinare una procedura che consenta di coordinare adeguatamente gli organi del drivetrain poiché, una loro inopportuna gestione, condurrebbe inevitabilmente a penalizzazioni in termini di consumi energetici. Tali procedure sono comunemente denominate *strategie di controllo dei veicoli ibridi* ed attualmente sono oggetto di numerosi studi e pubblicazioni.

Si definisce dunque strategia di controllo una sequenza ordinata di operazioni (sia di controllo che di attuazione) atte a regolare il funzionamento dei vari organi del drivetrain; tali algoritmi tipicamente assumono come variabili di ingresso i segnali provenienti dai sensori alloggiati nel veicolo (velocità, accelerazione, etc.) mentre le variabili di uscita sono rappresentate dalle decisioni prese in merito alla variazione di funzionamento dei powertrain. Le soluzioni attualmente proposte sono molteplici e si riconducono tutte alla programmazione di uno o più controllori *IEMA (Intelligent Energy Management Agent)* a cui viene affidato il compito di coordinare i dispositivi del veicolo in accordo con le leggi della strategia di controllo. Diversamente da un veicolo convenzionale nei veicoli ibridi vengono riconosciuti due diversi livelli di azioni di controllo che vengono affidate ad altrettanti controllori: un livello alto a cui appartiene il controllore di supervisione *SDC (Supervisory Drive train Controller)*, ed un livello più basso a cui appartengono i controllori *ECU (Electronic Control Unit)* dei singoli dispositivi. Il

controllore *SDC* si trova nella posizione più alta della struttura gerarchica del sistema e funziona principalmente come gestore delle sorgenti di energia: esso valuta la disponibilità di potenza da parte delle varie fonti energetiche e la potenza richiesta dal guidatore e, sulla base di algoritmi pre-implementati, stabilisce una ripartizione della potenza tra i powertrain. Esso inoltre gestisce il cambio automatico, le comunicazioni tra i vari dispositivi del veicolo ed effettua periodicamente la diagnosi dell'intero sistema attraverso i segnali ricevuti dai vari sensori. I controllori *ECU* invece si occupano unicamente di trasformare i segnali provenienti dal controllore *SDC* in opportuni comandi elettrici per gli attuatori.

8.1 Le strategie di controllo del veicolo.

Un veicolo ibrido parallelo può funzionare in modo diverso a seconda del coinvolgimento energetico del motore elettrico e di quello termico; posto dunque P_{EM} la potenza sviluppata dal motore elettrico e P_{ICE} quella sviluppata dal motore termico, si considera il rapporto di ripartizione u della potenza definito da:

$$u = \frac{P_{EM}}{P_{EM} + P_{ICE}}$$

Definita poi Be la variabile logica che descrive lo stato del motore termico (se $Be=1$ il motore termico è in funzione e viceversa), il comportamento di un veicolo ibrido parallelo può essere descritto secondo la tabella seguente:

	Modalità	u	B_e
1	Termica	0	1
2	Elettrica	1	0
3	Ibrida	$\in [0,1]$	1
4	Ricarica	<0	0
5	Frenata rigenerativa	<0	0

Tabella 9 Modalità operative di un veicolo ibrido

Le strategie di controllo attualmente proposte differiscono per la scelta di $u(t)$ e $B_e(t)$ durante la fase di propulsione. Un ulteriore elemento di distinzione tra le strategie di controllo è rappresentato dalla conoscenza della situazione di guida futura del veicolo: sotto questa prospettiva infatti è possibile distinguere *strategie per il controllo in tempo reale o basate su regole (RBS, Rule Based Strategies)* dalle strategie che consentono di determinare una *soluzione ottima* al problema della minimizzazione dei consumi. Le strategie per il controllo ottimo determinano la ripartizione della potenza tra i powertrain di un veicolo che si muove lungo un percorso prestabilito attraverso un processo di ottimizzazione matematica finalizzato alla minimizzazione dei consumi energetici del mezzo: poiché dunque strategie di questo tipo necessitano della conoscenza a priori delle informazioni sul profilo di guida, possono essere efficacemente adottate ad esempio per i veicoli di trasporto pubblico che si muovono lungo percorsi prestabiliti di cui si conoscono a priori le caratteristiche. Le strategie basate su regole invece, determinano la ripartizione della potenza tra i powertrain facendo uso di relazioni di tipo euristico e non necessitano quindi della conoscenza preventiva del profilo di guida: attualmente strategie di questo tipo rappresentano lo stato dell'arte nella maggior parte dei prototipi e dei veicoli ibridi in commercio. Le strategie per il controllo in tempo reale presentano il vantaggio di essere abbastanza intuitive e relativamente semplici da implementare ma il loro limite principale è legato ai valori di soglia di alcuni parametri da cui dipende il comportamento del veicolo: ne è un esempio lo stato di carica delle batterie, che influenza fortemente il comportamento della macchina elettrica, ma di cui è difficile avere una stima precisa. Generalmente le

strategie per il controllo ottimo invece vengono adottate per un confronto preventivo in sede di simulazione al computer e da esse si possono poi ricavare le leggi per il controllo in tempo reale. La figura seguente rappresenta una classificazione delle strategie di gestione energetica più diffuse.

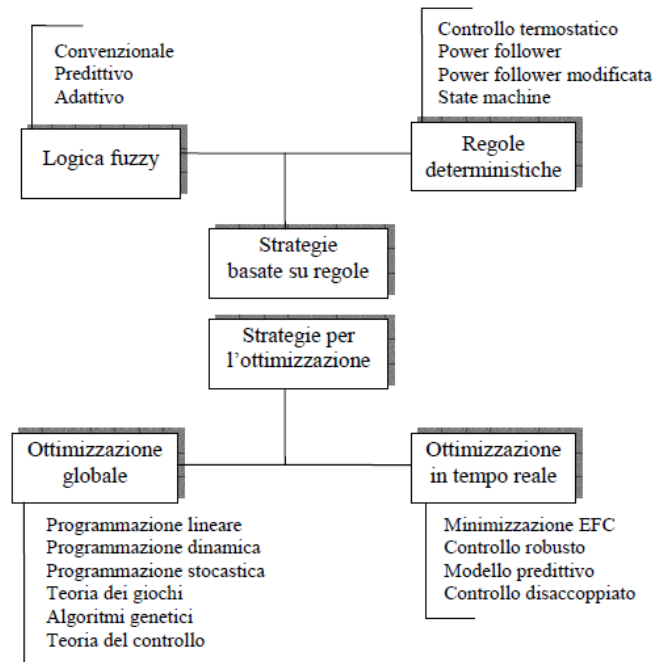


Figura 75 Classificazione delle strategie di controllo

8.2 Strategie basate sull'ottimizzazione.

L'ottimizzazione è una branca della matematica applicata che studia teoria e metodi per la ricerca dei punti di massimo e minimo di una funzione. L'ambito di ricerca privilegiato dell'ottimizzazione sono i modelli esprimibili in termini di funzioni di più variabili, nei quali i punti di ottimo vengono ricercati ponendo vincoli espressi secondo equazioni o disequazioni anche in termini di derivate successive. L'ottimizzazione ha trovato diverse applicazioni nell'ambito della gestione energetica dei veicoli ibridi, dove il problema del coordinamento dei

vari organi di un drive-train può essere formulato costruendo una funzione di costo e determinando i valori delle variabili che rendono minima tale funzione nel rispetto di alcuni vincoli fondamentali. Tipicamente la funzione di costo rappresenta il consumo di carburante o le emissioni del motore termico, mentre la variabile da determinare è generalmente rappresentata dalla ripartizione delle potenze tra i motori; il vincolo imposto è invece rappresentato dalla potenza necessaria per la propulsione e, parallelamente, dallo stato di carica delle batterie, che deve essere mantenuto entro determinati valori.

8.2.1. Ottimizzazione globale.

Le strategie basate sull'ottimizzazione globale affrontano il problema della gestione energetica di un veicolo ibrido calcolando la ripartizione della potenza tra i motori ed il rapporto di trasmissione ottimale attraverso la minimizzazione matematica di una funzione di costo per un prefissato ciclo di guida.

Un approccio di questo tipo però, poiché necessita della conoscenza a priori del profilo di guida, non può essere utilizzato direttamente per un controllo in tempo reale, ma può comunque costituire la base che permette di ricavare le regole generali per la definizione di una strategia direttamente implementabile sul veicolo.

Gli strumenti matematici di cui si fa uso possono essere di natura diversa ma generalmente i più utilizzati sono i seguenti:

- *simulated annealing*: si tratta di un processo che mira a trovare un minimo globale quando si è in presenza di più minimi locali;
- *teoria dei giochi*: è la branca della matematica che analizza situazioni di conflitto e ne ricerca soluzioni competitive e cooperative tramite modelli, essa cioè si occupa delle decisioni individuali in situazioni in cui vi sono interazioni tra due o più soggetti, tali per cui le decisioni di un soggetto, finalizzate al suo massimo guadagno, possono influire sui risultati conseguibili da parte di un rivale, secondo un meccanismo di retroazione;
- *programmazione dinamica*: è una tecnica di progettazione di algoritmi basata sulla divisione del problema in sottoproblemi, le cui soluzioni ottimali possono essere utilizzate per trovare la soluzione ottimale dell'intero problema;

- *algoritmi genetici*: si tratta di un metodo euristico di ricerca ed ottimizzazione, ispirato al principio della selezione naturale di Charles Darwin, che regola l'evoluzione biologica. Gli algoritmi genetici sono applicabili alla risoluzione di un'ampia varietà di problemi d'ottimizzazione non indicati per gli algoritmi classici, compresi quelli in cui la funzione obiettivo è discontinua, non derivabile, stocastica, o fortemente non lineare.

8.2.2. Ottimizzazione in tempo reale.

Le tecniche di ottimizzazione precedentemente descritte non sono direttamente utilizzabili per applicazioni in tempo reale. Generalmente quindi, in questo ambito, il problema viene affrontato determinando una funzione di costo che, in aggiunta alla stima del consumo istantaneo di carburante, consente di determinare la ripartizione di potenza tra i motori più idonea al mantenimento dello stato di carica delle batterie e alla riduzione dei consumi globali.

8.3 La strategia ECMS.

Durante il terzo anno in Maserati si è proseguita l'attività di Dottorato integrando la strategia ECMS in un modello di Veicolo sviluppato in Simulink.

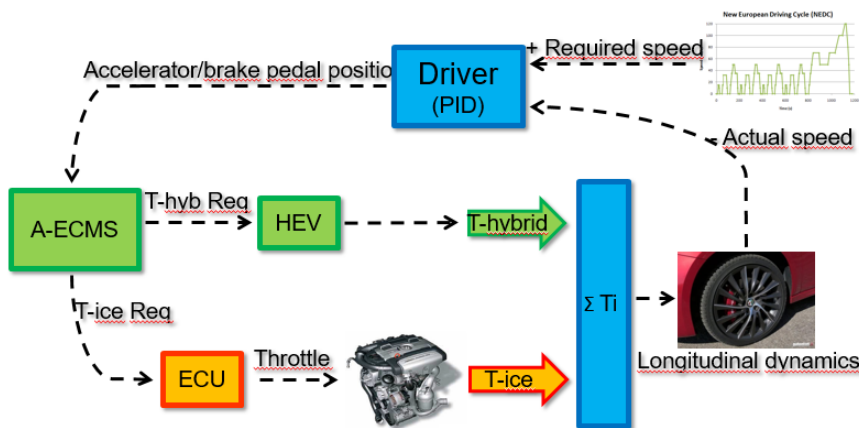


Figura 76 Modello Veicolo

La strategia *ECMS* (*Equivalent Consumption Minimization Strategy*) è una strategia di ottimizzazione utilizzabile in tempo reale, rivolta ai veicoli ibridi paralleli: tale strategia si basa sulla minimizzazione di una funzione di costo calcolata come somma del consumo istantaneo di carburante, utilizzato per la propulsione del veicolo, ed il consumo di carburante equivalente alla variazioni di stato di carica della batteria. A causa della loro diversa natura, l'energia elettrica e quella derivante dalla combustione del carburante non sono direttamente equiparabili, pertanto la determinazione della funzione da minimizzare necessita preliminarmente della definizione di un coefficiente di conversione tra i due tipi di energie. Nota quindi la coppia necessaria alla propulsione del veicolo T_{req} , posto T_{ice} la coppia sviluppata dal motore termico e T_{hyb} quella sviluppata dal motore elettrico, l'equazione di bilancio delle coppie assume la seguente forma:

$$T_{req} = T_{ice} + T_{hyb}$$

$$T_{hyb} = u(t) \times T_{hyb}$$

Avendo definito $u(t)$ il rapporto tra T_{hyb} e T_{req} .

Se $u(t) = 1$ la propulsione è assicurata esclusivamente dal motore elettrico, se $u(t) = 0$ viene utilizzato solamente il motore termico mentre per tutti valori di $u(t)$ compresi nell'intervallo $[0,1]$ la coppia viene ripartita tra il motore elettrico e quello termico, quando infine la potenza richiesta alle ruote è negativa, essa viene in parte assorbita dal sistema elettrico che la utilizza per la ricarica delle batterie: in questo caso pertanto la variabile $u(t)$ rimane non precisata e resta quindi significativa solo nel caso in cui la potenza richiesta alle ruote sia positiva.

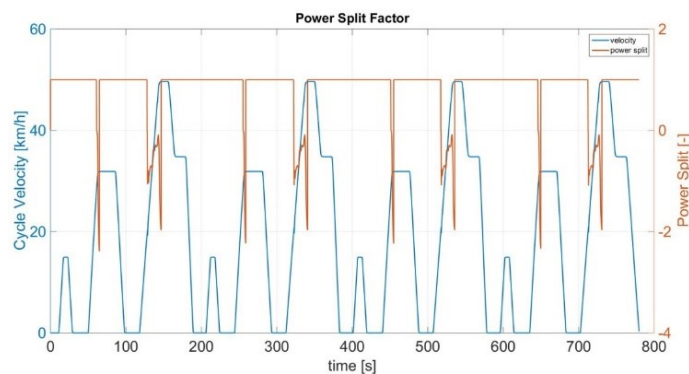


Figura 77 Power Split Factor

L'obiettivo della strategia *ECMS* consiste nel determinare in tempo reale il valore della variabile $u(t)$ che minimizza la funzione di costo considerata.

$$Jm(t, u) = \Delta E_{chemical}(t, u) + s(SoC) \bullet \Delta E_{hybrid}(t, u)$$

dove i due termini rappresentano le variazioni delle due energie, espresse come differenza tra il valore all'inizio e quello alla fine dell'intervallo Δt . Entrambi dipendono sia da $u(t)$ che dalle condizioni di guida le quali, tuttavia, possono essere assunte costante durante l'intervallo Δt essendo questo di durata piuttosto breve. Il termine $s(t)$, funzione del tempo, rappresenta il fattore di conversione attraverso il quale è possibile comparare le due diverse energie, e la sua stima costituisce il nucleo centrale di questo tipo di strategia. Esso infatti esercita una forte influenza sul comportamento del veicolo poiché, se assumesse valori troppo grandi, l'energia elettrica tenderebbe ad essere penalizzata rispetto a quella proveniente dal motore termico e, di conseguenza, i consumi del veicolo crescerebbero, viceversa, se $s(t)$ assumesse valori troppo piccoli, verrebbe favorita l'energia elettrica e lo stato di carica della batteria decrescerebbe velocemente.

$$\dot{m}_{REF}(t, u) = \dot{m}_{ICE}(t, u) + \dot{m}_{EQ}(t, u)$$

$$\dot{m}_{EQ}(t, u) = \frac{S_{act}}{Q_{LHV}} \cdot \bar{\eta}_{HYB} \cdot P_{HYB}(t, u)$$

Vincoli:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{REQ} = P_{ICE}(t) + P_{HYB}(t) \\ SoC_{Min} < SoC(t) < SoC_{Max} (\forall t) \\ 0 \leq P_{ICE}(t) \leq P_{ICE,max}(t) \\ P_{HYB,min}(t) \leq P_{HYB}(t) \leq P_{HYB,max}(t) \end{array} \right\}$$

Soluzione in moto

$$\{P_{ICE}^{Opt}(t), P_{HYB}^{Opt}(t)\} = \arg \min_{\{P_{ICE}(t), P_{HYB}(t)\}} Jm(t)$$

$$if(P_{REQ}(t) \geq 0)$$

Soluzione in frenata

$$P_{ICE}^{Opt}(t) = 0, P_{EM}^{Opt}(t) = P_{REQ}$$

$$if(P_{REQ}(t) \leq 0)$$

$$s_{act} = f_{SoC}(SoC_{batt}(t)) \cdot \bar{s}_{nom}$$

$$f_{SoC}(SoC_{batt}(t)) = \left[1 + \left(\frac{SoC_{batt,ave}(t) - SoC_{batt}(t)}{SoC_{batt,ave}(t) - SoC_{batt,min}(t)} \right)^{2n_{soc}+1} \right] \cdot \left[1 + \tanh \left(\frac{f_{SOC,I}(SoC_{batt}(t))}{SoC_{batt,th}} \right)^{2n_{soc}+1} \right]$$

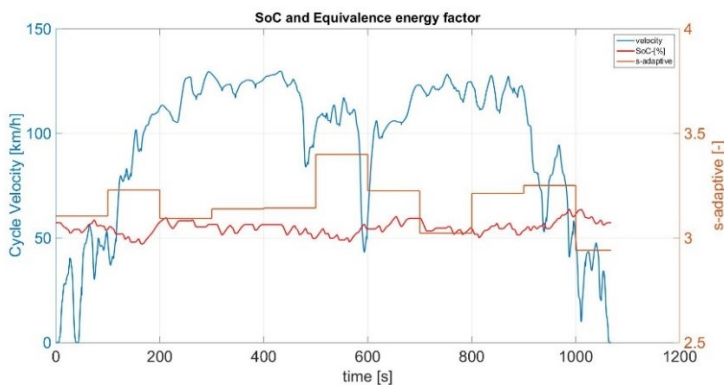


Figura 78 Soc e fattore di equivalenza

8.4 Controllo Real Time HSK

Come è stato ampiamente descritto precedentemente, la gestione del veicolo ibridizzato tramite il kit è realizzata attraverso una unità di gestione (VMU), che prende i dati dalla porta OBD. In tal modo non sono necessarie modifiche alla centralina originale e non si interferisce con il suo funzionamento.

Le strategie implementabili su questo veicolo ibridizzato sono diverse da quelle implementabili su un veicolo ibrido nativo, in quanto la scelta di sviluppare un sistema di controllo che si affianchi a quella della centralina originaria del motore comporta delle restrizioni in termini di requisiti di guida e guidabilità dell'autoveicolo.

Per esempio, quando il guidatore spinge l'acceleratore del veicolo ibridizzato, richiede un aumento della potenza del motore. In un HEV convenzionale l'aumento di potenza del veicolo potrebbe essere realizzato riducendo la potenza del motore e, in parallelo, aumentando la potenza del motore elettrico. Analogamente, nel veicolo ibridizzato una riduzione della potenza del motore sarà sempre raggiunta quando il conducente rilascia il pedale del gas.

È necessario quindi lo studio delle interazioni conducente / veicolo per sviluppare strategie compatibili e sicure per questo tipo di veicolo. In questo contesto, l'accurata conoscenza in tempo reale della "Driver Intention" gioca un ruolo fondamentale al fine di consentire un controllo efficace e sicuro delle ruote motorizzate.

Quindi per capire quando e in che misura distribuire la potenza derivante dai motori elettrici delle ruote, è importante stabilire con certezza quali siano le intenzioni del guidatore, al fine di evitare situazioni di guida non desiderate le quali potrebbero essere causa anche di incidenti.

Per il veicolo ibridizzato proposto, si presume che tutte le informazioni sulla driver intention siano ottenute, in tempo reale, tramite l'elaborazione dei dati acquisiti dalla porta OBD. In questo modo, l'installazione di ulteriori sensori sul veicolo possono essere evitate al fine di ridurre il costo del kit e di renderlo universale.

La condizione di guida effettiva è definita:

- dalla posizione del pedale del gas

- dalla posizione del pedale del freno
- indicatore di marcia e pedale della frizione

Mentre la driver intention è legata alle seguenti modalità di guida:

- **Modalità di trazione.** In questo caso, i motori elettrici potrebbero contribuire alla trazione fornendo una coppia positiva.
- **Braking(frenata).** Le ruote motorizzate possono convertire parte dell'energia cinetica del veicolo in energia chimica nella batteria. Questa funzionalità dipende dallo stato di carica della batteria(SOC); se il SOC della batteria è alto (prossimo al valore massimo) non è consigliabile effettuare la frenata rigenerativa per evitare il sovraccarico della batteria.
- **Inerzia(folle).** Questa condizione si verifica quando il veicolo cammina a folle con il pedale del gas alzato e marcia non inserita. In questo caso, i motori elettrici non dovrebbero funzionare in modalità attiva ma possono assorbire una piccola coppia negativa per emulare il freno motore.
- **Arresto auto.** La condizione del veicolo fermo con motore acceso. Questa condizione si verifica ad esempio nel traffico o quando si ci ferma al semaforo. In questo caso, si deve assolutamente evitare che le ruote motorizzate forniscano coppia positiva (o negativa).
- **Bend(curva).** Si può verificare nelle condizioni precedenti tranne nel caso di macchina ferma, a fine di differenziare le modalità di funzionamento delle due ruote motorizzate (es:velocità differenti)

Prima di illustrare la strategia implementata è necessario soffermarsi su un argomento di fondamentale importanza per il controllo, l'individuazione della marcia inserita.

8.5 Individuazione della marcia

Un fattore fondamentale da tenere in considerazione per definire la driver intention è la valutazione della marcia inserita. Questo aspetto è legato alla

conoscenza a priori del rapporto di trasmissione di ogni singola marcia e al confronto di questo con quello calcolato attraverso l'utilizzo dei dati derivanti dal software di acquisizione. Tale operazione, se pur semplice in linea di principio, presenta due problematiche non di facile soluzione. La prima riguarda la conoscenza di tutti i rapporti di trasmissione (al cambio e al differenziale) per ogni singolo modello di automobile e quindi la creazione di un database sempre aggiornato e da cui andare ad attingere le informazioni necessarie, mentre la seconda riguarda la natura dei dati di velocità e numero di giri acquisiti da porta OBD e utilizzati per determinare la marcia inserita.

Per indentificare la marcia attiva è stato definito e analizzato il rapporto R tra la velocità di rotazione della ruota del veicolo e la velocità di rotazione del motore:

$$R = \frac{\omega_w}{\omega_e} = \frac{V \cdot 60}{3,6 \cdot r_w \cdot 2\pi \cdot rpm}$$

Dove r_w è il raggio della ruota. Questo rapporto assume alcuni valori precisi, quando una marcia è inserita, che può essere calcolato dalla conoscenza dei rapporti di trasmissione del cambio e del differenziale. Nella figura sottostante sono riportati in blu i valori calcolati di R , mentre le linee rosse rappresentano i valori corrispondenti alle cinque marce della vettura (dati di targa).

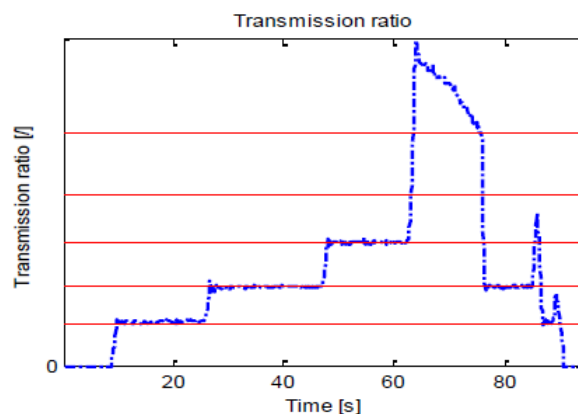


Figura 79- confronto tra gli R calcolati attraverso i dati rilevati dalla porta OBD e gli R teorici su un reale ciclo di guida

Questi valori si riferiscono a un ciclo di guida sperimentale la cui velocità è riportata in questo grafico:

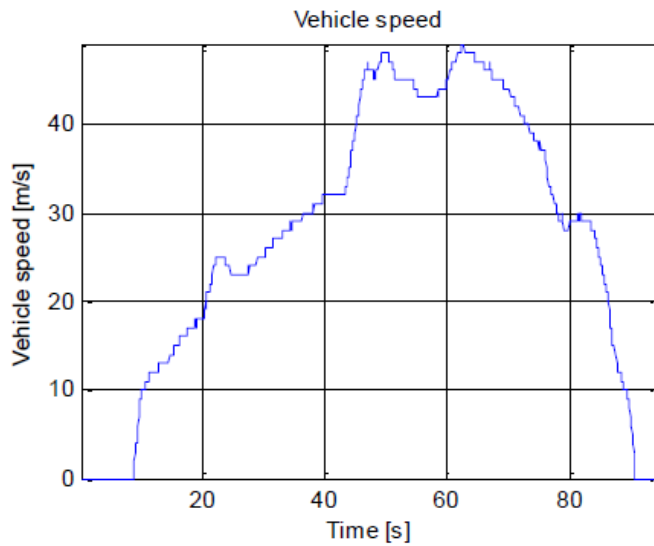


Figura 80 Velocità per un ciclo di guida sperimentale

Il risultato che otteniamo, per una data marcia, non è costante, ma oscillante rispetto ad un valore medio.

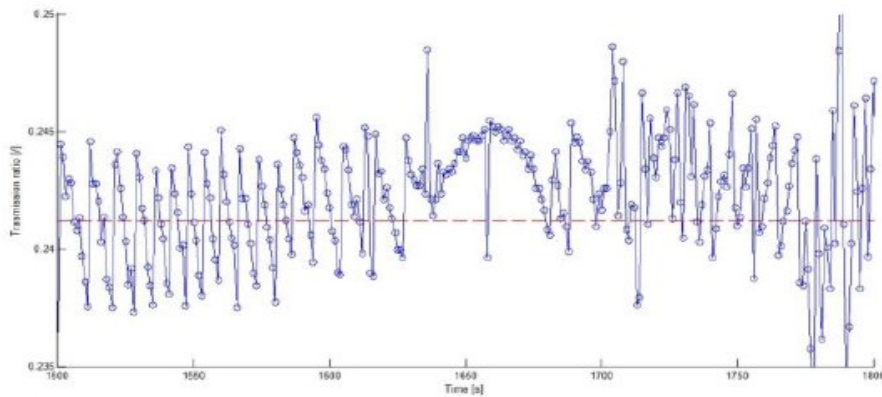


Figura 81- Situazione di marcia inserita

Questo fenomeno è legato all'errore di discretizzazione.

In pratica, essendo i dati di velocità a sole due-tre cifre significative (nella maggioranza dei casi due) mentre quelli del numero di giri a tre-quattro cifre significative (nella maggioranza dei casi quattro) è evidente come, con la stessa marcia inserita, ad una variazione piccola del numero di giri, non equivale una variazione altrettanto sensibile della velocità risultando in questo modo affetta da errore la valutazione del rapporto di trasmissione così definito. Questo effetto della discretizzazione, dell'ordine di $1/V$, è pressoché trascurabile ad alte velocità del veicolo, ma diventa molto significativo quando il veicolo è in funzione con la prima marcia.

In parte questo errore può essere mitigato con il filtraggio della velocità, utilizzando in maniera opportuna due funzioni di Matlab: `Filtfilt` e `Filt`.

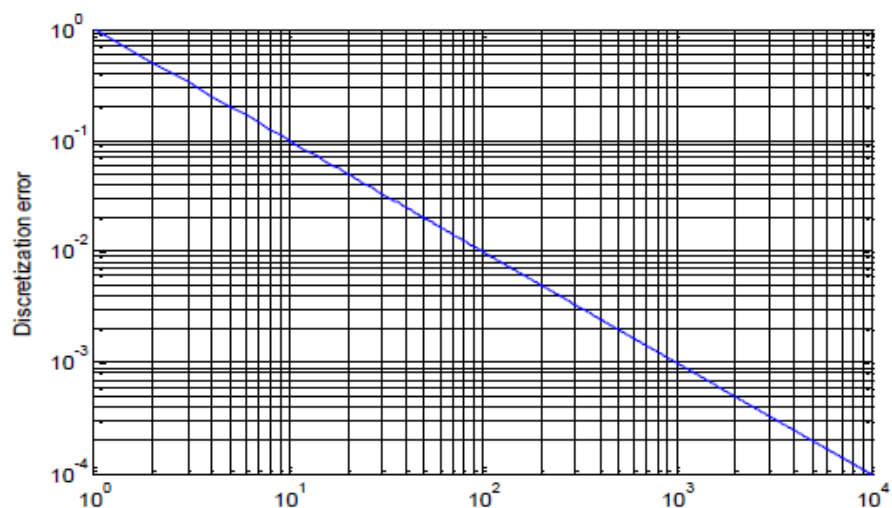


Figura 82-Errore di discretizzazione vs velocità del veicolo

L'algoritmo per il rilevamento della marcia, oltre che sul confronto tra il rapporto di trasmissione misurato e i valori corrispondenti alle 5 marce, tiene conto di una gamma di errore variabile:

$$|R - R_i| \leq \frac{2}{v} + 0,005 \quad i = 1, n_{gears}$$

Il diagramma di flusso che segue illustra il funzionamento dell'algoritmo.

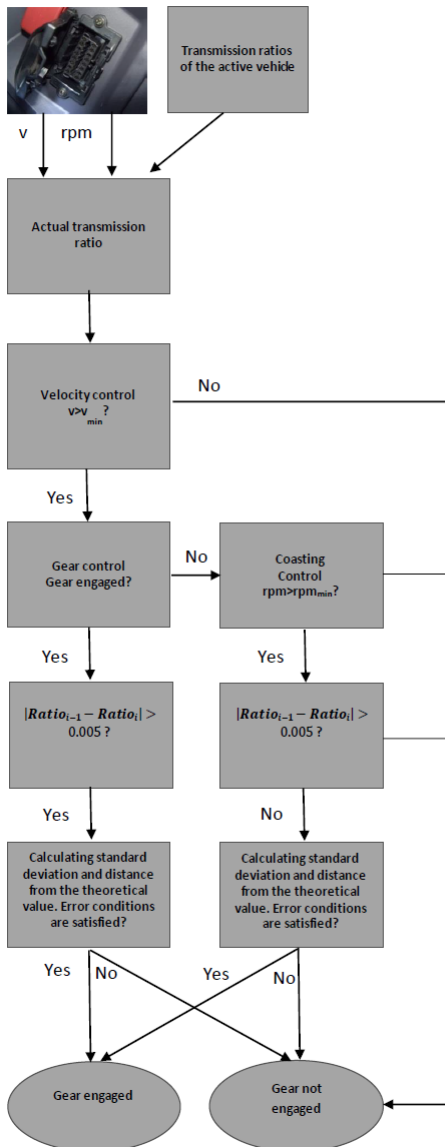


Figura 83 Diagramma di flusso cambio marcia

8.6 Modello del folle

L'identificazione della guida a velocità basse del veicolo è molto difficile per l'elevata discretizzazione dell'errore. In buona parte questo problema può risolversi tramite l'utilizzo di algoritmi di filtraggio. Per risolverlo del tutto si è sviluppato un modello dinamico del motore a folle il quale è capace di predire la derivata della velocità del motore come una funzione della velocità del motore e del carico sul pedale. Comparando i dati predetti e quelli misurati sarà possibile distinguere quando è inserita o meno la marcia. Il modello che si è implementato parte da una serie di dati di input quali il numero di giri e il carico sull'acceleratore in determinati istanti di tempo. I dati raccolti sono stati opportunamente filtrati.

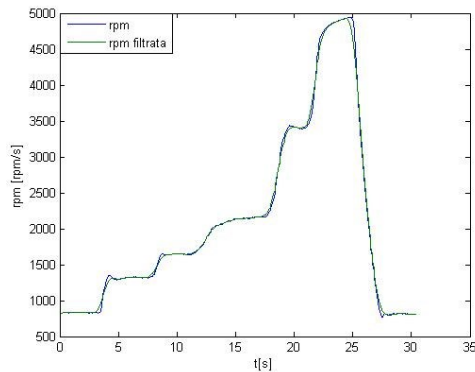


Figura 84- Confronto tra i dati relativi al numero di giri con e senza filtro

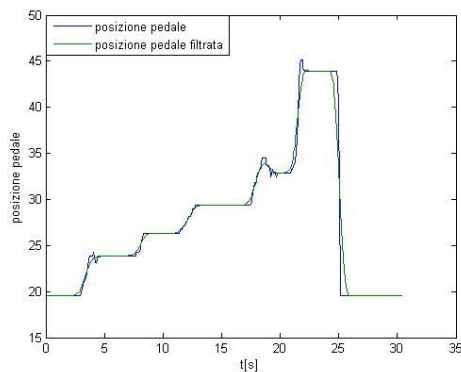


Figura 85- Confronto tra i dati relativi al carico sull'acceleratore con e senza filtro

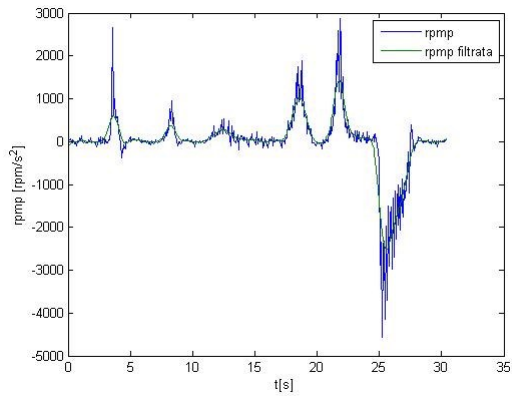


Figura 86- Confronto tra la derivata del numero di giri calcolata con e senza filtro

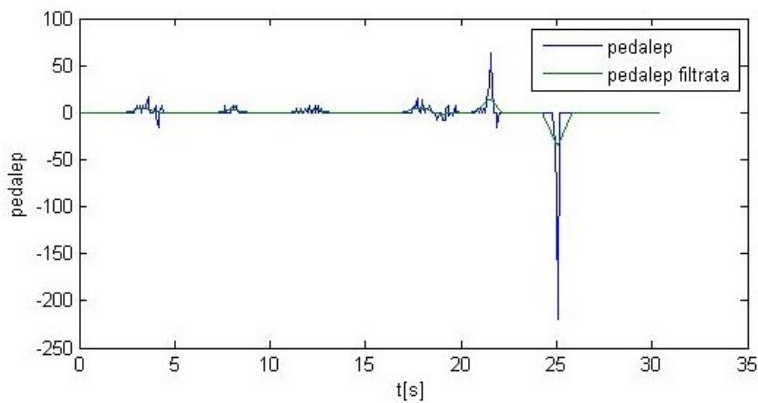


Figura 87- Confronto tra la derivata del carico sull'acceleratore calcolata, con e senza filtro

8.6.1. Implementazione modello

Prima di procedere all'identificazione della variazione del numero di giri in funzione del tempo è necessario esprimere quest'intervallo di tempo come:

$$dt = k_0 + \frac{60k_1}{rpm}$$

Dove il primo termine k_0 rappresenta il ritardo legato alla catena di attuazione, mentre il secondo termine esprime il tempo legato alla esecuzione dei cicli del motore: con rpm si indica il numero di giri e k_1 è una costante intera positiva, in questo caso assunta pari a 2. Per costruire il modello dinamico, è necessario mettere in relazione i dati di input (pedale e numero di giri) all'istante t con il dato di output (derivata del numero di giri) all'istante $t+dt$. Poiché l'intervallo dt non coincide necessariamente con l'intervallo intercorrente tra due misure, si è reso necessario calcolare tale valore attraverso interpolazione, effettuata tramite una funzione predefinita di MATLAB, *INTERP1*.

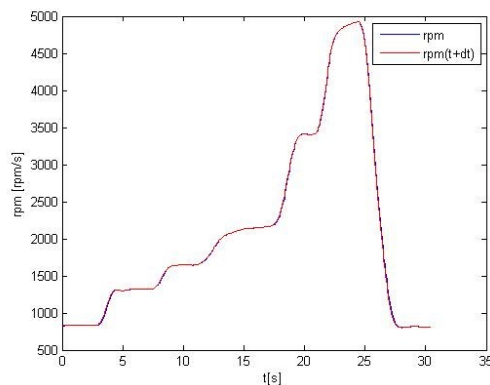


Figura 88- Confronto tra la funzione rpm secondo i dati acquisiti e quella interpolata

Ingrandendo l'immagine è possibile confrontare i valori di rpm valutati all'istante t e $t+dt$. Si noti che l'intervallo dt è funzione decrescente di rpm .

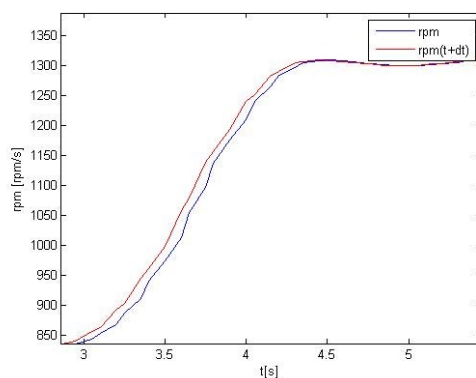


Figura 89 Ingrandimento del grafico precedente

La stessa operazione è stata effettuata sulla derivata calcolata del numero di giri.

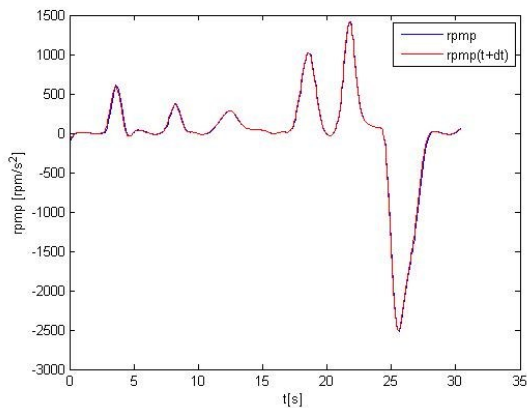


Figura 90- Confronto tra la derivata del numero di giri con e senza il ritardo

E' stato possibile identificare i parametri del modello utilizzando la funzione *REGRESS* di MATLAB. Una volta assegnati in una matrice *A* i parametri di input, la funzione è in grado di calcolare i coefficienti ad essi associati e i relativi *intervalli di confidenza*. In statistica, quando si stima un parametro, la semplice individuazione di un singolo valore è spesso non sufficiente. È opportuno allora accompagnare la sua stima con un intervallo di valori plausibili per quel parametro, che viene definito intervallo di confidenza (o intervallo di fiducia). Chiaramente, essendo un modello di tipo sperimentale, non si conoscono a priori quali siano le variabili indipendenti che influenzano l'output da trovare, in questo caso la derivata del numero di giri. E' stato necessario dunque provare a inserire nella matrice degli input le variabili indipendenti per capire quali siano quelle che effettivamente influiscono sull'output.

A seguito della sperimentazione si è ricavata una relazione del tipo:

$$rpm = k_1 rpm + k_2 rpm^2 + k_3 rpm^3 + k_4 p^2 + k_5 \dot{p} + k_6 p * rpm + k_7 \dot{p} * rpm$$

Dove:

- *rpm* è il numero di giri
- *p* è il carico sul pedale
- $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ e k_7 sono i valori delle costanti trovati da MATLAB validi nei relativi intervalli di confidenza

In particolare le costanti trovate sono incluse, con una probabilità del 95% nei seguenti intervalli di confidenza:

1. $-3.1996 < k_1 < -2.9064$
2. $0.0012 < k_2 < 0.0015$
3. $-0.0000 < k_3 < -0.0000$
4. $6.4385 < k_4 < 7.4897$
5. $94.1242 < k_5 < 131.3890$
6. $-0.0748 < k_6 < -0.0559$
7. $-0.0297 < k_7 < -0.0212$

La funzione trovata con la tecnica di regressione, che corrisponde alla derivata del numero di giri predetta, è rappresentata in verde, insieme ai limiti della regione di confidenza.

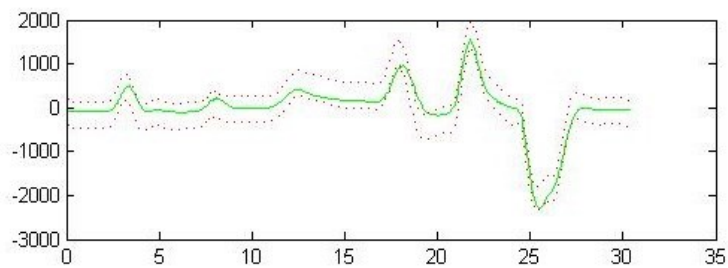


Figura 91- In verde è rappresentata la funzione derivata del numero di giri, in rosso e tratteggiati sono rappresentati i limiti della regione di confidenza

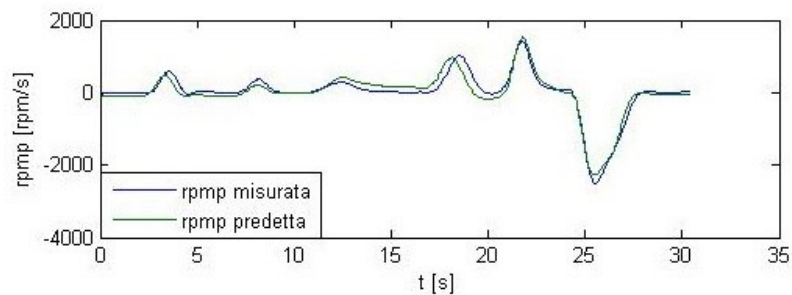


Figura 92- Confronto tra la derivata predetta e quella calcolata

Di seguito si fornisce il codice MATLAB utilizzato:

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%DATI%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dati=load(file);

rpm=dati(:,1);
pedale=dati(:,2);
t=dati(:,3);
n=length(t);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CALCOLO
DERIVATE%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Backward difference estimate for rpmp
rpmp_cd= diff(rpm)./diff(t);
rpmp_cd(n)=rpmp_cd(n-1);

%Backward difference estimate for pedalep
pedalep_cd= diff(pedale)./diff(t);
pedalep_cd(n)=pedalep_cd(n-1);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FILTRAGGIO%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
b=ones(1,10)/10;
c=1;
rpmnew=filtfilt(b,1,rpm);
pedalenew=filtfilt(b,1,pedale);
rpmpnew=filtfilt(b,1,rpmp_cd);
pedalepnew=filtfilt(b,1,pedalep_cd);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%   CALCOLO   DATI   SFASATI   DI
DT%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
k=3;

for i=1:n-1
    dt(i)=k*60/(rpmnew(i));
    rpmpnew1(i)=
interpl(t,rpmpnew,t(i)+dt(i),'linear');
    rpmpnew1(i)= interpl(t,rpmpnew,t(i)+dt(i),'linear');

```

```

end
rpmnew1(n-(k+1):n)=rpmnew1(n-(k+1));
rpmnew1(n-(k+1):n)=rpmnew1(n-k-1);
rpmnew1=rpmnew1';
rpmnew1=rpmnew1';

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%REGRESS%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
rpm=rpmnew1;
pedale=pedalnew;
pedalep_cd=pedalepnew;
A=[ones(n,1) pedalep_cd pedalep_cd.^2 rpm pedale
pedale.^2];
[b bint r rint]=regress(rpmnew1,A);

rpmppred=A*b;
rpmppsup=A*b-rint(:,1);
rpmppinf=A*b-rint(:,2);
err=norm(rpmppred-rpmnew1)
bint

```

Una volta noti questi dati ci si è riferiti ad un ciclo guida reale.

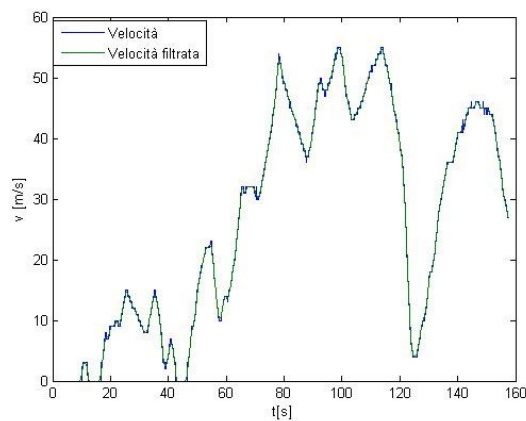


Figura 93 - Confronto tra velocità e velocità filtrata in un caso di guida reale

Dopo aver calcolato la derivata del numero di giri, si è confrontata quest'ultima con quella che si avrebbe se fossimo stati a folle.

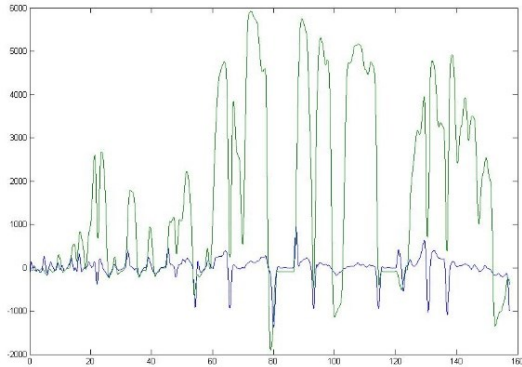


Figura 94 - Confronto tra la derivata di rpm per un ciclo di guida reale e quella relativa ai coefficienti trovati in precedenza

Confrontando tali due grafici (dai quali si può dedurre le situazioni di folle e di partenza da fermo) si nota come in caso di marcia non innestata i due andamenti siano simili, mentre quando la marcia è innestata questi si discostano di valori maggiori di $2 \cdot 10^2$ [rpm/s]. Prendendo questo valore di errore come riferimento, è possibile, almeno in prima approssimazione, individuare gli istanti di innesto marcia, come desiderato.

Si nota come, a differenza di quanto avveniva con l'uso di algoritmi precedentemente sviluppati e basati sui rapporti di trasmissione, in questo caso la marcia innestata venga individuata anche alle basse velocità.

Questo lavoro ha permesso quindi di individuare un criterio di identificazione delle condizioni di folle in funzione della la derivata del numero di giri.

8.7 Sviluppo Software on line

Successivamente è stato sviluppato un software per il test su strada in LabView. In questo modo è stato possibile calcolare il tempo reale della marcia inserita attraverso la porta OBD usando l'algoritmo sviluppato. Per questo scopo è stato utilizzato la funzione "Matlab script", che consente di integrare i file matlab, con opportune modifiche, in LabView per essere in grado di elaborare i dati in tempo reale da parte del sistema OBD e per visualizzare la marcia inserita su un

notebook. L'algoritmo è stato testato su diversi cicli reali effettuati sul prototipo FIAT Grande Punto.

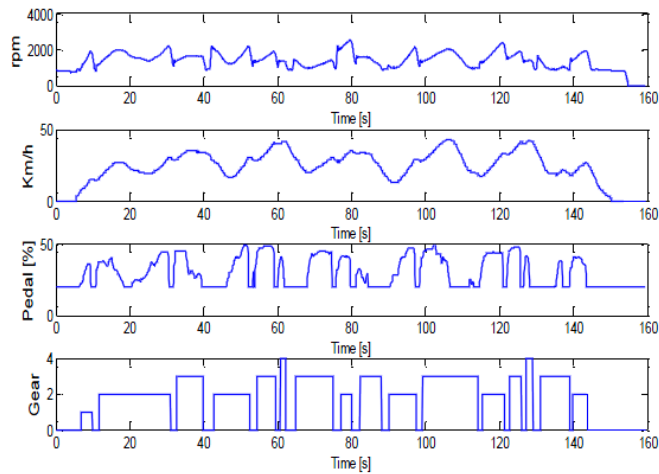


Figura 95- Numero di giri del motore; velocità del veicolo; posizione del pedale; marcia inserita

Una videocamera digitale è stata posta sopra la leva del cambio per registrare la marcia attiva e il tempo di cambio marcia.

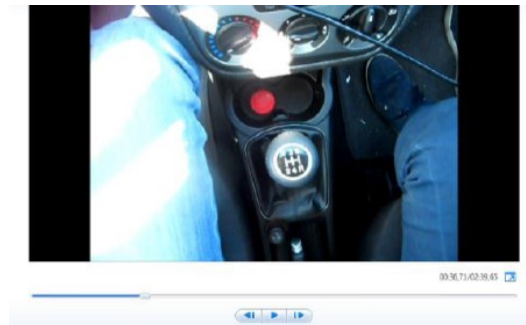


Figura 96- Vista dalla videocamera

Un confronto tra i profili temporali del video e del modello ha confermato che l'algoritmo è abbastanza preciso nella rilevazione del cambio. Inoltre il tempo di calcolo del modello è compatibile con i vincoli temporali posti dalla acquisizione

dei dati. Dalla Figura 76 si può notare un notevole accordo tra i dati calcolati e quelli misurati.

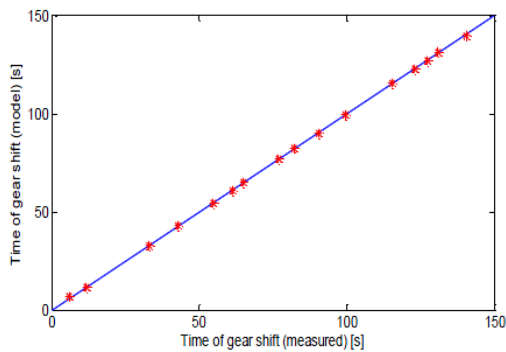


Figura 97-tempo di cambio marcia sul video vs tempo di cambio marcia sui dati

Infine è stato calcolato l'errore definito come:

$$e = t_{gv} - t_{gd}$$

Dove t_{gv} è il tempo di ogni cambio sul video e t_{gd} è il momento del cambio stesso sui dati. L'errore massimo è 0,9504 ed è stato ottenuto in condizioni di partenza da fermo in prima marcia, condizioni che sono risultate problematiche per la rilevazione sin dal principio.

La presenza di un errore è dovuta anche al fatto che la marcia è inserita dopo il rilascio della frizione e in quel momento il valore della rapporto di trasmissione è molto oscillante.

Senza considerare il primo cambio marcia l'errore scende a 0.7840.

Il prossimo passo da compiere per ottenere un migliore risultato consiste nel calcolare i parametri del modello tramite un approccio di ottimizzazione. Per questo scopo possono essere definite due funzioni: $g^*(t)$ che descrive la marcia inserita nel video e $g(t,p)$ che descrive la marcia inserita predetta dal modello. Definendo una funzione errore e andandola a minimizzare agendo sui parametri p è possibile trovare soluzioni sicuramente migliori.

CAPITOLO 9

LA DINAMICA LONGITUDINALE

Lo studio del controllo del moto longitudinale di un veicolo è stato perseguito a diversi livelli da parte di ricercatori e produttori automobilistici. Numerosi sono, infatti, i sistemi attualmente disponibili sulle comuni autovetture che regolano e controllano l'andamento del veicolo. Di seguito verranno forniti alcuni esempi di sistemi automatici di regolazione del moto di una vettura:

- **Cruise Control:** E' un sistema di regolazione elettronico della velocità. Il pilota seleziona una velocità desiderata ed essa viene mantenuta, compatibilmente con le condizioni di assetto della vettura stessa. Veicoli di alta qualità possiedono, con un costo aggiuntivo, anche la possibilità di limitare automaticamente la distanza dal veicolo che precede. Quando il cruise control è attivato, il veicolo frena automaticamente per mantenere la distanza. Questo funziona tramite una videocamera frontale integrata o un sistema radar. Nel caso in cui il veicolo che precede, esegua una forte frenata, il veicolo con il sistema attivato si prepara anch'esso ad un arresto d'emergenza.
- **ABS (Antilock Breaking System):** elimina il bloccaggio e quindi la scivolata di un automezzo durante la frenata. In assenza di ABS, durante una forte frenata, il veicolo sbandava, non rispondendo più allo sterzo e ai freni. Un pilota esperto poteva far fronte a questa situazione con una frenatura ad intervallo. L'ABS misura costantemente la velocità di rotazione di ogni ruota del veicolo motorizzato e comunica il risultato ad un calcolatore. Questo, a sua volta, confronta la velocità di rotazione tra tutte le ruote. Se la velocità di rotazione di una ruota diminuisce nettamente rispetto alle altre, significa che quella ruota sta per bloccarsi. In quest'evenienza, arriva un impulso alla centralina di comando (Pompa ABS), per la fornitura di una minore pressione idraulica frenante su quella ruota. Questa pressione viene ridotta, fino a quando la velocità di rotazione di tutti i pneumatici è identica. Il conducente si accorge del

lavoro dell'ABS per il pulsare del suo pedale frenante e per il tipico rumore che produce l'ABS. In questo modo si è in grado di ridurre notevolmente lo spazio di frenata. Questo sistema, fu brevettato nel 1978 dalla Bosch e ad oggi è obbligatorio su tutti i veicoli in circolazione.

- **Sistemi di controllo della trazione:** Questi sistemi, noti con sigle diverse, agiscono in genere sugli impianti di alimentazione e accensione del motore, riducendo l'erogazione di potenza indipendentemente dalla posizione dell'acceleratore. I sistemi più raffinati intervengono sul freno della ruota che incomincia a pattinare. Se ciò non basta, iniziano a togliere potenza al motore. In genere si utilizzano i medesimi sensori dell'ABS, del quale costituiscono, sotto il profilo della sicurezza attiva, la naturale espansione.

9.1 Schematizzazione forze

Le dinamiche del veicolo sono influenzate dalla forza di tiro sugli pneumatici, dalla resistenza aerodinamica, dalla resistenza al rotolamento (che contiene in sé sia la componente di attrito radente che quella volvente) e ovviamente dalla forza gravitazionale. Consideriamo ora un veicolo che si muove su una strada inclinata.

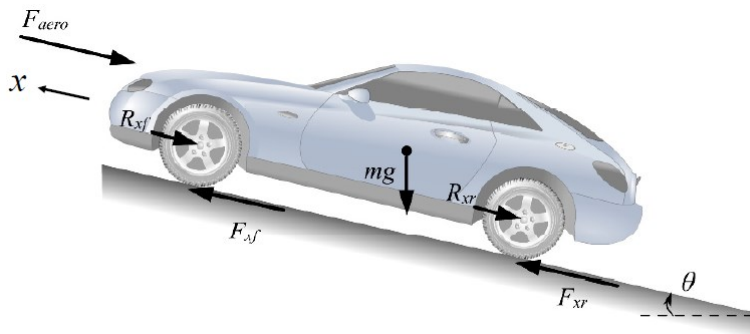


Figura 51-Schematizzazione forze agenti su un veicolo in moto

Dove:

- F_{aero} è la forza di attrito aerodinamico
- F_{xf} è la forza di tiro delle ruote anteriori
- F_{xr} è la forza di tiro delle ruote posteriori
- R_{xf} è la forza dovuta alla resistenza al rotolamento delle ruote anteriori
- R_{xr} è la forza dovuta alla resistenza al rotolamento delle ruote posteriori
- m è la massa del veicolo (compreso conducente e carburante)
- g è l'accelerazione di gravità
- ϑ è l'inclinazione del piano stradale

L'angolo ϑ è definito positivo nel senso orario quando il senso di marcia del veicolo è da sinistra verso destra. Altresì è definito positivo nel senso antiorario quando il verso di marcia del veicolo è da destra verso sinistra.

Bilanciando le forze sull'asse delle ascisse otteniamo:

$$m\ddot{x} = F_{xf} + F_{xr} - F_{aero} - R_{xf} - R_{xr} - mg \sin \vartheta$$

Che è l'equazione generale della dinamica longitudinale del veicolo.

La stessa equazione può essere riscritta in termini di coppia:

$$T_{drive} = inertia * \frac{d\omega}{dt} + T_{resw}$$

Dove:

- T_{drive} è la coppia richiesta alle ruote
- $inertia = m * r^2 + I_w$ è l'inerzia del sistema veicolo-ruote
- r è il raggio delle ruote
- I_w è l'inerzia delle ruote
- $\frac{d\omega}{dt}$ è l'accelerazione angolare

- $T_{resw} = T_{aero} + T_{roll} + T_{mg}$ è la coppia resistente data dalla somma, rispettivamente, della coppia aerodinamica, della coppia resistente dovuta al rotolamento e della coppia dovuta alla forza peso

9.2 Modello della dinamica longitudinale

A partire dall'equazione della dinamica longitudinale del veicolo è stato sviluppato un modello in ambiente Matlab che, utilizzando una serie di dati in ingresso (quali velocità, tempo di percorrenza, pendenza della strada e marcia inserita), fornisce in uscita la potenza, la coppia richiesta alle ruote e la coppia al motore. Nella formulazione dell'equazione della dinamica longitudinale si sono trascurate le inerzie ridotte e si è assunto che il tratto stradale fosse piano.

Il modello in ambiente di lavoro Matlab risolve le seguenti equazioni:

$$T_{drive} = inertia * \frac{d\omega}{dt} + T_{resw}$$

$$T_{eng} = T_{drive} * \tau$$

$$Power = T_{drive} * \omega$$

Dove:

T_{drive} è la coppia alle ruote espressa in Nm ;

T_{eng} è la coppia del motore ancora espressa in Nm ;

$Power$ è la potenza richiesta espressa in KW ;

$inertia = m * r^2 + I_w$ è l'inerzia del sistema veicolo-ruote espressa in $kg * m^2$;

m è la massa del sistema veicolo-ruote motorizzate-passeggero espressa in kg ;

r è il raggio delle ruote espresso in m ;

I_w è l'inerzia delle ruote espressa in $kg * m^2$;

$\frac{d\omega}{dt}$ è l'accelerazione angolare in $\frac{rad}{s^2}$;

T_{resw} è la coppia resistente totale espressa in Nm ;

τ è il rapporto di trasmissione al cambio che varia al variare della marcia inserita;

ω è la velocità angolare in $\frac{rad}{s}$.

Per il calcolo della dinamica longitudinale del veicolo è stata creata una funzione di Matlab. Lo script è il seguente:

```
function [power,tdrive,teng]=vehicledyn2(uin)
omegaw=v/3.6/rr; %[rad/s]
%%%% resistance torque at wheels [Nm] %%%%%%
taer = rr * (0.5 * cx * sez * rhoair) * (rr*omegaw)^2; %aerodynamic torque
if omegaw>0,
    troll = rr * f0 * wweight * g ;%rolling torque
    tmg = rr * wweight * g * sin(slope); %shape resistance
else
    troll=0;
    tmg=0;
end
tresw = taer + troll + tmg;
%%%%% inertial term at wheels %%%%%%%%%%%
inertia = wweight * rr^2;
domegawdt = dvdt/3.6/rr;
tinertia=inertia * domegawdt;
%%%%%%%%% ouputs %%%%%%%%%%%
tdrive = inertia * domegawdt + tresw;
power = tdrive*omegaw / 1000;
%%%%%%%%% output at crankshaft %%%%%%%%%%
if gear>0
    teng=tdrive*rapporti_trasmissione_punto(gear);
else
    % inserire valore di coppia per cambio a folle
    teng=0;
end
return
```

Nome Parametro	Significato
omegaw	Velocità angolare ruote
taer	Forza aerodinamica
rr	Raggio ruote
cx	Coefficiente di attrito aerodinamico
rhoair	Densità dell'aria ambiente
troll	Resistenza al rotolamento
wweight	Massa veicolo
tmg	Forza peso
inertia	Inerzia delle ruote
domegawdt	Accelerazione angolare
tdrive	Coppia alle ruote
power	Spinta motopropulsore
teng	Coppia al motore

9.3 Risultati della dinamica longitudinale in modalità di guida puramente termica

L'acquisizione dei dati attraverso il software Labview in un percorso eseguito all'interno del campus dell'Università degli Studi di Salerno e la successiva elaborazione in ambiente di lavoro Matlab ha fornito i seguenti risultati per un dato profilo di velocità per quanto riguarda la dinamica longitudinale:

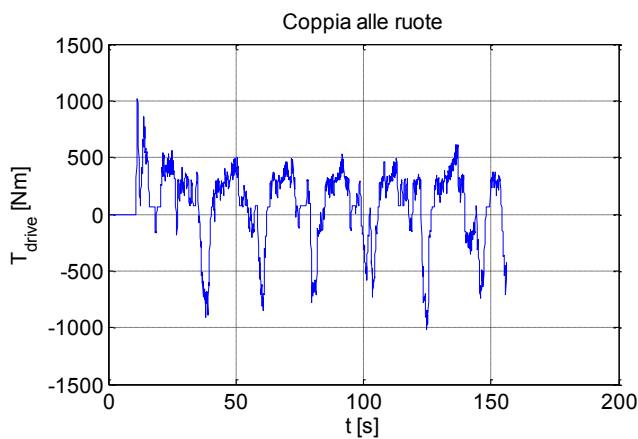


Figura 56-Profilo di coppia alle ruote nel tempo

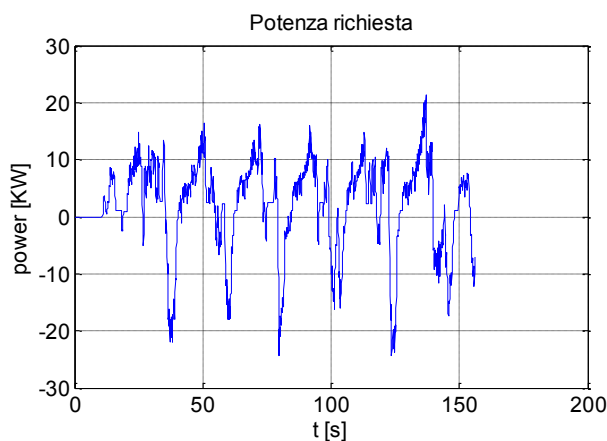


Figura 57-Profilo di potenza richiesta nel tempo

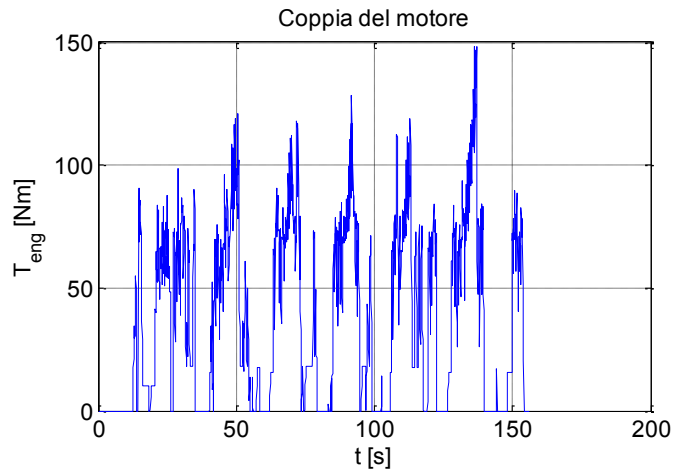


Figura 58-Profilo di coppia del motore nel tempo

In definitiva i risultati ottenuti tramite l'equazione della dinamica longitudinale sono riportati in maniera sintetica di seguito per un dato profilo di velocità e per modalità di guida **puramente termica**:

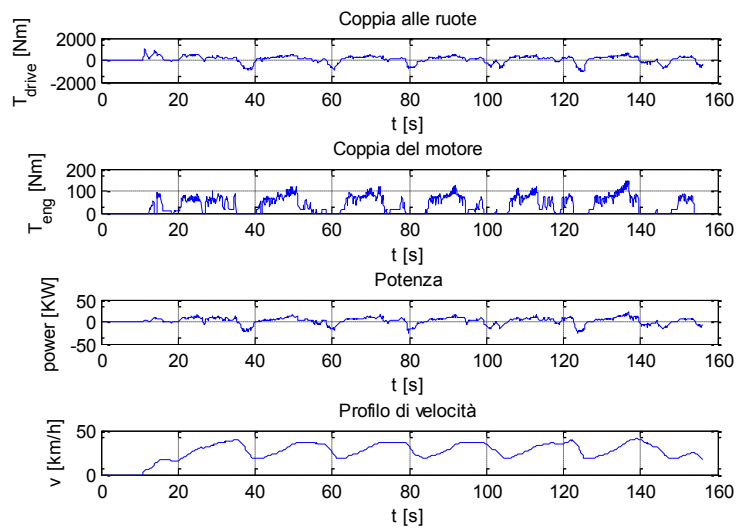


Figura 59-Profilo nel tempo di coppia alle ruote, coppia del motore, potenza e velocità

9.4 Forza aerodinamica e coefficiente di attrito aerodinamico

Si focalizzi l'attenzione sulla forza aerodinamica. Essa è per definizione:

$$F_{aero} = \frac{\rho}{2} C_d A_f (V_x + V_{wind})^2$$

Dove:

- ρ è la densità dell'aria
- C_d è il coefficiente di attrito aerodinamico
- A_f è l'area frontale (perpendicolare al senso di marcia) del veicolo
- V_x è la velocità del veicolo stesso e V_{wind} è la velocità del vento.

Le condizioni atmosferiche influenzano la densità dell'aria, e conseguentemente anche la resistenza aerodinamica. Comunemente vengono utilizzate delle condizioni atmosferiche standard relative alla temperatura ($T = 15^\circ C$) e alla pressione ($p = 101.32 \text{ kPa}$). La corrispondente densità dell'aria, sotto queste condizioni, vale: $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

L'area frontale A_f è compresa tra il 79 e l'84% della superficie calcolata in base alla larghezza e all'altezza del veicolo. E' possibile utilizzare una relazione empirica che lega l'area frontale alla massa del veicolo. Secondo *Wang 2001*, la seguente relazione è utilizzabile allorquando la massa del veicolo è compresa tra gli 800 e i 2000 kg.

$$A_f = 1.6 + 0.00056 * (m - 765)$$

Considerando una massa complessiva del veicolo di 1300 kg, si ottiene un'area frontale pari a 1.84 m^2 che si discosta del 7% rispetto al valore ufficiale suggerito dalla FIAT.

Il coefficiente di attrito aerodinamico C_d può essere ricavato tramite una prova di coast-down [29]. In una prova del genere, il veicolo viene fatto fermare partendo da una velocità diversa da zero su una strada a pendenza nulla. Il

veicolo, che non sarà soggetto ad alcuna forza di tiro (la vettura viene prima lanciata e poi lasciata in folle), dopo un certo periodo T si fermerà, a causa dell'attrito aerodinamico e della resistenza al rotolamento. Sotto queste condizioni, l'equazione della dinamica longitudinale si semplifica:

$$-m \frac{dV_x}{dt} = \frac{1}{2} \rho C_d A_f V_x^2 + R_x$$

O:

$$\frac{dV_x}{\frac{\rho A_f C_d V_x^2}{2m} + \frac{R_x}{m}} = dt$$

$$t = \sqrt{\frac{2m^2}{\rho A_f C_d R_x}} \left\{ \tan^{-1} \left[V_0 \left(\frac{\rho A_f C_d}{2R_x} \right)^{\frac{1}{2}} \right] - \tan^{-1} \left[V_x \left(\frac{\rho A_f C_d}{2R_x} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

Essendo T il periodo entro il quale il veicolo si fermerà completamente (senza l'utilizzo dei freni), usiamo il parametro adimensionale β :

$$\beta = V_0 \left(\frac{\rho A_f C_d}{2R_x} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Per poi arrivare alla formula definitiva:

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1}{\beta} \tan \left[\left(1 - \frac{t}{T} \right) \tan^{-1} \beta \right]$$

In questa equazione il valore della velocità iniziale V_0 è noto, così come le varie velocità V_x relative a ogni istante di tempo t . L'unica incognita è la costante adimensionale β . Una volta trovato β , è poi facilmente possibile ricavare i coefficienti di attrito aerodinamico C_d e il coefficiente di resistenza al rotolamento R_x :

$$C_d = \frac{2m\beta \tan^{-1} \beta}{V_0 T A_f \rho}$$

$$R_x = \frac{V_0 m \tan^{-1} \beta}{\beta T}$$

9.5 Identificazione parametri

Come visto in precedenza, possiamo mettere in relazione sia il coefficiente d'attrito aerodinamico C_d , sia la resistenza al rotolamento R_x con il parametro adimensionale β ricavato dall'equazione della dinamica longitudinale del veicolo, opportunamente semplificata in base alle nostre condizioni di lavoro. Si palesa necessaria, ai fini del calcolo del coefficiente C_d , la stima del parametro β . Per ricavare questo parametro si è implementato un programma su *Matlab*, che stimi dapprima il parametro β e di conseguenza il coefficiente C_d a partire da una serie di dati ricavati da una prova di coast-down effettuata in precedenza acquisita tramite la porta OBD. Per poter avere una prova quanto più corretta possibile, si è avuta la necessità di trovare un rettilineo in pianura, poco trafficato. La vettura, per una prova di coasting, non doveva essere assolutamente frenata (né tantomeno accelerata) se non dalle resistenze aerodinamiche e d'attrito. Nel raccogliere i dati necessari, si sono dovuti affrontare una serie di problemi dovuti alla sensibilità della misurazione dei dati riguardanti la velocità e altre problematiche relative al disturbo del segnale.

9.5.1. Discretizzazione dei dati relativi alla velocità

Come già detto, il software è in grado di restituire solo valori interi di velocità. Ciò va a discapito dell'implementazione del nostro algoritmo. Per avere delle risposte soddisfacenti, bisogna cercare di avere una curva della velocità quanto più vicina alla realtà. Il grafico della velocità, in funzione del tempo, per un corpo che si muove a decelerazione costante deve essere, teoricamente, una retta a pendenza costante che parte da un valore iniziale pari alla velocità di lancio V_0 per poi arrivare a velocità nulla. Per ovviare a tale problema si è utilizzato il software *Multiecuscan* che è in grado di restituire valori anche discreti di velocità:

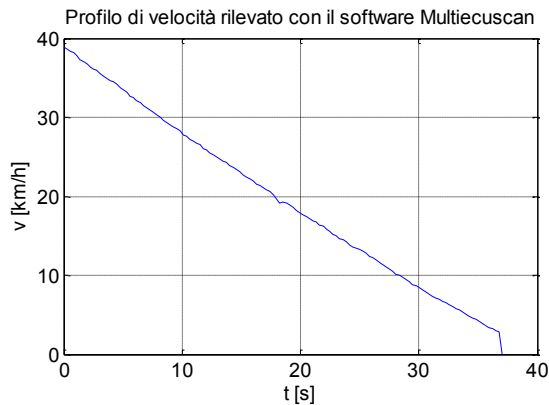


Figura 53-Profilo di velocità in una prova di coast-down rilevato con Multiecuscan

9.5.2. Problema del rumore

Per quanto accurata possa essere la prova su strada da noi effettuata, la sua precisione non raggiungerà mai quella di un test effettuato ad esempio in un'apposita pista sgombra di veicoli, perfettamente orizzontale, dove vengono annullate, o quantomeno minimizzate al massimo, tutte le possibili cause di interferenza dell'ambiente col veicolo. Su strada, infatti, sono presenti alcuni fattori di disturbo come la velocità del vento o la presenza di dossi, che inevitabilmente alterano la raccolta dati. I dati ricavati sono, in definitiva, affetti da "rumore".

In generale, il rumore è un segnale non desiderato, di origine naturale o artificiale, che si sovrappone all'informazione trasmessa o elaborata in un sistema, alterando la percezione delle informazioni.

In molte applicazioni, infatti, è necessario rimuovere da una serie di dati il "rumore" che ad essi si sovrappone. Questo al fine di estrarre il segnale vero da una serie di misure sperimentali o di smorzare le fluttuazioni contenute nei dati delineandone un andamento più regolare e interpretabile. Vi è una vasta letteratura sul problema della *noise-reduction* e sono disponibili numerose tecniche al riguardo.

9.5.3. Implementazione algoritmo

Conseguenza indesiderata del rumore è il brusco e repentino cambiamento di pendenza del profilo di velocità nel tratto finale della prova. Infatti, a basse velocità il software non è in grado di interpretare in maniera accettabile i segnali perdendo la sua capacità di discriminazione.

Per risolvere il problema del rumore relativo alle misurazioni, si è cercato di riprodurre l'andamento principale del profilo di velocità anche nel tratto finale dove la percezione dell'informazione è alterata dal segnale di "rumore". Si è usata una funzione di Matlab (*polyfit*), la quale è in grado di trovare i coefficienti p di un polinomio $P(x)$ di grado N che riproduce al meglio l'andamento dei dati Y (vettore di velocità). Noti i coefficienti p , attraverso il comando *polyval* riusciamo a riprodurre quello che sarebbe dovuto essere l'andamento del profilo di velocità nel tratto finale della prova:

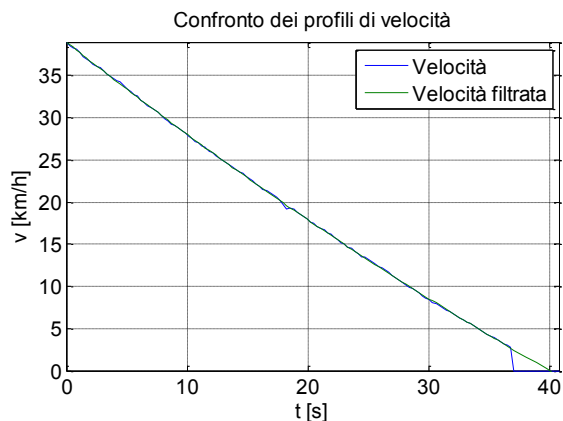


Figura 54-Confronto tra il profilo di velocità rilevato e il profilo di velocità filtrato

Dal grafico è possibile notare come la funzione velocità, corretta col filtraggio dati, segua in linea di massima l'andamento generale della funzione velocità iniziale.

9.5.4. Ricerca del parametro β

Una volta sistemata la questione relativa alla velocità, si è ora in grado di procedere con la stima del parametro β , fulcro attorno al quale ruotano i valori C_d ed R_x . Richiamiamo ora la relazione già precedentemente trovata tra le variabili tempo e velocità e il parametro β .

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1}{\beta} \tan \left[\left(1 - \frac{t}{T} \right) \tan^{-1} \beta \right]$$

Dove V_x sono i valori delle velocità relativi all'istante t . Quindi per ogni coppia di valori di tempo e velocità, esisterà un determinato β .

Per ricavare il valore di β si è scelto di operare minimizzando lo scarto tra le due funzioni

$$\frac{V_x}{V_0} \text{ e } \frac{1}{\beta} \tan \left[\left(1 - \frac{t}{T} \right) \tan^{-1} \beta \right]$$

grazie alla funzione *fminsearch*, che è in grado di ricercare un minimo locale a partire da un intorno stabilito.

In questo modo si è giunti al valore ideale di β per il quale le due funzioni (menzionate sopra) risultano essere quasi coincidenti, come testimonia il grafico:

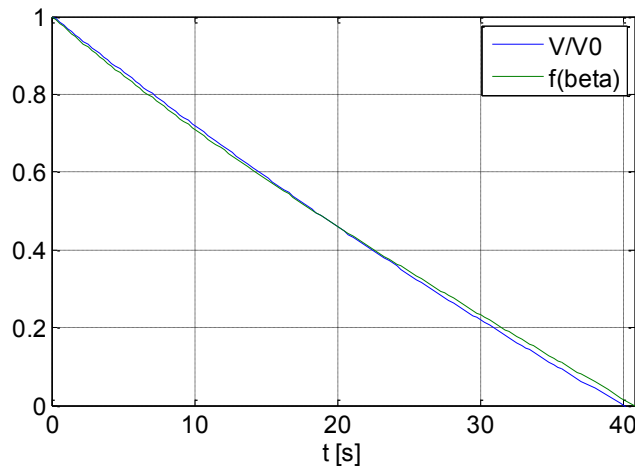


Figura 55-Lo scarto tra la curva in blu e quella in verde è stato ridotto tramite la funzione *fminsearch*

9.5.5. Stima del coefficiente di attrito aerodinamico e della resistenza al rotolamento

Una volta ricavato il valore di θ , bisogna determinare altri dati che influiscono sul valore del coefficiente d'attrito aerodinamico quali la densità dell'aria ρ (alla temperatura di 15°C e alla pressione di 101.32 kPa vale 1.225 kg/m^3) e l'area frontale A_f . Come già detto in precedenza, è possibile evitare di misurare l'area frontale del veicolo e relazionarla invece alla sua massa. La massa di un veicolo è, infatti, un dato maggiormente accessibile per ogni utente a differenza invece dell'area frontale in sé. La formula, di origine empirica, a cui ci riferiamo è:

$$A_f = 1.6 + 0.00056 * (m - 765)$$

che fornisce un valore dell'area frontale A_f che si discosta di circa il 7% rispetto al valore ufficiale suggerito dalla casa automobilistica.

Nel valore della massa va considerato, oltre al peso della vettura in sé, il peso del guidatore e del carburante. Considerando che la massa di una FIAT GRANDE PUNTO si aggira intorno ai 1170 kg senza il kit applicato, si è stimato che il peso complessivo della vettura, del pilota, dei passeggeri, del carburante e del kit si aggiri intorno ai 1650 kg. In sintesi, i dati costanti che influiscono sul coefficiente di attrito aerodinamico sono:

Temperatura atmosferica	15°C
Pressione atmosferica	101.32 kPa
Densità dell'aria	1.225 kg/m^3
Massa del veicolo	1650 kg

Con i suddetti dati, siamo ora in grado di calcolare i valori di C_d tramite l'espressione:

$$C_{d1} = \frac{2m\theta \tan^{-1} \theta}{V_0 T A_f \rho} = 0.3486$$

Sono state effettuate altre due prove di coastdown che hanno restituito i seguenti valori di C_d :

$$C_{d2} = \frac{2m\theta \tan^{-1} \theta}{V_0 T A_f \rho} = 0.3580$$

$$C_{d3} = \frac{2m\theta \tan^{-1} \theta}{V_0 T A_f \rho} = 0.3399$$

Il valore medio di C_d è per cui pari a 0.3489.

Il valore trovato si discosta di circa il 2,6 % dal valore ufficiale suggerito dalla FIAT (il valore indicato è di 0.34). Infine, i valori trovati di resistenza al rotolamento, sono di seguito riportati:

$$R_{x1} = \frac{V_0 m \tan^{-1} \theta}{\theta T} = 1379.7 [N]$$

$$R_{x2} = \frac{V_0 m \tan^{-1} \theta}{\theta T} = 1232.2 [N]$$

$$R_{x3} = \frac{V_0 m \tan^{-1} \theta}{\theta T} = 1154.9 [N]$$

CAPITOLO 10

CONTROLLO VEICOLO HSK

Come detto precedentemente, gli obiettivi del trattamento dei dati rilevati dalla porta OBD sono stati i seguenti:

1. Rilevare se la marcia è stata inserita
2. Rilevare se il conducente sta per salire o scalare di marcia
3. Stimare la coppia del motore, in particolare valutare se è necessaria una coppia frenante o motrice per le ruote motorizzate.

A tal fine a partire dagli algoritmi illustrati nei capitoli precedenti è stato sviluppato, in ambiente LabVIEW, un programma per il controllo real time dell'autoveicolo.

10.1 Software real-time

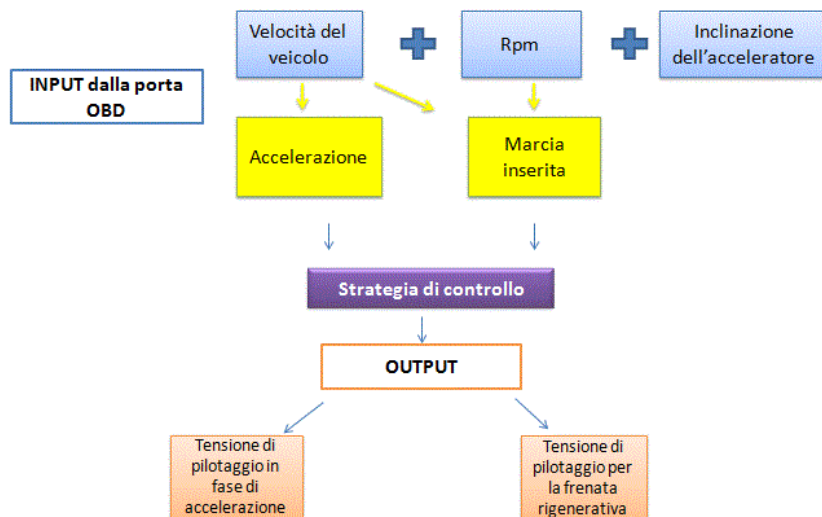


Figura 98 Diagramma di controllo

Il SW real-time, implementato in ambiente LabView, prendendo ed elaborando i dati dalla porta OBD (velocità, numero di giri del motore, carico pedale acceleratore, MAF), permette la gestione del sistema di controllo delle ruote motorizzate in maniera automatica a seconda delle situazioni di guida. Il programma è costituito da un Front panel (l'interfaccia tra il programma e l'utilizzatore) e dal relativo Block Diagram che contiene il codice nella forma di diagramma a blocchi.

Nella figura successiva è riportato il front panel del software real time; Il programma attraverso la porta OBD permette l'acquisizione in tempo reale del numero di giri del motore, della posizione del pedale, della velocità del veicolo. Questi dati vengono visualizzati a video.

Come si osserva possiamo accendere e spegnere la batteria, abilitare e disabilitare i motori, stabilire il senso di marcia dei motori, stabilire la velocità di attivazione delle ruote motorizzate e stabilire l'intensità della frenata rigenerativa.

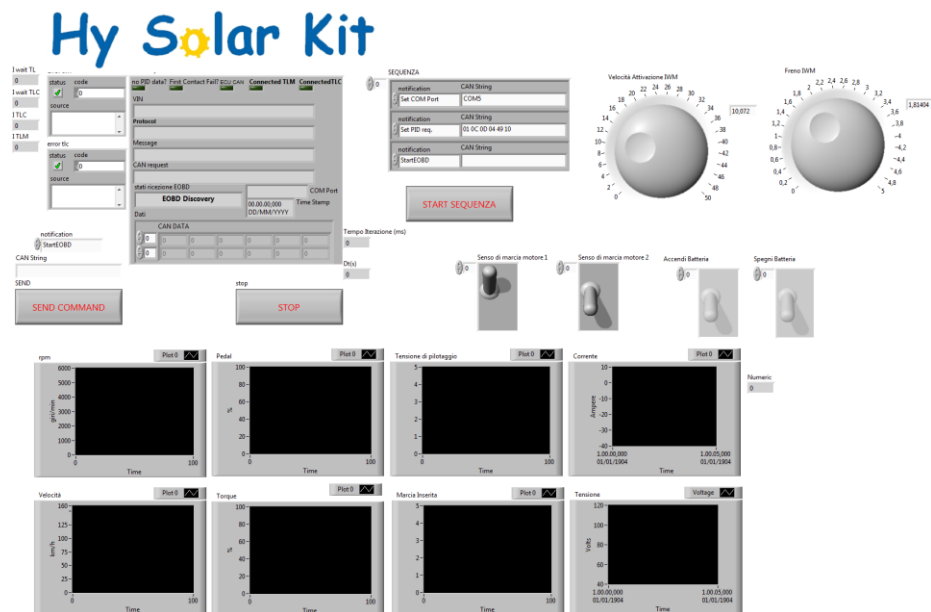


Figura 49-Front Panel software real-time

Passiamo alla descrizione del codice matlab scritto all'interno della funzione Matlab Script:



```
MATLAB script
rpm=P1;
v=P2;
load=P3;
pedal=P4;
mat=P5;
p=[-6.57728239311691e-12 9.16938576480506e-08
rapporti_trasmissione_punto:[0.0834 0.1554 0.2412
bb=[-2242.865057191717 -26.2899601502700 0.49946

if v==0
tdrive=0;
else
tdrive=bb(1)+bb(2)*v+bb(3)*v^2+bb(4)*rpm+bb(5);
end

coppiaobd=load*polyval(p,rpm)/100;
dpedal=(P4-P4prec)/dt;
dipm=(P3-P3prec)/dt;
consumo=0.0021*(mat*load)+1.5167;
tf=t+dt;

xx=[20 100]
yy=[0 4]
pvpil=polyfit(xx,yy,1)

if rpm>0 &&& pedal>20 &&& v>vatt
att=1;
vpil=0.4+polyval(pvpil,pedal);
brake=0
elseif rpm==0 &&& pedal>20
att=1;
vpil=0.3+polyval(pvpil,pedal);
brake=0
elseif rpm>0 &&& pedal<20 &&& v<10
att=0;
vpil=0;
brake=0
else
att=0;
vpil=0;
brake=bbrake
end

bbrake;
vatt;
t;
P1;
P2;
P3;
P4;
P3prec;
P4prec;
P2prec;
P5;
marciaprec;
rapportoprec;
vettore_di_varianza;
contamarcefogli;
bbrake;
vatt;
t;
pedal;
b;
bst;
rpm;
marca;
rapporto;
contamarcefogli;
drive;
rpm;
load;
brake;
Marcia_inserita;
mat;
```

Figura 50-Codice di Matlab

La marcia viene ricavata secondo quanto detto nei capitoli precedenti, l'accelerazione viene calcolata direttamente nella strategia di controllo definendo il rapporto incrementale della velocità tra due istanti precedenti al cambio di marcia. Gli istanti di tempo per acquisire i valori della velocità richiesti dal rapporto incrementale, sono stati scelti opportunamente per via sperimentale. La conoscenza della velocità in quegli istanti, implica che questi valori una volta letti, vengano salvati. Per questa necessità, nel Block Diagram in Labview, è stato creato un buffer che salva i valori della velocità negli istanti richiesti. Creare dei buffer per salvare i dati però, implica un rallentamento della lettura del codice, per cui non si è andati oltre 20 valori di acquisizioni. Questi valori vengono aggiornati volta per volta nel prosieguo della guida. Per altri motivi successivamente presentati, sono stati creati buffer anche per il pedale dell'acceleratore, il tempo, la marcia inserita nella guida e la coppia agente sul veicolo.

All'interno dell'if sono riportate sotto forma di codice le diverse modalità di guida:

- Ibrida
- Puro elettrico

10.1.1. Modalità ibrida

Nella modalità ibrida i motori elettrici si comportano in base allo stato di guida:

- Se la marcia è inserita forniscono potenza in fase di accelerazione ed effettuano la frenata rigenerativa se il conducente frena.
- Se la marcia non è inserita si valuta l'andamento precedente del veicolo:
 - se precedentemente il conducente stava accelerando allora risulta possibile un cambio marcia in salita.
 - Se nonostante precedentemente all'istante considerato il conducente stava accelerando e ora il veicolo non aumenta la propria velocità, si prevede una scalata di marcia da parte del pilota per richiedere maggiore potenza.

Nel caso una delle due condizioni si verifica i due motori elettrici si attivano, altrimenti rimangono spenti;

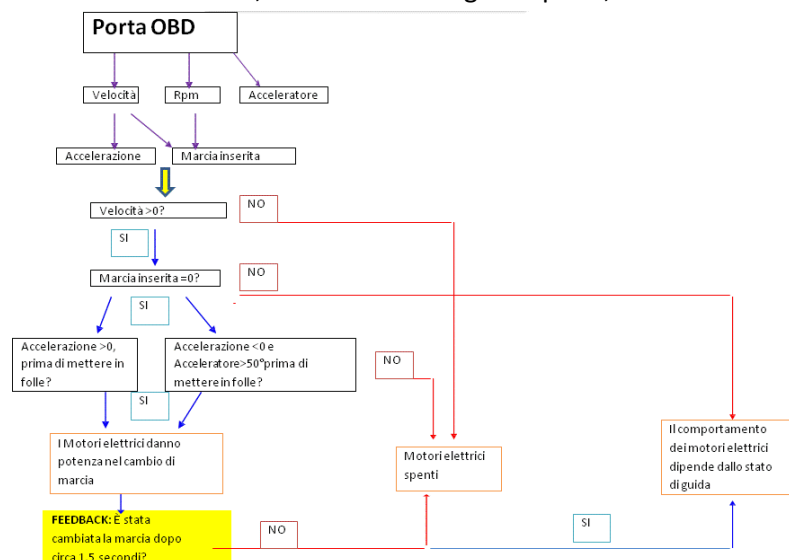


Figura 99 Diagramma di flusso per la predizione del cambio marcia

Analizziamo nel dettaglio le condizioni per l'attivazione:

Prima condizione:

1. $Rpm > 0$
2. $dpedal > 0$ (fase di accelerazione)
3. $pedal > 20$ (posizione del pedale sopra allo zero teorico)
4. $v > 10$ (velocità di riferimento maggiore di 10 km/h , impostabile dall'utente)
5. $gear > 0$

Al verificarsi di queste 5 condizioni le ruote elettriche si attiveranno al raggiungimento della velocità di riferimento di 10 km/h e la tensione di pilotaggio istantanea è definita come:

$$vpil = 0.4 + polyval(pvpil, pedal)$$

Dove:

$pvpil$ sono i coefficienti della retta passante per i punti A (20,0) e B (100,4) definita nel piano Posizione pedale acceleratore-Tensione di pilotaggio.

Seconda condizione:

Questa identifica l'avanzamento del veicolo a velocità crescente caratterizzato dall'acceleratore non premuto (per esempio una discesa). In tal caso viene effettuata una lieve frenata rigenerativa, che simula un freno motore aggiuntivo. Il valore 0,5 non è ottimizzato, ma ciò sarà fatto negli sviluppi futuri del kit.

$\frac{vel1-vel10}{tempo1-tempo10}$ = identifica il rapporto incrementale della velocità in due istanti di tempo definiti.

Terza condizione:

Le variabili inserite tengono conto di un avanzamento del veicolo sopra i 70 km/h con una marcia superiore alla terza. Essendo il kit destinato ad un uso prevalentemente cittadino con lo scopo di limitare le emissioni del motore

termico, questa condizione disattiva i motori elettrici per evitare consumi inutili. Infatti, il motore termico in queste situazioni generalmente presenta rendimenti alti, quindi è preferibile sfruttare solo la sua propulsione.

Quarta condizione e quinta condizione:

Queste condizioni individuano sul veicolo una coppia decrescente, con il pedale premuto oltre la metà dell'inclinazione massima. Questa condizione simula un percorso nel quale con la marcia inserita, nonostante venga premuto l'acceleratore in modo considerevole, il veicolo avanzi a velocità decrescente. Di conseguenza il conducente potrebbe decidere di inserire una marcia inferiore per fornire maggior potenza all'autovettura. Per cui risulterà utile che i motori elettrici nel cambio di marcia forniscano la coppia necessaria per non perdere eccessiva velocità ed aiutare il veicolo lungo questo percorso.

Sesta e settima condizione:

Queste condizioni rappresentano ciò che avviene quando si vuol cambiare marcia in avanti, per incrementare la velocità. In tal caso il valore della tensione di pilotaggio è stato posto pari ad uno. Questo valore deriva dal fatto che in un percorso cittadino laddove le velocità si limitano ai 50-60 km/h, questo valore risulta più che sufficiente a garantire il buco di coppia che si avrebbe in questa fase. Questo valore è stato provato e scelto sperimentalmente sul veicolo.

La settima condizione, invece, indica che se tale cambio di marcia non avviene nel giro di 1,5 secondi, i motori elettrici si spengano. Non è detto, infatti, che il conducente voglia inserire subito la marcia. Può anche verificarsi che il cambio di marcia avvenga in modo lento e si renda necessario bloccare i motori elettrici per evitare, quelli che in tal caso saranno, sprechi di energia. Senza questa condizione e verificata la otto, si corre il rischio che i motori diano sempre coppia scaricando la batteria inutilmente.

10.1.2. Modalità elettrica

Nel secondo caso invece è stato imposto:

1. $rpm = 0$
2. $dpedal > 0$

3. $pedal > 20$

In questa modalità di puro elettrico la tensione di pilotaggio è stata calcolata come segue:

$$vpil = 0.3 + polyval(pvpil, pedal)$$

10.1.3. Frenata rigenerativa

In entrambi i casi precedenti è stata imposta la frenata rigenerativa. Quando il pedale dell'acceleratore è completamente rilasciato è possibile ricaricare il pacco batteria avendo preimpostato l'intensità della frenata rigenerativa tramite la relativa manopola inserita nel front panel. In seguito saranno illustrate altre strategie di frenata più complesse ed analizzati i risultati in termini di energia elettrica recuperata.

CAPITOLO 11

PROVE SPERIMENTALI

Si procede ora ad illustrare i risultati delle prove sperimentali condotte a bordo del veicolo ibrido solare all'interno del campus. Il percorso piano di 2.1 km, situato all'interno del campus dell'Università degli Studi di Salerno, su cui è stato eseguito il test dei consumi è rappresentato in figura:



Figura 84-Vista dall'alto del tracciato su cui sono state eseguite le prove

11.1 Risultati in modalità di guida puramente elettrica

I risultati ottenuti tramite l'equazione della dinamica longitudinale sono riportati in maniera sintetica di seguito per un dato profilo di velocità e per una modalità di guida **puramente elettrica**:

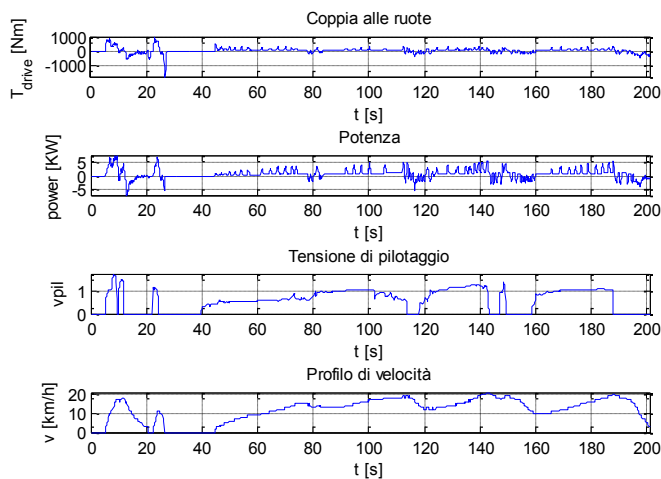


Figura 67-Coppia alle ruote, potenza, tensione di pilotaggio e velocità

In modalità di funzionamento in solo elettrico è di interesse significativo anche l'andamento della “**tensione di pilotaggio**” v_{pil} (vedasi figura precedente) delle ruote motorizzate che è legata linearmente alla posizione del pedale dell'acceleratore e che varia tra 0 (quando il pedale è a riposo) e 5 V (quando è completamente premuto).

Realizzando ulteriori prove in modalità di guida puramente elettrica, con v_{pil} costante e pari a 0.5, sono state calcolate attraverso il modello della dinamica longitudinale coppia e potenza:

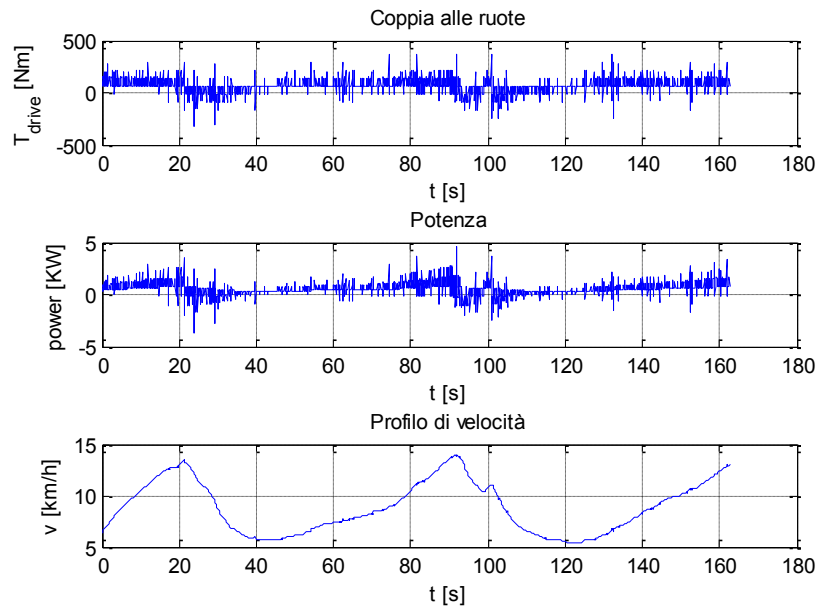


Figura 68-Profili nel tempo di coppia alle ruote, potenza e velocità per $v_{pil}=0.5$

Il valore massimo di coppia alle ruote calcolato è risultato essere pari a 295,55 Nm, mentre il valore medio pari a 54,25 Nm.

Il valore massimo di velocità raggiunto all'interno del percorso è risultato di 14,06 km/h, mentre il valore medio di 8,82 km/h.

Eseguendo la prova sullo stesso percorso, in modalità di guida puramente elettrica, con $v_{pil} = 1$, il modello della dinamica longitudinale ha dato, invece, i seguenti risultati:

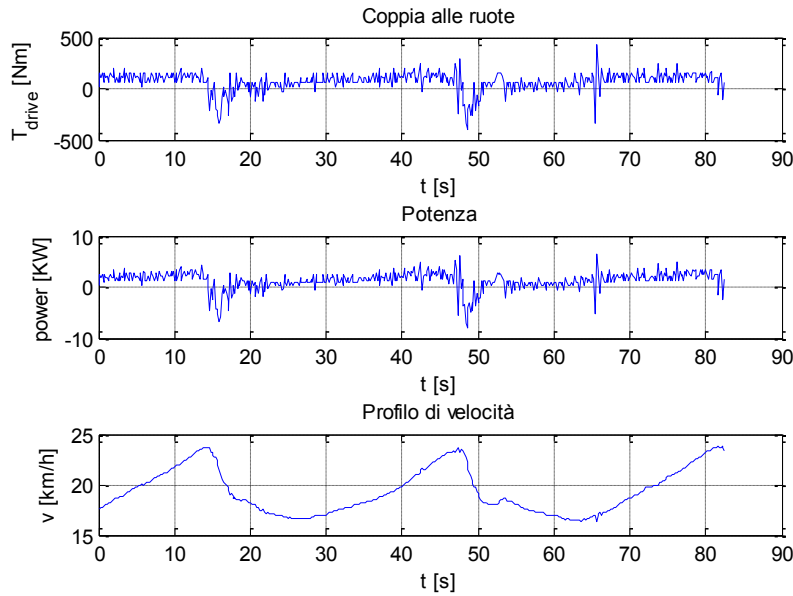


Figura 69-Profili nel tempo di coppia alle ruote, potenza e velocità per $v_{pil}=1$

Il valore massimo di coppia alle ruote calcolato è risultato essere pari a 347,01 Nm, mentre il valore medio pari a 59,28 Nm.

Il valore massimo di velocità raggiunto all'interno del percorso è risultato di 23,81 km/h, mentre il valore medio di 19,36 km/h.

Il passaggio da $v_{pil} = 0,5$ a $v_{pil} = 1$ ha comportato un aumento sia di T_{drive} sia di v come è evidenziato nelle due figure seguenti:

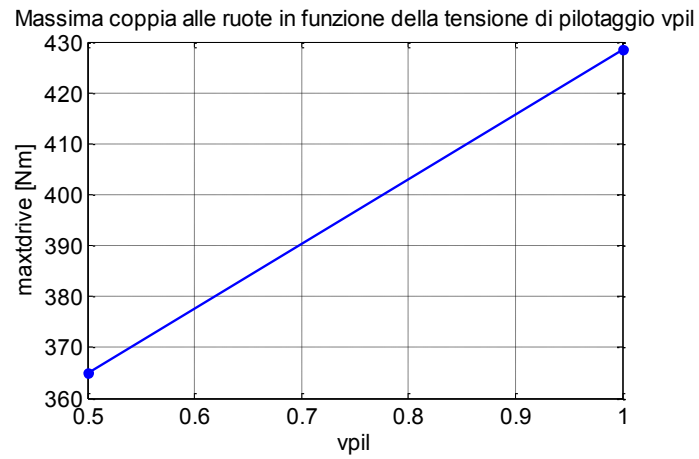


Figura 70-Massima coppia alle ruote registrata al variare di vpil

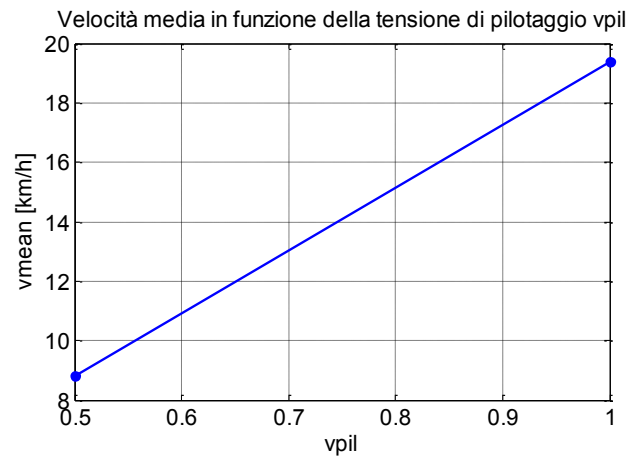


Figura 71-Velocità media registrata al variare di vpil

11.2 Test dei consumi

Eseguendo una prova su strada su di un percorso piano di 2,1 km all'interno del campus dell'Università degli Studi di Salerno è stato rilevato inizialmente, con il software **Multiecuscan**, il profilo di consumo orario di carburante in modalità di funzionamento **puramente termica**:

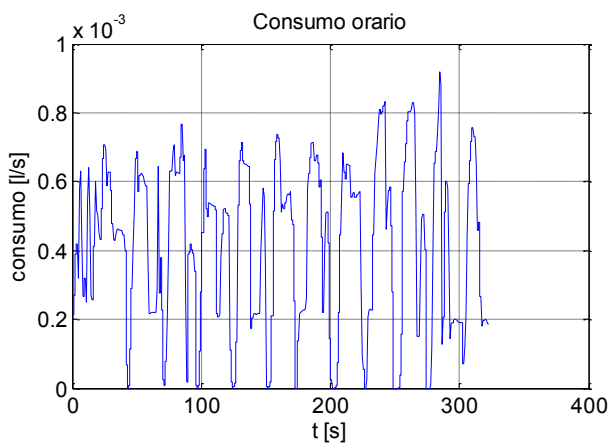


Figura 72-Profilo consumo orario in modalità di guida puramente termica

La prova è stata poi ripetuta in modalità di guida **ibrida**, dapprima con $v_{pil} = 0.5$ e poi con $v_{pil} = 1$:

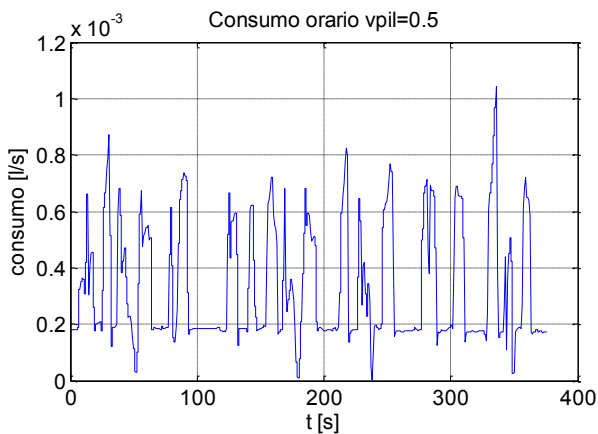


Figura 73-Profilo consumo orario in modalità di guida ibrida con $v_{pil}=0.5$

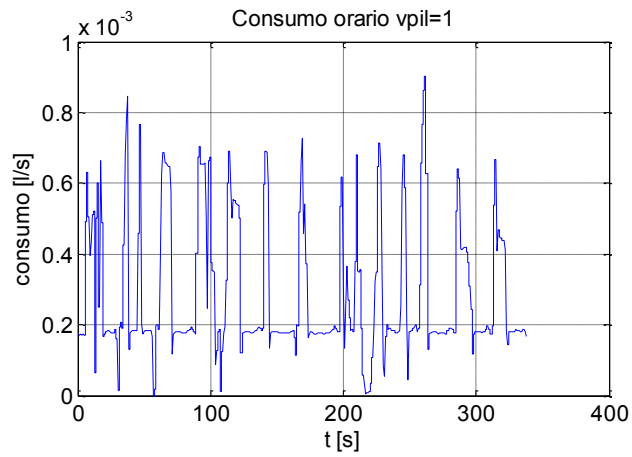


Figura 74-Profilo di consumo orario in modalità di guida ibrida con $v_{pil}=1$

Come era lecito aspettarsi i consumi di carburante calano nel passaggio da funzionamento in solo termico a funzionamento ibrido. In questo caso i migliori risultati in termini di risparmio di carburante si hanno per $v_{pil} = 1$.

Il **consumo complessivo di carburante** sul percorso eseguito al variare della tensione di pilotaggio v_{pil} è stato calcolato come l'integrale nel tempo del profilo del consumo orario di carburante tramite la funzione **trapz** di Matlab ed è illustrato in maniera schematica nel seguente grafico:

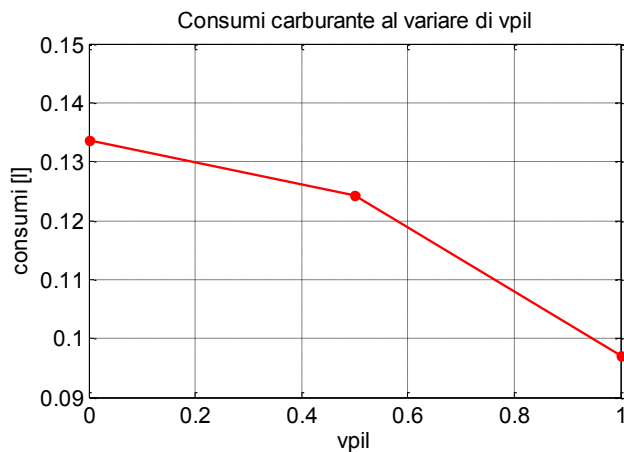


Figura 75-Consumi in litri di carburante al variare di v_{pil}

Tuttavia, per svincolare i risultati dal particolare percorso e profilo di velocità è stato calcolato il **consumo specifico di carburante per unità di energia richiesta** al variare della tensione di pilotaggio v_{pil} :

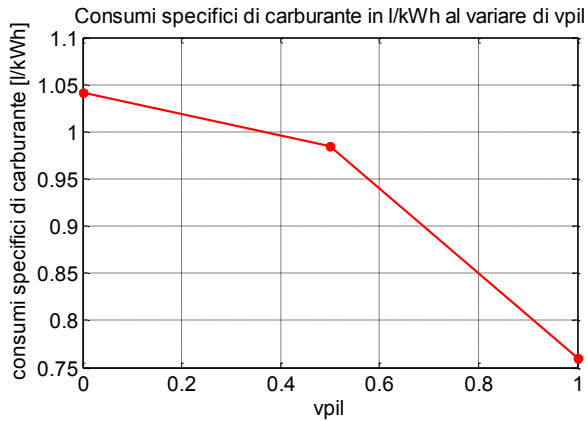


Figura 76-Consumi specifici di carburante per unità di energia richiesta al variare di v_{pil}

Conoscendo il **consumo complessivo di carburante** sul percorso eseguito al variare della tensione di pilotaggio v_{pil} è possibile quantificare il corrispondente esborso economico considerando il prezzo medio del carburante pari a 1.676 €/l:

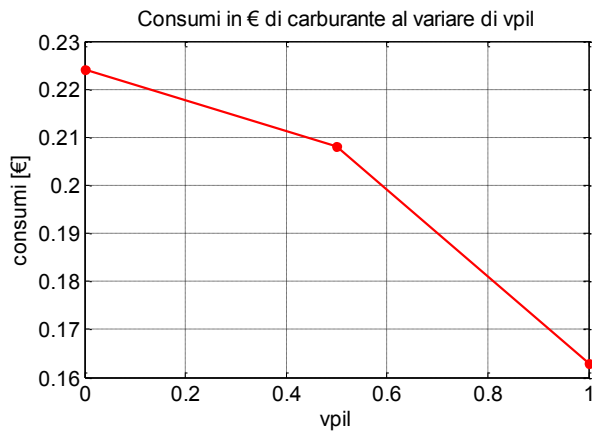


Figura 77-Consumi in € di carburante al variare di v_{pil}

Conoscendo il **consumo specifico di carburante** al variare della tensione di pilotaggio v_{pil} è possibile quantificare anche il corrispondente esborso economico per unità di energia richiesta:

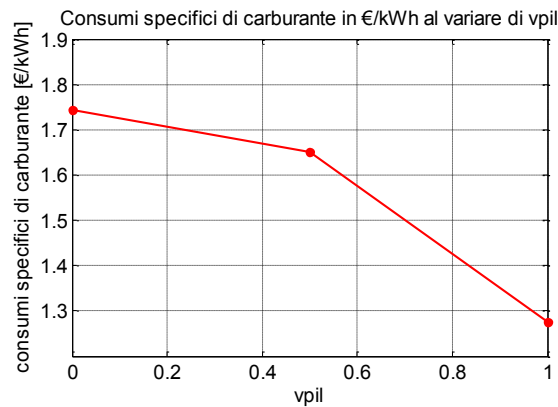


Figura 78-Consumi specifici di carburante in €/kWh al variare di v_{pil}

Per completare l'analisi è stato necessario quantificare la potenza elettrica richiesta dalle due ruote motorizzate nelle due modalità di guida ibrida. Quest'ultima è stata calcolata nel seguente modo:

$$Power(t) = V(t) * I(t)$$

Dove:

$V(t)$ è la tensione misurata nel tempo ed è espressa in V ;

$I(t)$ è la corrente misurata nel tempo ed è espressa in A .

I profili di potenza elettrica richiesta dalle ruote motorizzate nei due casi sono di seguito rappresentati:

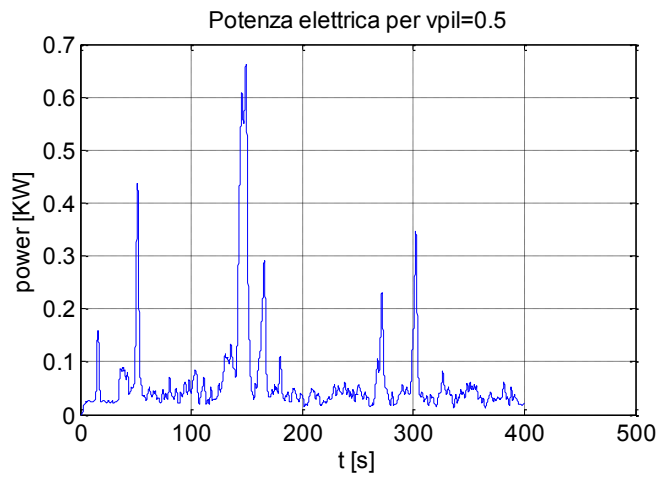


Figura 79-Profilo di potenza elettrica richiesta in modalità di guida ibrida con $v_{pil}=0.5$

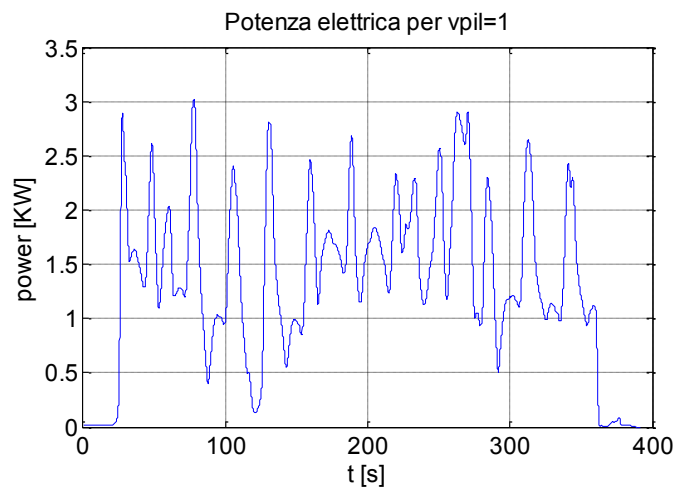


Figura 80-Profilo di potenza elettrica richiesta in modalità di guida ibrida con $v_{pil}=1$

Conoscendo il profilo della potenza elettrica nel tempo di funzionamento è possibile risalire al consumo di energia elettrica (valutandone l'area sottesa alla curva) e quindi all'esborso economico corrispondente considerando un costo medio dell'energia elettrica pari a 0.3070 €/kWh .

Considerando anche l'energia elettrica consumata nelle due modalità di guida ibrida e computando il relativo esborso economico, e sommandolo a quello relativo al consumo di carburante, si ottiene il seguente grafico che mostra come nel passaggio da $v_{pil} = 0$ a $v_{pil} = 0,5$ a $v_{pil} = 1$ i costi si abbattano:

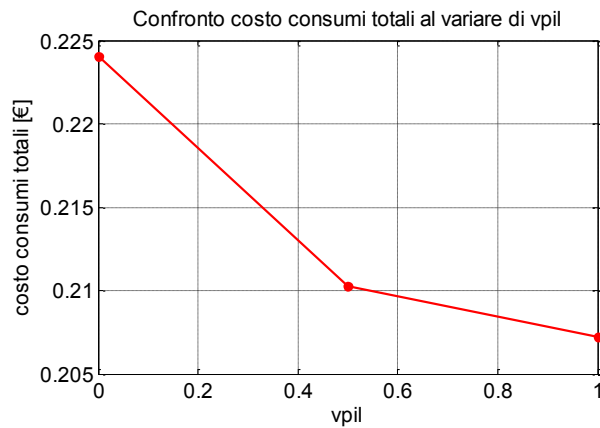


Figura 81-Confronto costo consumi totali al variare di v_{pil}

Come fatto in precedenza, per svincolare i risultati dal particolare percorso e profilo di velocità, sono stati calcolati i *costi dei consumi specifici totali per unità di energia richiesta*:

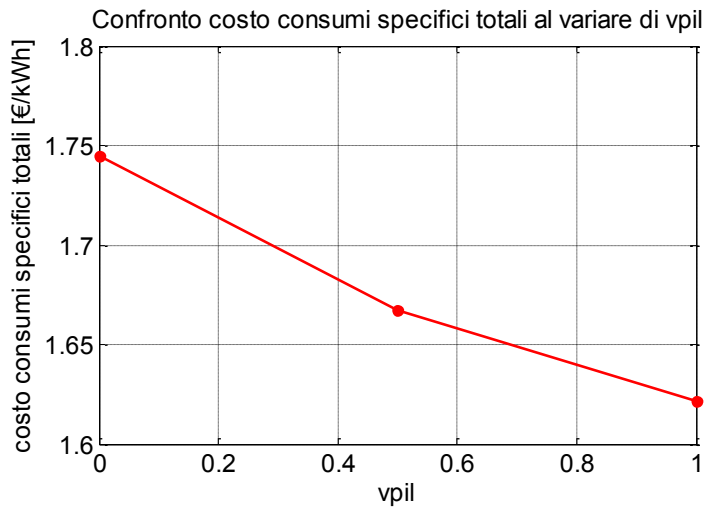


Figura 82-Confronto costo consumi specifici totali al variare di vpil

Sulla base dei risultati ottenuti per un percorso piano di 2,1 km è possibile estendere tali risultati ad un percorso di 100 km. Si tratterà di una stima e perciò sarà affetta da errore:

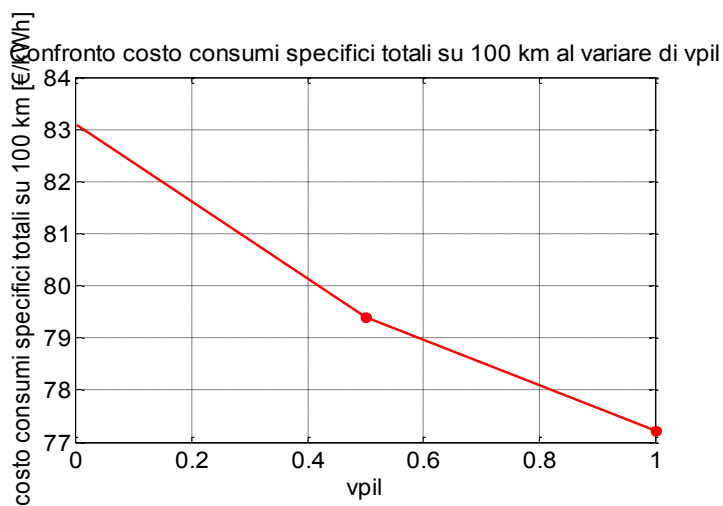


Figura 83-Confronto costo consumi specifici totali su 100 km al variare di vpil

CAPITOLO 12

STRATEGIE DI CONTROLLO DELLA FRENATA

In questo capitolo l'analisi è stata rivolta all'implementazione e validazione sperimentale in *real-time*, sul software Labview, di strategie di controllo della frenata rigenerativa per le due ruote motorizzate. I risultati di quest'analisi saranno schematizzati in un confronto tra la potenza elettrica negativa rigenerata, calcolata come il prodotto di tensione e corrente, e la potenza negativa dissipata, calcolata attraverso le equazioni della dinamica longitudinale del veicolo. Grazie alla frenata rigenerativa, infatti, siamo in grado di recuperare parte dell'energia elettrica che altrimenti verrebbe dissipata. È perciò interessante valutare l'aliquota di energia elettrica recuperata rispetto a quella dissipata per le varie strategie di controllo.

12.1 Strategia di controllo 1: strategia base

Nei capitoli precedenti della presente trattazione è stato già affermato che quando il pedale dell'acceleratore è completamente rilasciato è possibile ricaricare il pacco batteria avendo preimpostato l'intensità della frenata rigenerativa tramite la relativa manopola inserita nel *front panel*. Applicando una strategia di controllo base (manuale) della frenata rigenerativa e aumentando in maniera discreta da 1 a 4 l'intensità della frenata rigenerativa si è ottenuto il seguente profilo di potenza elettrica negativa rigenerata:

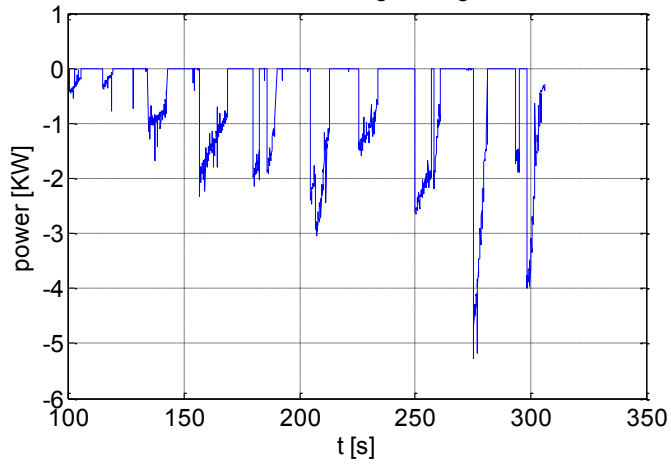


Figura 85-Potenza elettrica rigenerata

Il confronto tra potenza dissipata (in fase di frenata) e potenza rigenerata è illustrato in figura:

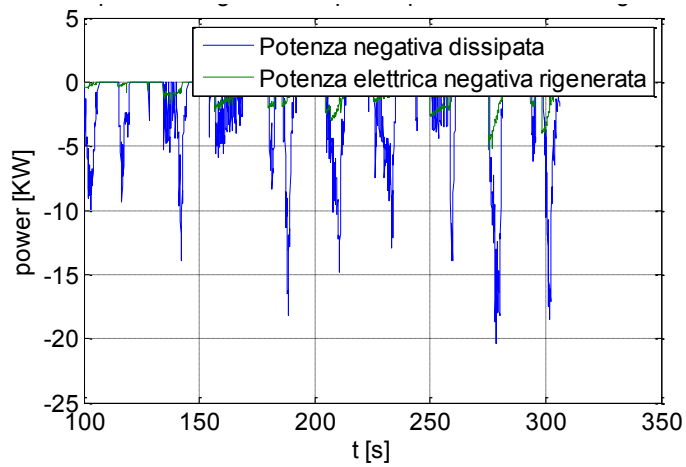


Figura 86-Potenza dissipata vs Potenza elettrica rigenerata

Infine, nello stesso grafico sono stati riportati il profilo del **brake** impostato e il confronto tra potenza dissipata e recuperata:

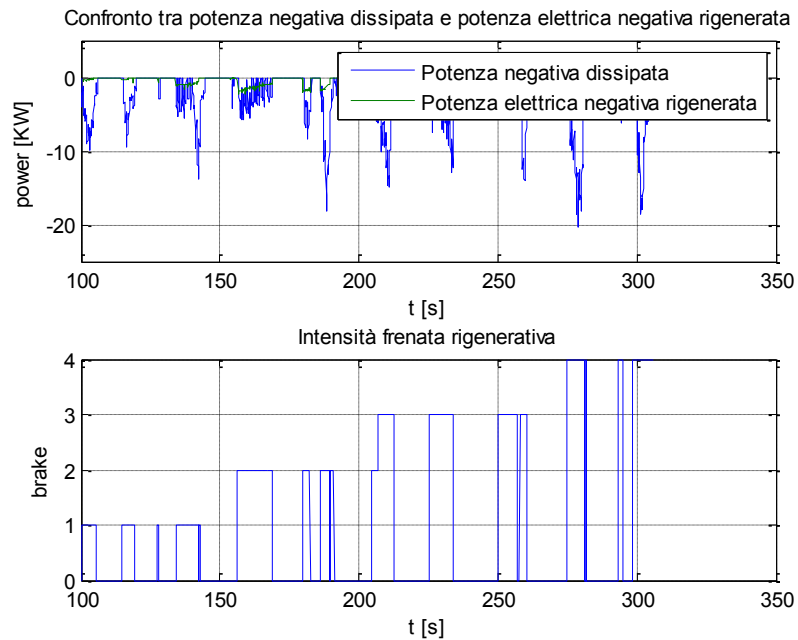


Figura 87-Potenza dissipata vs Potenza rigenerata e corrispondente profilo dell'intensità della frenata rigenerativa

Avendo indicato con R il rapporto tra il picco negativo di potenza elettrica rigenerata e il picco negativo di potenza dissipata sono stati rilevati i seguenti valori di R al variare dell'intensità del **brake**:

$$R_1 = 0,1207$$

$$R_2 = 0,1282$$

$$R_3 = 0,2052$$

$$R_4 = 0,2584$$

Poiché R è un indice della capacità rigenerativa della strategia adottata possiamo dedurre che la capacità rigenerativa aumenta all'aumentare dell'intensità della frenata rigenerativa.

È possibile, inoltre, valutare l'efficienza della strategia di controllo anche in termini economici. Immaginiamo che la frenata rigenerativa non sia abilitata. Questo vuol dire che l'aliquota (negativa) di energia elettrica recuperata non è presente. Valutando i soli costi relativi all'energia elettrica (positiva) spesa in fase di trazione otterremmo quella che è la spesa da sostenere nel caso in cui la frenata rigenerativa non sia abilitata. Valutando, invece, anche l'energia elettrica (negativa) recuperata in fase di rigenerazione è ovvio che il computo dell'energia elettrica richiesta si abbatta notevolmente in quanto l'aliquota di energia elettrica rigenerata viene immagazzinata nel pacco batteria.

Per il calcolo dell'energia elettrica si ricorre sempre alla funzione **trapz** di Matlab che calcola l'integrale della curva di potenza nel tempo. Moltiplicando tale valore per il costo medio dell'energia elettrica pari a 0.3070 €/kWh si ottiene, evidentemente, l'esborso economico corrispondente.

Tenendo conto di queste considerazioni abbiamo quantificato l'esborso economico associato all'energia elettrica spesa senza rigenerazione in 0.0193 €, mentre l'esborso associato all'energia elettrica spesa con frenata rigenerativa abilitata è risultato pari a 0.0093 € con un risparmio percentuale del 51.99 %.

12.2 Strategia di controllo 2: dipendenza a gradino del brake al variare della coppia alle ruote T_{drive}

Aggiungendo nello script di Matlab, inserito nel **Block Diagram** del software per il controllo in **real-time**, delle ulteriori condizioni, è possibile stabilire altre modalità di funzionamento delle ruote elettriche che individuano delle strategie di controllo della frenata rigenerativa. Poiché in fase di frenata la coppia alle ruote diventa negativa possiamo stabilire degli intervalli della T_{drive} (calcolata attraverso il modello ottenuto in precedenza con la regressione polinomiale) e assegnare a ciascun intervallo un valore dell'intensità della frenata rigenerativa (**brake**), riproducendo così una dipendenza a gradino del **brake** dalla coppia alle ruote:

```
elseif tdrive<-20 && tdrive>-100
att=0;
vpil=0;
brake=1;
elseif tdrive<-100 && tdrive>-200
att=0;
vpil=0;
brake=2;
elseif tdrive<-200 && tdrive>-300
att=0;
vpil=0;
brake=3;
elseif tdrive<-300 && tdrive>-400
att=0;
vpil=0;
brake=4;
elseif tdrive<-400
att=0;
vpil=0;
brake=5;
else
att=0;
vpil=0;
brake=0;
end
```

Sul percorso eseguito l'andamento del *brake* e il confronto tra potenza dissipata e potenza elettrica rigenerata sono rappresentati in figura:

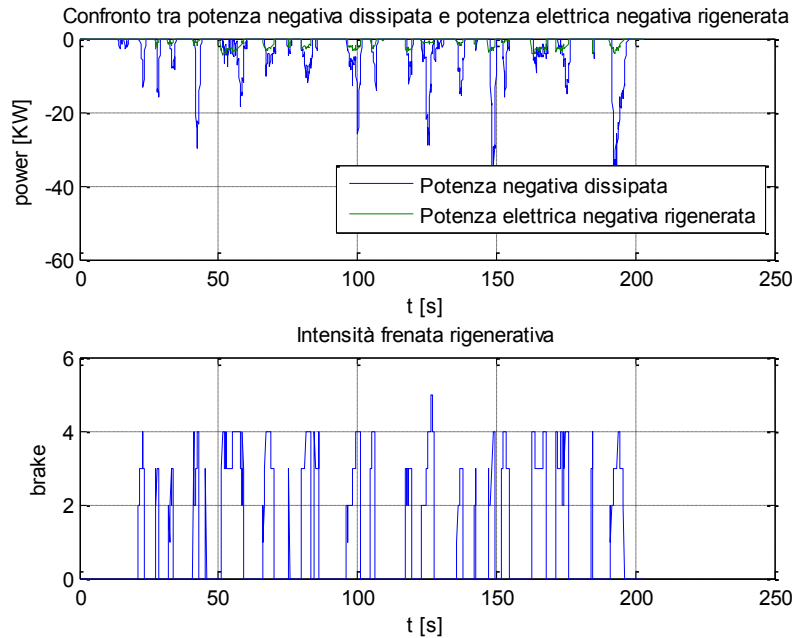


Figura 88-Potenza dissipata vs Potenza rigenerata e corrispondente profilo dell'intensità della frenata rigenerativa

La percentuale di energia rigenerata rispetto a quella dissipata è del 22,56 % e il rapporto tra il picco negativo di potenza elettrica rigenerata e il picco negativo di potenza dissipata R è pari a 0,1084.

Come visto per la prima strategia di controllo, abbiamo valutato la convenienza economica della strategia di controllo. L'esborso economico associato all'energia elettrica spesa senza rigenerazione abilitata sarebbe stato pari a 0.0241 €, mentre l'esborso associato all'energia elettrica spesa con frenata rigenerativa abilitata è risultato pari a 0.0134 €, con un risparmio percentuale del 44.33 %.

12.2.1. Strategia di controllo 2: “guidabilità”

Criteri oggettivi e riproducibili per la determinazione della “guidabilità” del veicolo sono difficili da trovare nella pratica comune. Un ulteriore svantaggio è che nelle prime fasi dello sviluppo del veicolo i test a bordo non sono disponibili, così che le valutazioni sulla **driveability** sono state fatte finora nelle ultime fasi dello sviluppo del veicolo, basandosi su giudizi soggettivi di esperti **test drivers**. A causa del carattere soggettivo di tali valutazioni la loro riproducibilità è tuttavia limitata.

Un metodo più oggettivo per analizzare la **driveability** di un veicolo consiste nel misurare variabili di interesse che descrivono il comportamento di guida; dopo di che nel definire almeno un giudizio indicante la guidabilità dell’auto come una funzione di una o più variabili misurate. Per completezza a ciascun punto di funzionamento dovrebbe essere associata la condizione di esercizio corrente (accelerazione, decelerazione, cambio marcia e così via) in modo da poter riprodurre in un’eventuale simulazione le stesse condizioni di esercizio.

Valutazioni soggettive e oggettive sono ugualmente importanti nella valutazione della “guidabilità” del veicolo. Il test, infatti, si ritiene valido se valutazioni soggettive e oggettive convergono verso lo stesso giudizio.

In definitiva, per valutare la **driveability** associata alla strategia di controllo ci siamo affidati a tre strumenti di misura:

- 1) **Analisi FFT (Fast Fourier Transformation)**: la frequenza in Hz viene tracciata sull'asse orizzontale e l'ampiezza delle oscillazioni dell’accelerazione longitudinale del veicolo per la rispettiva frequenza viene tracciata sull'asse verticale; maggiore sarà la differenza tra i picchi massimo e minimo, peggiore sarà la sensazione avvertita di *guidabilità*. Per questa strategia la differenza è pari a **454,2911**.

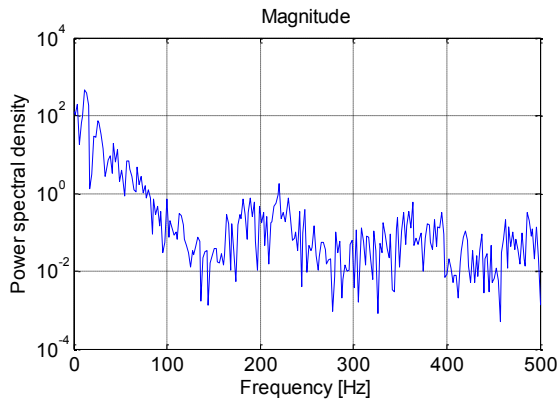


Figura 89-Ampiezza delle oscillazioni dell'accelerazione longitudinale del veicolo nel dominio delle frequenze

- 2) **Deviazione Standard** dei valori di accelerazione longitudinale del veicolo: più alto sarà questo valore, maggiore sarà la dispersione dei dati rispetto al valore medio; ciò si traduce in brusche e non piacevoli variazioni dell'accelerazione durante il tragitto. Il valore calcolato per questa strategia è pari a **3,3209**.
- 3) **Giudizio personale del test driver**: guidabilità **discreta**.

12.3 Strategia di controllo 3: dipendenza lineare del brake dalla coppia alle ruote T_{drive}

Per riprodurre la dipendenza lineare sono state utilizzate le funzioni **polyfit** e **polyval** di Matlab:

```
tdrangerange=[-20 -400];
brakerange=[0 5];
p=polyfit(tdrangerange,brakerange,1);
elseif tdrive<-20 && tdrive>-400
att=0;
vpil=0;
brake=polyval(p,tdrive);
elseif tdrive<-400
```

```
att=0;
vpil=0;
brake=5;
else
att=0;
vpil=0;
brake=0;
end
```

Noti i coefficienti p , attraverso il comando *polyval* riusciamo a riprodurre il valore del *brake* corrispondente al valore attuale di coppia alle ruote. Sul percorso eseguito l'andamento del *brake* e il confronto tra potenza dissipata e potenza elettrica rigenerata sono rappresentati nei grafici della figura 90. La percentuale di energia rigenerata rispetto a quella dissipata è del 20,32 % e il rapporto tra il picco negativo di potenza elettrica rigenerata e il picco negativo di potenza dissipata R è pari a 0,1131. La convenienza economica della strategia di controllo è stata così valutata: l'esborso economico associato all'energia elettrica spesa senza rigenerazione abilitata sarebbe stato pari a 0.0151 €, mentre l'esborso associato all'energia elettrica spesa con frenata rigenerativa abilitata è risultato pari a 0.0095 €, con un risparmio percentuale del 36.98 %.

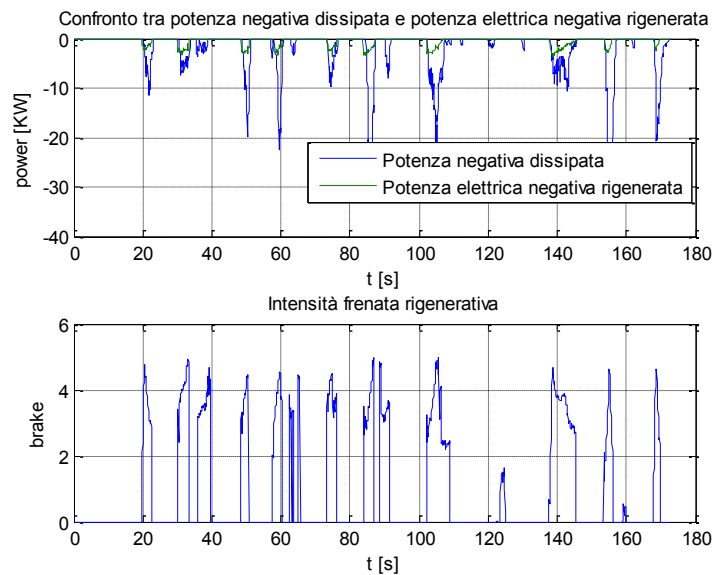


Figura 90-Potenza dissipata vs Potenza rigenerata e corrispondente profilo dell'intensità della frenata rigenerativa

12.3.1. Strategia di controllo 3: "guidabilità"

Per valutare la *driveability* associata alla strategia di controllo ci siamo affidati agli stessi strumenti di misura visti in precedenza:

- 1) **Analisi FFT (Fast Fourier Transformation)**: la frequenza in Hz viene tracciata sull'asse orizzontale e l'ampiezza delle oscillazioni dell'accelerazione longitudinale del veicolo per la rispettiva frequenza viene tracciata sull'asse verticale; maggiore sarà la differenza tra i picchi massimo e minimo, peggiore sarà la sensazione avvertita di *guidabilità*. Per questa strategia la differenza è pari a **203,4333**.

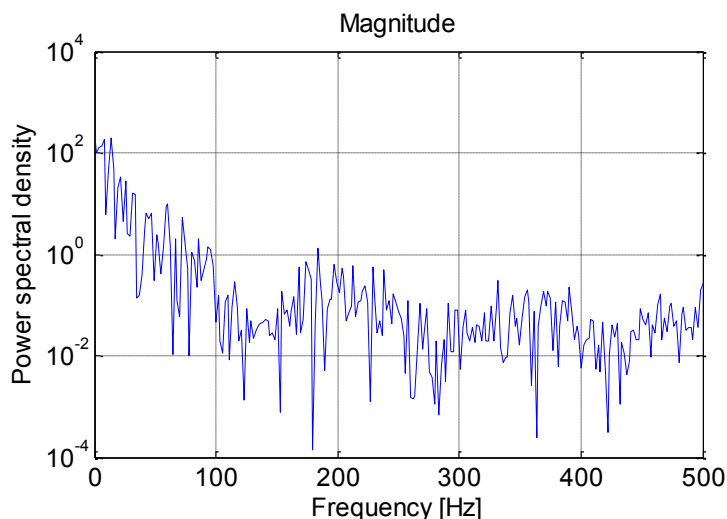


Figura 91-Ampiezza delle oscillazioni dell'accelerazione longitudinale del veicolo nel dominio delle frequenze

- 2) **Deviazione Standard** dei valori di accelerazione longitudinale del veicolo: più alto sarà questo valore, maggiore sarà la dispersione dei dati rispetto al valore medio; ciò si traduce in brusche e non piacevoli variazioni dell'accelerazione durante il tragitto. Il valore calcolato per questa strategia è pari a **3,1421**.
- 3) **Giudizio personale del test driver**: guidabilità **buona**.

12.4 Test dei consumi

Delle prove su strada su di un percorso piano di 2 km all'interno del campus dell'Università degli Studi di Salerno sono state eseguite con i seguenti profili di velocità:

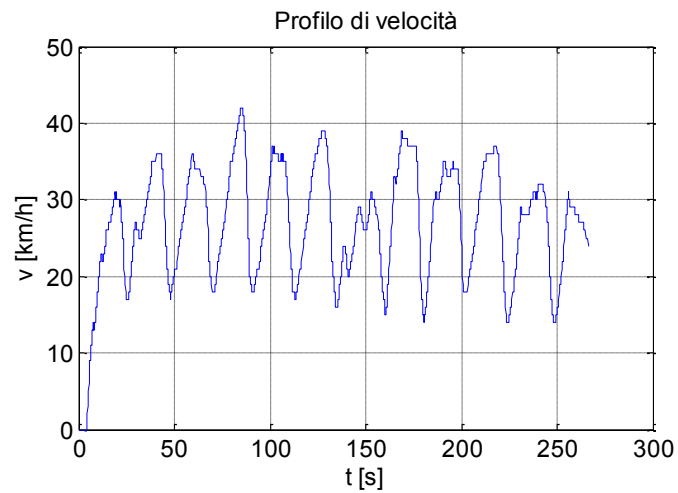


Figura 92-Profilo di velocità in modalità di guida puramente termica

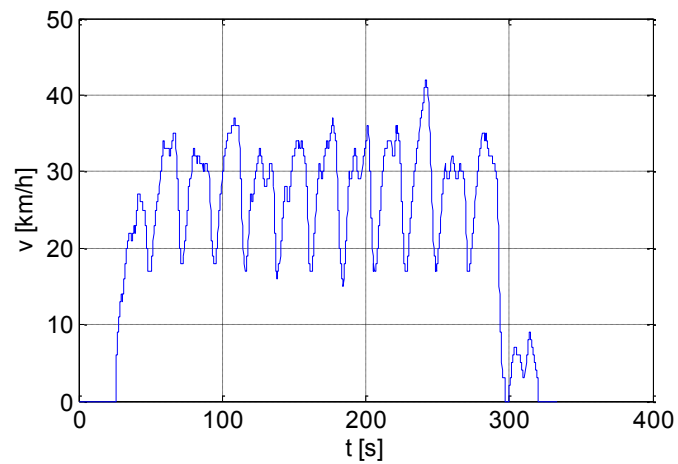


Figura 93-Profilo di velocità in modalità di guida ibrida con frenata rigenerativa disabilitata

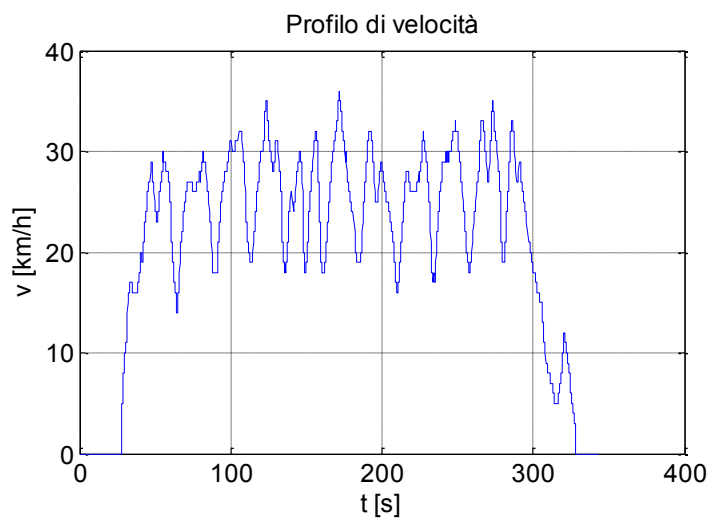


Figura 94-Profilo di velocità in modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 della frenata rigenerativa abilitata

Interpolando dalla **mappa dei consumi** del motore in funzione del numero di giri e della coppia del motore, sono stati rilevati i seguenti profili di consumo orario di carburante:

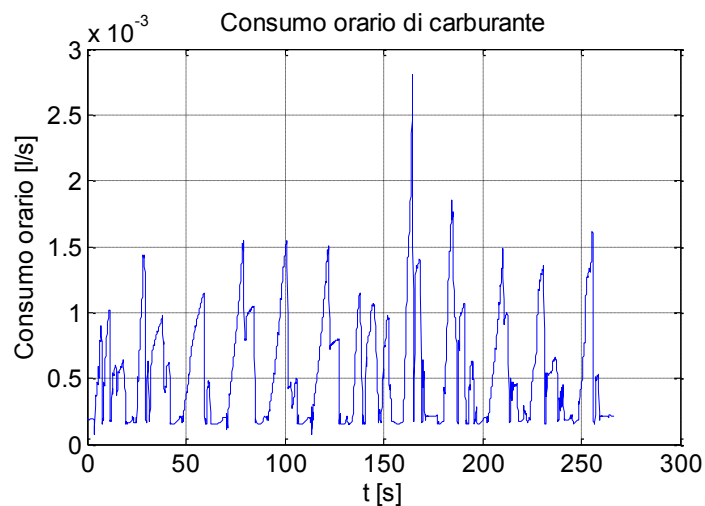


Figura 95-Consumo orario di carburante per modalità di guida puramente termica

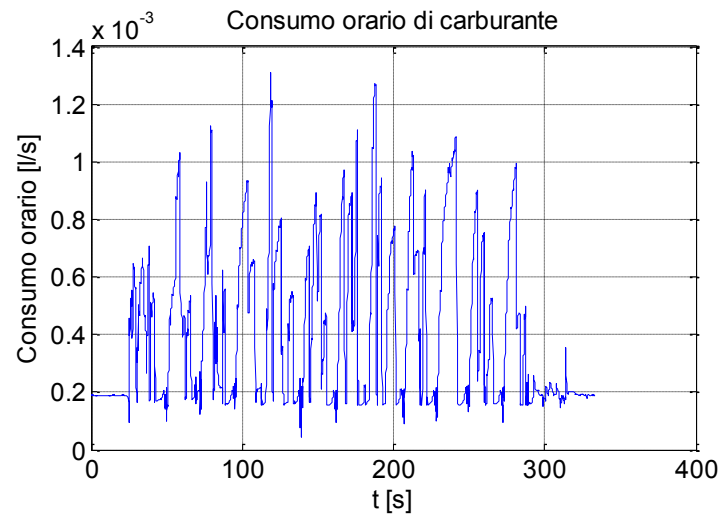


Figura 96-Consumo orario di carburante per modalità di guida ibrida con frenata rigenerativa disabilitata

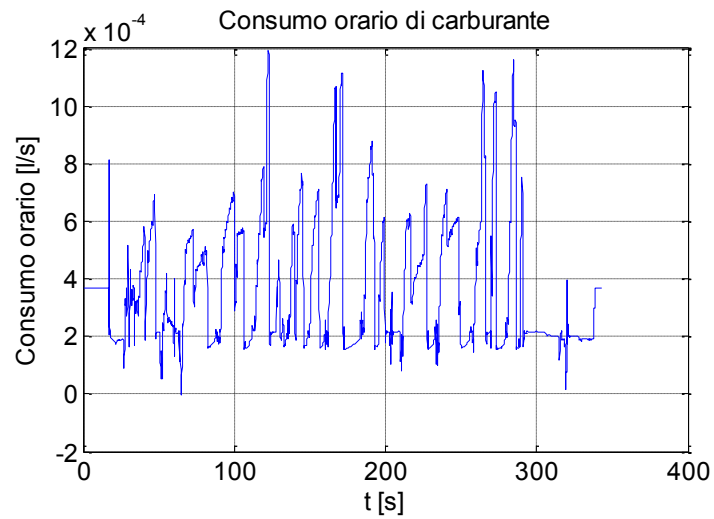


Figura 97-Consumo orario di carburante per modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 della frenata abilitata

Dai profili dei consumi orari di carburante, si risale ai consumi complessivi di carburante, valutando l'integrale nel tempo del consumo orario di carburante attraverso la funzione *trapz* di Matlab:

- 1) Modalità di guida puramente termica: **0,1470 l (13.6054 km/l)**
- 2) Modalità di guida ibrida con strategia di controllo della frenata disabilitata: **0,1346 l (14.8588 km/l)**
- 3) Modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 abilitata: **0,1234 l (16.2075 km/l)**

Leggendo, invece, il valore dalla porta OBD del consumo di carburante su 100 km risaliamo ai seguenti consumi di carburante:

- 1) Modalità di guida puramente termica: **0,12 l (16,6667 km/l)**
- 2) Modalità di guida ibrida con strategia di controllo della frenata disabilitata: **0,1120 l (17,8571 km/l)**
- 3) Modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 abilitata: **0,1080 l (18,5185 km/l)**

Ovviamente, occorre quantificare la potenza elettrica assorbita dalle due ruote motorizzate nelle due modalità di guida ibrida. Conoscendo il profilo della potenza elettrica nel tempo di funzionamento è possibile risalire al consumo di energia elettrica:

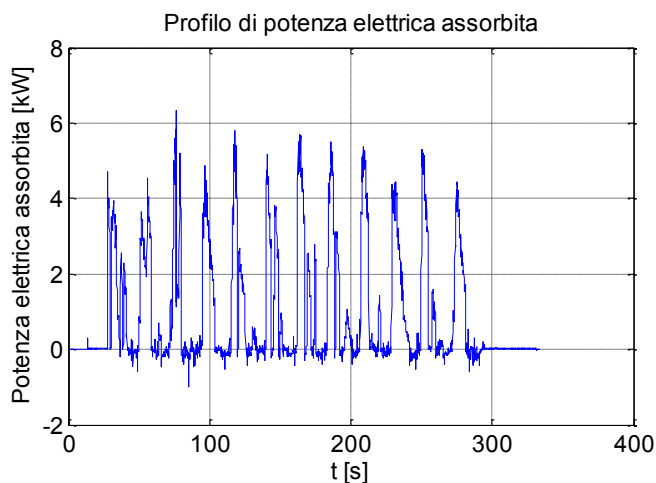


Figura 98-Potenza elettrica assorbita per modalità di guida ibrida con frenata rigenerativa disabilitata

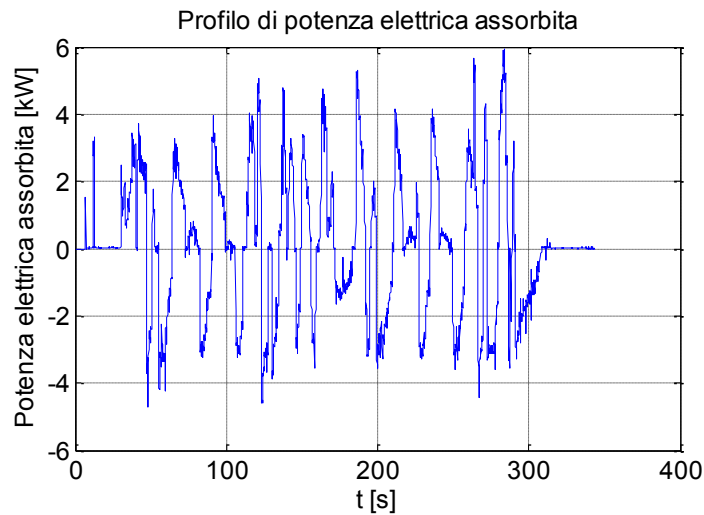


Figura 99-Potenza elettrica assorbita per modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 della frenata abilitata

A partire dai profili di potenza elettrica assorbita, si risale al valore di energia elettrica richiesta, sempre utilizzando la funzione *trapz* di Matlab:

- 1) Modalità di guida ibrida con strategia di controllo della frenata disabilitata: **0,0850 kWh**
- 2) Modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 abilitata: **0,0101 kWh**

Noti i consumi di carburante [l] e di energia elettrica [kWh] si può risalire ai costi associati a tali consumi moltiplicando per le rispettive tariffe di acquisto. Tuttavia, per svincolare i risultati dal particolare percorso e profilo di velocità sono stati calcolati i costi associati ai consumi specifici per unità di energia richiesta [€/kWh]:

Modalità guida\Costi specifici	Costo di specifico carburante [€/kWh]	consumo di Costo specifico di energia elettrica [€/kWh]	consumo Costo specifico [€/kWh]	consumo totale
Modalità di guida termica	1,6227	-1,40E-05	1,6227	
Modalità di guida ibrida con strategia di controllo della frenata disabilitata	1,5667	0,1813	1,748	
Modalità di guida ibrida con strategia di controllo 3 della frenata abilitata	1,5642	0,0234	1,5877	

Figura 100-Tabella riassuntiva dei costi specifici associati a ciascuna modalità di guida

Possiamo trarre le seguenti conclusioni:

- 1) Abilitando la strategia di controllo 3 della frenata rigenerativa si ottiene un risparmio percentuale del costo specifico di carburante del **3,60 %**
- 2) Nel confronto tra modalità di guida ibrida con o senza strategia di controllo della frenata abilitata, otteniamo un risparmio percentuale del costo specifico di energia elettrica dell'**87,09 %** quando la frenata rigenerativa è attivata
- 3) Infine, abilitando la strategia di controllo 3 della frenata rigenerativa si ottiene un risparmio percentuale del costo specifico totale del **2,16 %**

N.B.: Nel computo dei costi specifici di carburante sono stati considerati i consumi di carburante calcolati interpolando dalla **mappa dei consumi** del motore.

CONCLUSIONI

Il continuo aumento della popolazione mondiale e la crescita delle aspettative di vita nei Paesi industrializzati e in via di sviluppo, ha causato una crescente richiesta di energia che sta mettendo in crisi il nostro pianeta.

Il settore automobilistico è il principale responsabile di questo inquinamento, soprattutto delle emissioni di CO₂. Per non compromettere la vita di tutti gli essere viventi e diminuire l'emissione di sostanze tossiche, i primi provvedimenti adottati per risolvere questa questione sono mirati a ridurre la produzione di questi composti chimici. Le iniziative "verdi" così definite e intraprese da molti Paesi occidentali industrializzati, si sono concretizzate in decreti che negli anni pongono limiti sempre più restrittivi alle emissioni che caratterizzano i trasporti.

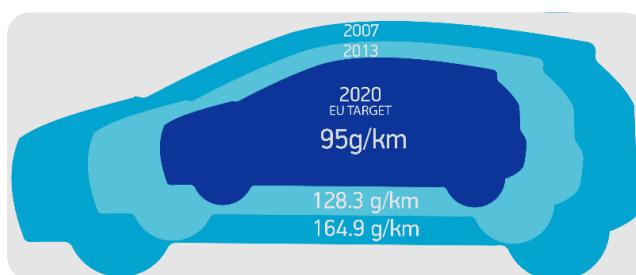


Figura 100 Target Emissioni

Di conseguenza le aziende automobilistiche sono state costrette a investimenti per la ricerca di nuove soluzioni, tra cui la nascita dei veicoli ibridi che prevedono di affiancare al motore termico convenzionale, un motore elettrico che ne favorisca un miglioramento nelle prestazioni. Questo miglioramento si concretizza in meno emissioni facendo in modo che il propulsore termico lavori in condizioni di massima efficienza.

Proprio in questo panorama nasce Hy Solar Kit, che rappresenta una valida soluzione per tutti gli automobilisti che ricercano una soluzione after-market per ridurre il consumo di combustibile e le emissioni di gas inquinanti. Tali esigenze

sarebbero soddisfatte senza richiedere costosi interventi per la riconversione delle linee di produzione dei veicoli e senza dover rinnovare una quota significativa del parco auto circolante. I tempi di recupero dell'investimento, attualmente, sono comparabili con quelli dei veicoli ibridi commerciali, ma con un notevole vantaggio in termini di costi. Tale vantaggio tenderà presumibilmente ad accentuarsi nei prossimi anni per effetto della continua riduzione del costo dei suoi componenti.

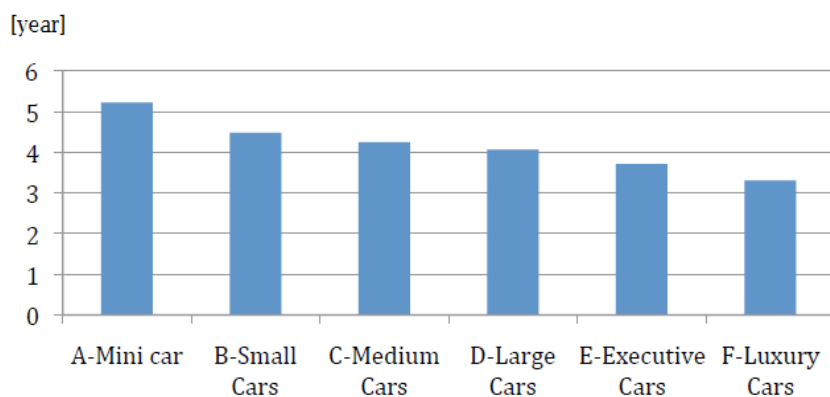


Figura 101 Tempi di recupero dell'investimento per diverse classi di veicoli.

Durante questi tre anni di dottorato, l'implementazione del kit su una Fiat Grande Punto ha permesso di dimostrare i benefici e la fattibilità tecnica del progetto aprendo la strada allo sviluppo a livello industriale del kit e alla domanda:

“Perché trasformare un autoveicolo in un veicolo ibrido solare?”

La risposta è, in prima approssimazione, alquanto semplice: minori consumi, più rispetto per l'ambiente, la possibilità di accedere in luoghi dove la circolazione è vietata ai veicoli tradizionali, in sostanza la trazione ibrida è molto più di una soluzione intelligente, è una scelta consapevole di civiltà e rispetto, per gli altri e per se stessi.



References

- [1] Sciarretta, A., Guzzella, L. (2007). Control of Hybrid Electric Vehicles. IEEE Control Systems Magazine, Vol. 27, No. 2, pp. 60-70.
- [2] <http://www.oica.net/>.
- [3] BP British Petroleum. (n.d.). BP Statistical review of world energy - June, 2011.
- [4] Chan, C. (2001). The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles. Proceedings of the IEEE, 90(2).
- [5] <http://wikipedia.it/> - Trattati internazionali in materia ambientale: Protocollo di kyoto. (n.d.).
- [6] I. Arsie, M. Cacciato, G. Petrone, G. Rizzo, A. Senatore, M. Sorrentino, G. Spagnuolo, " Development of a Prototype of Hybrid Solar Vehicle". (n.d.).
- [7] IPCC - Climate change 2007 - Synthesis Report. (n.d.).
- [8] Renewables 2011 - Global Status Report. (n.d.).
- [9] Rizzo, G. (n.d.). "Università degli Studi di Salerno - Impianti ad energia rinnovabile: Aspetti normativi e legislativi".
- [10] Rizzo, G. (n.d.). "Università degli Studi di Salerno - Impianti ad energia rinnovabile: le biomasse".
- [11] Rizzo, G. (n.d.). "Università degli Studi di Salerno - Impianti ad energia rinnovabile: Le conferenze".
- [12] Rizzo, G. (2010). "Il Sole con le ruote - Dieci domande sull'uso dell'energia solare per le auto".
- [13] Rizzo, G. (n.d.). Impianti ad energie rinnovabili - Impianti ad energia solare: l'energia solare.
- [14] Rizzo, G. (n.d.). Università degli Studi di Salerno - Impianti ad energie rinnovabili: Il solare fotovoltaico.
- [15] Il Protocollo di Kyoto della Convenzione sui cambiamenti climatici, http://www.romaenergia.org/Problematicheambientali/Protocollo_Kyoto/protocollo_kyoto_it.pdf
- [16] http://it.wikipedia.org/wiki/Storia_dell'auto_elettrica
- [17] http://it.wikipedia.org/wiki/Veicolo_ibrido
- [18] http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_solare
- [19] S. S. Williamson, S. G. Wirasingha, A. Emadi, "Comparative investigation of series and parallel hybrid electric drive trains for heavy-duty transit bus application", IEEE Vehicle power and propulsion (VPPC) Conference,

- Windsor, UK, sept 2006.
- [20]G.Rizzo, M.Sorrentino, C.Speltino, I.Arsie, G.Fiengo, F.Vasca, Converting Conventional Cars in Mild Hybrid Solar Vehicles
- [21]Sascia Canale, Salvatore Leonardi, Francesco Nicosia. Analisi critica del fenomeno dell'aderenza in campo stradale e ferroviario - Quaderno N. 88 - Istituto di Strade Ferrovie ed Aeroporti - Catania - Settembre 1996.
- [22]G Rizzo, M Sorrentino, C Speltino, I Arsie, G Fiengo, F Vasca (2011), Converting Conventional Cars in Mild Hybrid Solar Vehicles, In: Preprints of the 18th IFAC World Congress, August 28 - September 2, 2011, Milano, Italy Edited by:S.Bittanti, A.Cenedese, S.Zampieri.
- [23]C. Hoder, J. Gover, Optimizing the hybridization factor for a parallel hybrid electric small car, IEEE Vehicle Power and Propulsion (VPPC) Conference, Windsor, UK, Sept. 2006
- [24]G Rizzo, I Arsie, M Sorrentino (2010), Hybrid Solar Vehicles, In: Solar Collectors and Panels, Theory and Applications Edited by: Reccab Manyala. Sciyo, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/hybrid-solar-vehicles> SCIYO.COM isbn:978-953-307-142-8
- [25]I. Arsie, M. Cacciato, G. Petrone, G. Rizzo, A. Senatore, M. Sorrentino, G. Spagnuolo, Development of a Prototype of Hybrid Solar Vehicle (n.d.)
- [26]G. Rizzo, M. Sorrentino, An energetic comparison for Hybrid Vehicles ranging from low to high degree of hybridization, In: Proceedings of ICE2011 Conference, September 12-15, 2011, Capri, Italy SAE International - 2011-24-0086
- [27]National Instruments Corporate Headquarters: Getting Started with LabVIEW
- [28]Wong, J.Y., Theory of Ground Vehicles, Wiley-Interscience, ISBN 0-471-35461-9, Third Edition, 2001
- [29]White, R.A. and Korst, H.H., The Determination of Vehicle Drag Contributions from Coastdown Tests, SAE Transactions, Vol. 81, paper 720099, 1972
- [30]http://it.wikipedia.org/wiki/Fiat_Grande_Punto
- [31]<http://www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/confronta-prezzi.shtml>
- [32] http://www.enel.it/it-IT/clienti/enel_servizio_elettrico/tariffe_per_la_casa/tariffe_biorarie_per_la_casa/bioraria_d2.aspx
- [33]Helmut List, Peter Schoggl, Method for analyzing the driving behavior of motor vehicles, US 6079258 A, 2000

-
- [34] Lino Guzzella, Antonio Sciarretta. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization.
- [35] C. Hoder, J. Gover, "Optimizing the hybridization factor for a parallel hybrid electric small car", IEEE Vehicle Power and Propulsion (VPPC) Conference, Windsor, UK, Sept. 2006.
- [36] G Rizzo, V Marano, C Pisanti, M D'Agostino, M Naddeo, M Sorrentino, I Arsie (2013) A Prototype Mild-Solar-Hybridization Kit: Design and Challenges In: 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013, September 11-13, 2013, Bologna (Italy).
- [37] G Rizzo, C Pisanti, M D'Agostino, M Naddeo (2013) Driver Intention Analysis for a Through-the-Road Solar Hybridized Car. In: ICE2013 - 11th International Conference on Engines & Vehicles, Capri (Italy), September 15-19, 2013
- [38] I Arsie, M D'Agostino, M Naddeo, G Rizzo, M Sorrentino (2013) Toward the Development of a Through-The-Road Solar Hybridized Vehicle In: 7th IFAC Symposium on Advances in Automotive Control, September 4-7, 2013, National Olympics Memorial Youth Center, Tokyo
- [39] M. D'Agostino, M. Naddeo, G. Rizzo, Development and validation of a model to detect active gear via OBD data for a Through-The-Road Hybrid Electric Vehicle In: The 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control | Cape Town, South Africa | 24-29 August 2014
- [40] Ivan Arsie, Mario D'Agostino, Vincenzo Marano, Massimo Naddeo, Cecilia Pisanti, Gianfranco Rizzo Analysis of actuation delays in the control system of a hybridized vehicle. In: 69th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2014