



UNIONE EUROPEA



*Ministero dell' Istruzione
dell'Università e Ricerca*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

*Dottorato di Ricerca in Ingegneria Meccanica
X Ciclo N.S. (2008-2011)*

*“Models for design and control of a solar-hybrid vehicle
with a tracking solar roof”*

ABSTRACT

Ing. Cecilia Pisanti

*Il Tutor
Ch.mo Prof. Gianfranco Rizzo*

*Il Coordinatore
Ch.mo Prof. Vincenzo Sergi*

ABSTRACT

Il nostro pianeta deve affrontare sfide importanti nel XXI secolo, perché a livello mondiale e durante la prima metà di questo secolo il consumo di energia è destinato a raddoppiare. A fronte di forniture di petrolio sempre più vincolati, l'umanità deve guardare ad altre fonti di energia, quali l'energia solare, per riuscire a soddisfare la crescente domanda di energia.

Una valutazione del livello di sviluppo di un paese la si ha attraverso la valutazione del consumo e dell'efficienza energetico. L'eccessivo uso dei combustibili fossili per produrre energia non solo ha causato gravi danni per l'ambiente come ad esempio le crescenti emissioni di gas serra e fuoriuscite di petrolio, ma ha anche portato crisi politiche nei paesi manifestatesi sotto forma di conflitti di risorse globali e carenza di cibo.

L'utilizzo dell'energia solare unita ad altre forme di energie rinnovabili offrono una soluzione pratica, pulita, e vitale per rispondere alle crescenti sfide ambientali ed energetiche del nostro pianeta.

La radiazione solare è la risorsa più importante di energia naturale, perché è rinnovabile, gratuita e largamente diffusa. Il Sole fornisce alla Terra una quantità enorme di energia.

Naturalmente, il Sole ha sempre avuto l'attenzione dell'umanità ed è stato oggetto di culto da molte culture nel corso dei millenni, come gli Egizi, gli Inca, i Greci, i Maya e molti altri. È stato dimostrato che potenzialmente l'energia solare è in grado di soddisfare i fabbisogni di energia termica ed elettrica da fornire per le nostre economie moderne riguardanti una varietà di attività produttive; tuttavia non è ancora ampiamente adottata a causa dell'attuale presenza di combustibili fossili relativamente a basso costo. Il problema principale di questo tipo di fonte di energia è che non è costante durante il giorno e di non facile distribuzione. Al contrario, gli stili di vita moderni richiedono un approvvigionamento continuo e affidabile di energia. Tuttavia, ci sono modi per superare queste carenze.

Nel capitolo 1 vi è una presentazione generale dell'irraggiamento solare e degli angoli solari principali: la radiazione solare globale è composta da diffusa, riflessa e radiazione diretta. Per calcolare la radiazione diretta la relazione geometrica tra il Sole e la Terra deve essere nota. Oggigiorno le tecnologie solari sono evolute anche industrialmente: per catturare il massimo possibile dell'energia inizialmente sono stati sviluppati sistemi fotovoltaici dove l'angolo di tilt del pannello solare era fisso ma ottimale, e in seguito sono stati sviluppati sistemi ad inseguimento solari.

Per molti motivi, in particolare energetici, ambientali, economici, un grande interesse al giorno d'oggi è stata sviluppato per i veicoli ibridi, in particolare i veicoli ibridi elettrici HEV, ma negli ultimi anni anche i veicoli ibridi solari HSV hanno attratto un crescente interesse. Questi ultimi utilizzano l'energia solare. Questo tipo di veicoli sono descritti nel capitolo 2.

Va sottolineato che vi è una grande differenza tra i veicoli ibridi solari e le auto solari: infatti le auto solari ora non rappresentano una valida alternativa alle auto tradizionali particolarmente perché dipendono dalla sola disponibilità sole e hanno costi elevati. Invece gli HSV non hanno problemi riguardanti l'autonomia, perché hanno un motore elettrico e un motore a combustione tradizionale.

Tuttavia finora in letteratura poco interesse è stato dato ai veicoli ibridi solari rispetto agli HEV, tuttavia presso l'Università di Salerno un prototipo di HSV è stato sviluppato e un altro sta per essere sviluppato.

Formulare l'algoritmo di controllo per determinare l'efficienza per l'alimentazione ottimale di un veicolo ibrido decidendo quale delle due fonti energetiche utilizzare è denominata gestione energetica del problema. Nel capitolo 3, le strategie di controllo principali, utilizzate anche per la gestione energetica degli HEV, sono esaminati. Le strategie di controllo possono essere classificati in controllori non-causali e causali rispettivamente. Inoltre, una seconda classificazione può essere fatta tra euristici, i controlleri ottimali e sub-ottimali.

Grande importanza viene data a tre diverse strategie: Dynamic Programming DP, Genetic Algorithm GA e strategia Rule-Based RB. Ciascuna delle tecniche di ottimizzazione viene descritta.

La strategia RB e l'ottimizzazione GA sono state applicate su un veicolo HSV, e i risultati sono stati confrontati per vedere la strategia più conveniente da applicare ad un prototipo HSV sviluppato presso l'Università di Salerno. Attraverso dati sperimentali viene mostrato un confronto tra queste due strategie, i vantaggi e la loro struttura.

Nel capitolo 3 il confronto mostra che l'adozione dei risultati ottenuti dalla strategia di ottimizzazione RB sono vicini a quelli ottenuti con le altre due ottimizzazioni. Quindi, questa strategia sembra conveniente per due motivi principali:

- la conoscenza del ciclo di guida non è sempre necessaria;
- non ci sono rigorose operazioni matematiche.

Per questi motivi la strategia RB è stata applicata: è stato dimostrato che è necessario calcolare il valore medio di potenza di trazione e stabilire il valore del fattore di soleggiamento. \bar{P}_r può essere valutato con una strategia all'indietro o in avanti:

- **All'indietro:** il valore medio è valutato sulla conoscenza precedente dei dati, prendendo il valore medio della potenza durante un certo periodo passato;
- **In avanti:** il valore medio della potenza è previsto.

Nel capitolo 4 risultati numerici e sperimentali circa l'applicazione di questa strategia di ottimizzazione sono stati dimostrati. Prima di tutto il consumo di carburante è stato calcolato attraverso un programma sviluppato in MATLAB, prendendo un ciclo di guida dalla letteratura: è stato dimostrato che i valori di consumo di carburante calcolati con le strategie di avanti e all'indietro non sono molto diversi. Poi, attraverso prove sperimentali, l'adozione di una strategia a bordo è presentata e sono stati anche dimostrati i benefici conseguenti all'adozione della migliore soluzione gestione dell'energetica.

Infine il programma, precedentemente sviluppato per un generico HSV, è stato adattato al prototipo HSV sviluppato presso l'Università di Salerno considerando anche cicli di guida sperimentali effettuati sul veicolo: la convalida dell'applicazione al prototipo della strategia Rule-Based è presentata attraverso queste prove sperimentali. Dopo si è deciso di adottare la strategia RB per la gestione energetica a bordo del prototipo HSV attraverso l'adeguamento del programma MATLAB in un programma sviluppato in LabVIEW.

Nel capitolo 5 è presentato un tetto mobile solare per un veicolo ibrido solare, e vengono evidenziate le differenze tra un sistema di movimentazione per applicazioni mobili e fisse.

Con un'orientazione ottimale del tetto, ossia quando l'angolo di incidenza, compreso tra la normale al tetto e il raggio solare, tende a zero, c'è un notevole guadagno di energia.

Il tetto solare mobile è stato realizzato come un robot parallelo a tre gradi di libertà. Un modello matematico è stato sviluppato in MATLAB, il design è stato realizzato attraverso il software 3D SolidWorks, il sistema di controllo è stato realizzato all'inizio con un PLC, poi con una webcam posizionata al centro del tetto mobile e il controllo è stato sviluppato attraverso un programma realizzato in LabVIEW.

Il modello del tetto proposto è stato sviluppato e validato su dati sperimentali ottenuti da un piccolo prototipo in scala reale. Il modello cinematico presentato ha permesso l'ottimizzazione della geometria del tetto e forma. L'orientazione migliore viene raggiunta quando il tetto è quasi circolare, ed ha una distanza minima tra i giunti globulari. La soluzione ottimale è stata determinata da un'analisi integrata forma del tetto - forma del veicolo.

La fattibilità economica di questo progetto, ma soprattutto il guadagno energetico è stato valutato: questo modello è stato progettato per essere mobile solo durante le fasi di parcheggio per due motivi principali:

- L'HSV analizzato deve essere utilizzato solo per un uso **urbano**, in modo che la fase di guida dura solo 1-2 ore e la maggior parte della giornata è una fase di parcheggio;
- Se il tetto solare è mobile anche durante la fase di guida si potrebbero avere alcune **perdite aerodinamiche e le instabilità.**

L'adozione di un tetto mobile solare per applicazioni su veicoli elettrici o ibridi solari può migliorare notevolmente l'energia recuperata durante le fasi di sosta. Inoltre, questo sistema può risultare particolarmente utile alle alte latitudini, dove un pannello orizzontale sarebbero fortemente penalizzato dalla bassa altezza del sole. L'adozione di un tetto mobile può quindi estendere il mercato potenziale di energia solare veicoli assistite.

Al fine di ottimizzare i vantaggi del tetto solare mobile, occorre minimizzare il consumo di energia in relazione al suo movimento, e evitare i movimenti inutili. A tal fine, è stata presentata una procedura di controllo basata sull'utilizzo combinato di dati forniti dal pannello solare, informazioni derivate da un modulo GPS e dalla trasformazione delle immagini del cielo prese da un webcam. La webcam è stata posta al centro della piattaforma mobile del prototipo, viene fatta una foto del cielo, la foto viene elaborata e su di essa vengono indicati due punti: il centro del quadro e il centro di massa dei punti con luminosità massima. Lo scopo principale è che il centro dell'immagine deve tendere al centro di massa dei punti di massima luminosità. Attraverso questo sistema di controllo è stato anche valutato il miglior intervallo di tempo tra due diversi orientamenti, e il risultato è che durante il giorno tale intervallo cambia, ed è inoltre a inizio intervallo conviene orientare in base a quella che sarebbe la migliore orientazione nel momento intermedio tra due intervalli, cioè se ad esempio è stato calcolato che il miglior intervallo alle 9.00 è un'ora, vi è un guadagno maggiore di energia solare se il tetto è orientato alle ore 9,00 con il miglior orientamento 9.30 fino alle 10:00 e così via.