



Richiesta per borsa di studio da attivare ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Il sottoscritto Vincenzo Mulone professore associato afferente al Dipartimento di Ingegneria Industriale

Interno 7170 email mulone@uniroma2.it

CHIEDE

l'attivazione di una borsa di studio di dottorato ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021. A tal fine comunica quanto segue:

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo: Ingegneria Industriale

Area per la quale si presenta la richiesta (selezionare solo una delle due):

Innovazione

Green

Tipologia di cofinanziamento (pari ad euro 8000 una tantum):

Nome dell'Ente finanziatore pubblico o privato: _____

Persona di Riferimento: _____ Telefono _____

Email _____

Fondi di ricerca dipartimentali

Progetto di Ricerca (massimo 10.000 battute complessive spazi inclusi) che comprenda

Descrizione del Progetto:

Obiettivi formativi:

Attività previste:

Attinenza del progetto all'area indicata:

Risultati attesi:

Azienda pubblica o privata coinvolta nazionale o straniera in cui si prevede di far svolgere il periodo obbligatorio da 6 a 12 mesi previsto dal Decreto Ministeriale:

IVECO S.p.A.- CNH INDUSTRIAL

Firma



Sustainable Mobility Concepts through Design and Control of Vehicles

Le emissioni degli inquinanti nocivi nel settore dei trasporti sono diminuite sensibilmente a partire dal 1990, a vantaggio della salute e dell'ambiente, ottenendo, grazie all'introduzione di normative sempre più stringenti, valori allo scarico dei veicoli ben minori rispetto a quanto prospettato [1].

Per quanto invece riguarda le emissioni di gas serra GHG, **il settore dei trasporti, che è responsabile di circa un quarto del totale in EU**, ha osservato un trend in sensibile aumento a partire dal 1990 [2] a causa di diversi motivi. E' opinione diffusa che le GHG potranno diminuire promuovendo l'adozione diffusa di concetti di mobilità sostenibile, implementando la European Strategy for Low-Emission Mobility [3]. D'altra parte, la strategia intende rispondere all'ingente dipendenza del sistema di trasporto europeo dalle fonti fossili, muovendo dalla disponibilità di nuove tecnologie e nuovi business model nel settore del trasporto, sia pubblico che privato. Il sistema di trasporto europeo su gomma infatti dipende dalle fonti fossili per una quota superiore al 94% - e in misura decisamente maggiore rispetto a tutti gli altri settori. Il tema del **trasporto sostenibile è pertanto di centralità strategica in merito alle tematiche green** che impegneranno l'Italia e l'Unione Europea nei prossimi anni, come asset strategico per **l'impatto significativo sulla sostenibilità dell'EU**.

Le aree prioritarie di intervento identificate dalla strategia europea sono le seguenti:

1. L'aumento dell'efficienza del sistema di trasporto, incentivando pratiche smart legate al pricing, ma **incoraggiando l'utilizzo di modalità di trasporto green** a ridottissime emissioni.
2. Il ricorso a **vettori energetici alternativi – green** per il trasporto, tra cui biocombustibili, elettricità, idrogeno e combustibili sintetici rinnovabili. Sarà cruciale la rimozione di barriere infrastrutturali, ad esempio per l'implementazione dei concetti di mobilità elettrica e ad idrogeno.
3. La transizione verso veicoli a zero-emissioni equipaggiati con **propulsori innovativi -elettrici** basati su **batterie** o a **fuel cell** alimentati con **idrogeno green** [4] - rispetto ai motori a combustione interna.

Il ricorso a soluzioni ibride potrà offrire considerevoli vantaggi da numerosi punti di vista. I propulsori ibridi sono infatti già stati funzionali al successivo sviluppo dei veicoli elettrici, consentendo di sfruttare le peculiarità dei due propulsori in un approccio sinergico [5]. Similmente, le due tipologie fondamentali di propulsori innovativi, **elettrici a batteria e con fuel cell a idrogeno green**, potranno vantaggiosamente essere configurate in modalità ibrida non solo per le note complementarità, ma anche per abilitare un approccio modulare alla progettazione e al controllo di detti veicoli. Si potranno così ottenere numerosi vantaggi:

- a) Il **supporto alle attività di ricerca e sviluppo** di entrambe le tipologie di propulsore.
- b) La selezione di **gradi di ibridazione variabili** tra le due tipologie, in funzione della particolare applicazione -singoli veicoli o flotte-, ovvero in base alla disponibilità di infrastrutture di ricarica o di distribuzione di idrogeno.
- c) La selezione di gradi di ibridazione variabili tra le due tipologie, in funzione della **capacità di produzione di idrogeno green** da fonti rinnovabili.
- d) La valutazione della sostenibilità delle soluzioni propulsive al variare dei parametri già esposti in merito a emissioni di CO₂ di singoli veicoli ovvero di flotte [6,7].

Nel contesto e per i motivi descritti, le attività di progettazione dei veicoli stanno osservando un cambiamento radicale. Si sta infatti sempre più abbandonando un approccio di progettazione del **singolo componente**, e in particolare un propulsore basato su motore a combustione interna, per abbracciare invece un approccio alla progettazione di **sistemi propulsivi complessi** caratterizzati da numerosi e diversi componenti, ugualmente significativi nell'economia del sistema complessivo, come ad esempio il motore elettrico, la fuel cell, la batteria, il sistema di stoccaggio di idrogeno. La metodologia di progettazione dei detti sistemi complessi con logiche convenzionali, basate cioè esclusivamente su attività di sperimentazione e calibrazione al banco prova, **richiederebbe tempistiche non sostenibili per un'azienda sul mercato** - e deve pertanto essere altrettanto rinnovata. Inoltre, sia le batterie che le fuel cell non necessitano di calibrazione, e pertanto si prestano



favorevolmente all'adozione di innovative metodologie di progettazione di **sistemi complessi per il trasporto sostenibile**. In Figura 1 si riporta un esempio di layout di un propulsore di veicolo ibrido elettrico-batterie-FC-idrogeno.

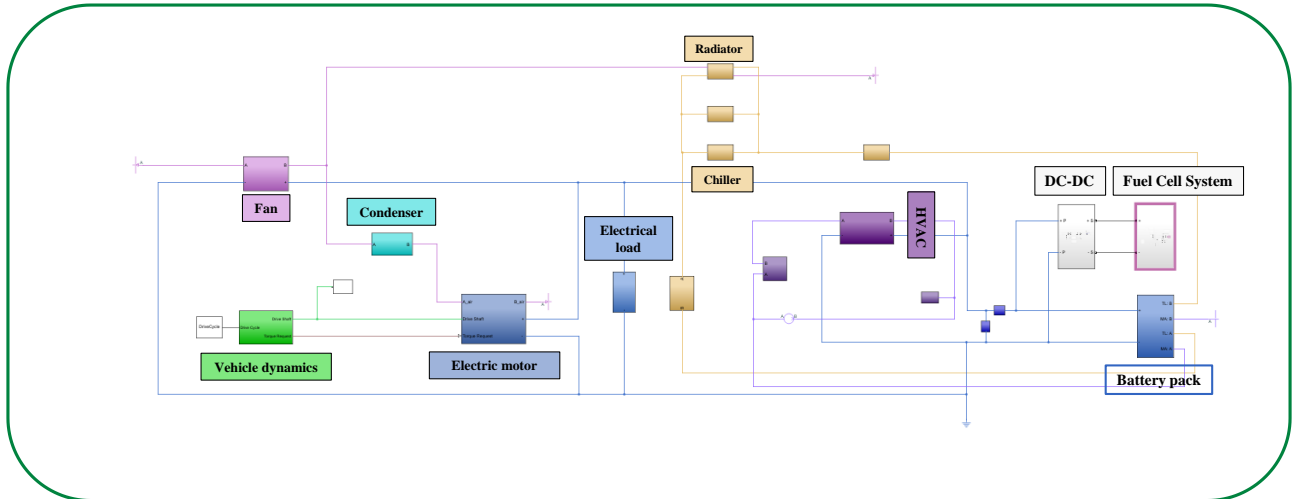


Figura 1: layout di un propulsore di veicolo ibrido elettrico-batterie-FC-idrogeno e relative connessioni logiche e impiantistiche .

La complessità di tale schema evidenziata dalle molteplici connessioni logiche e fisiche presenti tra i vari componenti, permette di comprendere come, nello studio di questi sistemi di propulsione avanzata, sia importante non solo la conoscenza del comportamento dei singoli componenti, ma anche l'identificazione delle ricadute ottenibili da diversi layout in relazione a differenti architetture, nonché **la definizione e l'implementazione di logiche di controllo**, funzionali alla massimizzazione delle prestazioni in termini di **efficienza, autonomia, ed emissioni GHG**. Sarà dunque fondamentale avere a disposizione modelli affidabili di rappresentazione delle prestazioni dei singoli componenti, opportunamente validati mediante confronto con dati sperimentali, unitamente a test-rig sperimentali sviluppati ad hoc.

IVECO S.p.A.-CNH Industrial ha mostrato interesse per le attività di modellistica di sistemi propulsivi complessi, comprovata da un rapporto solido e longevo di collaborazione con il gruppo SCERG -Sustainable and Clean Energy Research Group- del Dipartimento di Ingegneria Industriale, e puntando anche sull'opportunità di ospitare in azienda il/la candidato/a dottorando/a di questo programma di dottorato.

Le attività del percorso di dottorato qui proposto saranno pertanto focalizzate alla definizione di una **metodologia innovativa di progettazione di veicoli per la mobilità sostenibile**, in modo da affrontare la **transizione green del sistema di trasporto**, mediante propulsori con batterie, ovvero alimentati a idrogeno green, ovvero in configurazione ibrida tra le due tecnologie. Tali attività sono pertanto **attinenti all'area green in ottica di transizione ecologica** a nuove tipologie di veicoli.

Gli obiettivi formativi fondamentali *Obj* del detto programma di dottorato, consentiranno di trasferire le seguenti competenze al/alla candidato/a dottorando/a:

Obj1) Competenze in merito a **veicoli per la mobilità sostenibile, e quindi green**, con particolare focus sulla progettazione di veicoli elettrici e alimentati con idrogeno green ad elevata efficienza energetica e ridottissimo impatto ambientale.

Obj2) Competenze numeriche in merito alla modellazione di **sistemi energetici complessi per applicazioni veicolari**, con particolare riguardo allo sviluppo di software basati su Matlab/Simulink.



Obj3) Competenze in merito al controllo di **sistemi di propulsione complessi** basati sull'utilizzo di diversi vettori, tra cui idrogeno green ed energia elettrica, con particolare attenzione agli aspetti legati all'implementazione di dette logiche su veicoli o flotte di veicoli in base alla particolare architettura e configurazione del sistema.

La metodologia sarà sviluppata mediante le seguenti principali attività (*Task*):

Task1) M1-M12 La messa a punto di **modelli di componente**, valutandone con attenzione le caratteristiche in termini di trade-off tra accuratezza e costo computazionale. Si potrà a tale scopo spaziare da modelli basati su semplici mappe funzionali così come fornite dai costruttori, a modelli con formulazione fisica- più o meno impegnativa e complessa- utile per valutazioni più precise e/o per rappresentazioni più accurate in dipendenza dalla taglia dello specifico componente. A tale riguardo particolare attenzione sarà rivolta a componenti quali celle a combustibile a elettrolita polimerico PEM, pacchi batteria Li-ion, motori elettrici, convertitori DC/DC, serbatoi di idrogeno, etc.

Task2) M1-M12 Lo sviluppo di **modelli di sistema** veicolari in grado di rappresentare con dovuto grado di dettaglio le ricadute di diversi dimensionamenti sul comportamento del veicolo in merito alle caratteristiche energetiche di consumo, autonomia, ma anche in merito a pesi, ingombri e costi.

Task3) M12-M24 La **validazione dei modelli** di componente e di sistema mediante confronto con dati sperimentali provenienti da campagne di misura direttamente svolte su veicoli, e da test effettuati ad hoc in laboratorio.

Task4) M24-M36 La definizione di **logiche di controllo** ottimali atte a valutare la ripartizione della potenza erogata dalla cella a combustibile e dal pacco batterie durante la missione del veicolo, in modo da massimizzare ottimizzare l'efficienza energetica e l'autonomia, **minimizzando l'impatto ad esempio mediante le emissioni di GHG** dello stesso veicolo. Tali logiche di controllo sono strumentali al design del veicolo, dato che - a parità di prestazioni- il ricorso a logiche ottimali permette di sfruttare al meglio i componenti del sistema **minimizzando gli ingombri, e quindi i pesi e i costi**, dei componenti del sistema di propulsione e degli ausiliari (inclusi il sistema di raffreddamento dei diversi componenti e il sistema di condizionamento dell'aria).

Le attività da svolgere consentiranno di ottenere i seguenti e principali risultati *Res*:

Res1) Sarà disponibile un **modello di sistema** in grado di rappresentare fedelmente il comportamento di un veicolo ibrido fuel-cell/batterie, al variare del grado di ibridazione tra le due tecnologie. Tale modello sarà pertanto anche in grado di rappresentare il funzionamento di veicoli esclusivamente elettrici ovvero esclusivamente alimentati con idrogeno mediante fuel cell. Il modello sarà caratterizzato da elevata flessibilità quanto a capacità di rappresentare veicoli di caratteristiche diverse, e componenti di varia dimensione ed eventualmente tecnologia.

Res2) Sarà resa disponibile **documentazione comprovante l'accuratezza dei modelli**, in relazione sia a dati sperimentali provenienti da laboratorio mediante test ad hoc, sia a dati sperimentali, ovvero mediante confronto con dati disponibili in letteratura. Sarà rivolta particolare attenzione all'analisi delle deviazioni riscontrate, cercando di porne in dovuta evidenza l'origine e definendo le strategie per l'eventuale miglioramento, oltre al trade-off tra accuratezza dei risultati ottenibili e tempistiche di calcolo.

Res3) Sarà discusso l'effetto delle **logiche di controllo** sul comportamento energetico del veicolo in merito a **efficienza e autonomia**, in modo da fare emergere il ruolo di dette logiche al variare del dimensionamento dei diversi componenti e della classe del veicolo, e al variare del **grado di ibridazione tra soluzione puramente elettrica e puramente alimentata ad idrogeno green**. Si applicheranno dette logiche di controllo ad analisi di missioni di interesse esemplare, valutando oltre ai richiamati parametri energetici, parametri legati alla sostenibilità quali le emissioni di CO₂ di singoli veicoli, ed eventualmente di flotte di veicoli sostenibili.



[1] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>

[2] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases-7/assessment>

[3] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e44d3c21-531e-11e6-89bd-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF

[4] A.V. Abad, P.E. Dodds, Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges, Energy Policy, 2020.

[5] M. Benegiamo, A.P. Carlucci, V. Mulone, A. Valletta, Effect of Incorporating the Thermal Management of the Three-Way Catalyst on Energy Efficiency and Tailpipe Emissions for a P2 Parallel Hybrid Vehicle, SAE Int. J. of Electrified Vehicles, 2021.

[6] Fleet management in Europe Growing importance in a world of changing mobility, Deloitte analysis, Dataforce (2016), LMC (2016).

[7] L. Bartolucci, S. Cordiner, V. Mulone, et al., Grid service potential from optimal sizing and scheduling the charging hub of a commercial Electric Vehicle fleet. 2020 IEEE Int. Conf. on Env. and El. Engineering and 2020 IEEE Ind. and Com. Power Systems Europe.