



Accordo di Programma MSE-ENEA



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

## Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

**Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica**

**Progetto 3.5: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivi: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto**

G.Barbieri, UTMAT MONIT

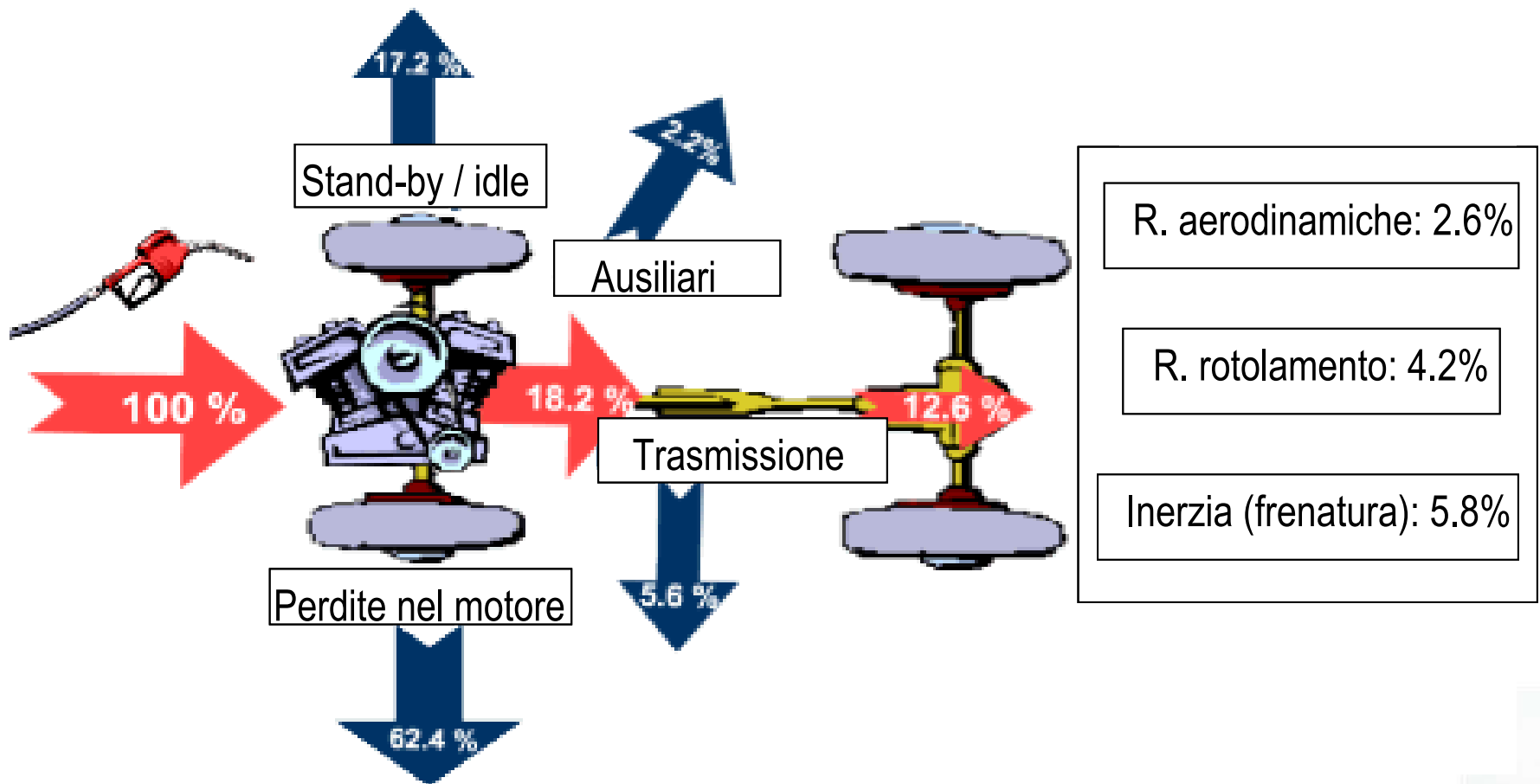
G. Pede, UTTEI VEBIM

P.Masoni, UTVLAMB LCA

Roma, 24 Novembre 2011



# Schematizzazione tipica delle perdite di energia



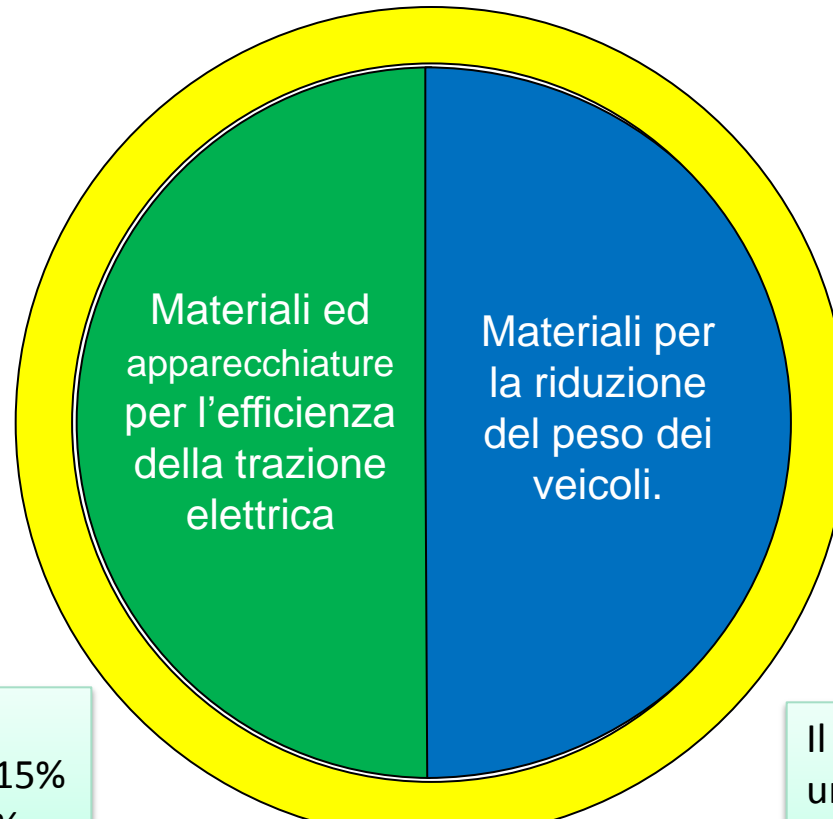
Rendimento tipico di un veicolo a motore a combustione interna dal “serbatoio alla ruota” Tank to Wheel (TTW)

# Interventi sinergici per l'efficienza energetica

Sviluppo della filiera della trazione elettrica per l'incremento della efficienza di trasformazione dal "pozzo alla ruota" Well to Wheel WTW

## Centri ENEA

Casaccia  
Bologna  
Brindisi  
Triaia



## Atenei

L'Aquila  
Napoli Fed. II  
Politecnico Mi  
Palermo  
Pisa  
Roma Tor Vergata  
Roma Tre

Rendimento WTW  
Veicoli convenzionali: 10%-15%  
Trazione elettrica: 35-42%

Il carico stradale, nell'uso urbano, dipende per 70-80% dal peso del veicolo

**Sostenibilità**  
**Life Cycle Assessment**

## Attività su accumulo elettrico e motorizzazioni

- Sviluppo di moduli 12V/48V litio-ione e dei relativi BMS per differenti applicazioni
- Sviluppo di sistemi con supercondensatori/ batterie al piombo, anche per repowering
- Sviluppo di convertitori per trazione di elevata efficienza, derivati da quelli per le rinnovabili

## Attività di Life Cycle Assesment

- Costruzione data base costi energetici ed ambientali componenti “automotive” per veicoli elettrici ed ibridi
- Modellazione e quantificazione di LCA per batterie per autotrazione di ultima generazione

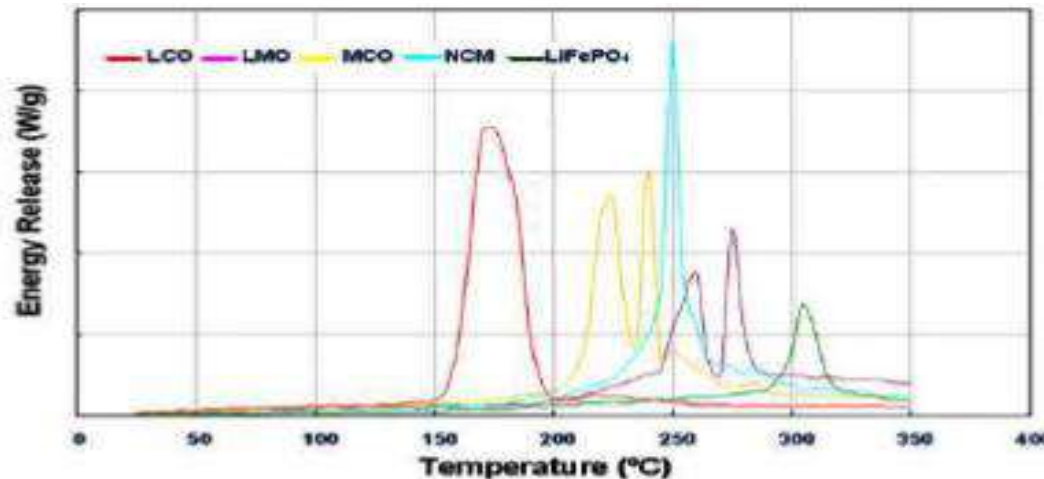
## Attività sui materiali

- Sviluppo di materiali strutturali e non, basati su schiume metalliche
- Sviluppo di tecniche di giunzione
- Sviluppo di materiali ibridi, che utilizzino sfere di schiume metalliche in matrici termoplastiche
- Sviluppo di materiali a base di fibre naturali e matrici termoplastiche.

- A** Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system).
- B** Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori).
- C** Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida.
- D** Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie suddette
- E** Analisi dello stato dell'arte ed acquisizione di AFS standard e loro qualificazione chimico/fisica e sviluppo di processi di schiumatura innovativi
- F** Sviluppo delle tecnologie di giunzione: tecnologie di saldatura a basso apporto termico ed eventuali elementi di accoppiamento per la realizzazione di forme complesse ed il collegamento a strutture primarie di tipo tradizionale.
- G** Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsfere metalliche con polimeri termoplastici e per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici
- H** Comunicazione e diffusione dei risultati

## A. Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system).

- *Analisi comparativa delle tipologie di batterie al Litio disponibili sul mercato ed adatte all'utilizzo come elemento base per la realizzazione di moduli commerciali di ampia diffusione per applicazioni veicolari (alimentazione della propulsione elettrica pura, della propulsione ibrida, dei sistemi ausiliari);*
- *Prove preliminari su celle li-ione per la selezione della tipologia delle stesse*



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PISA

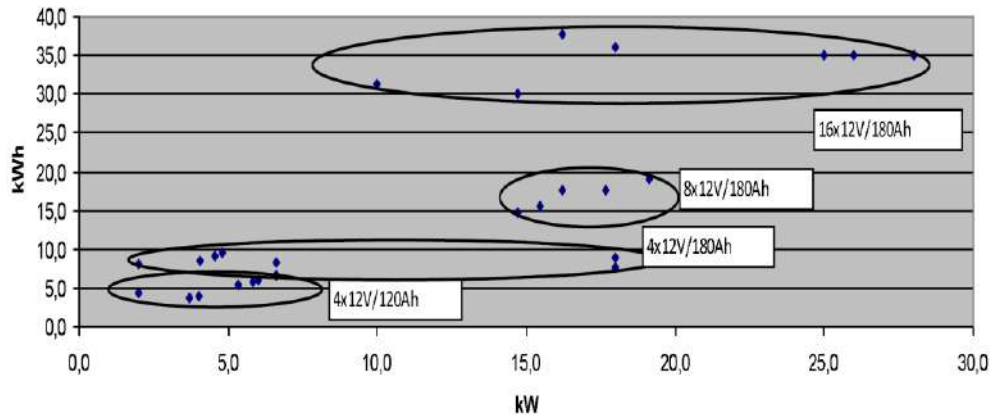
Dallo studio, condotto in collaborazione con l'Università di Pisa, la tipologia di Li-ione più adatta come batteria di bordo per autovetture, per range di tensioni di funzionamento e caratteristiche di sicurezza, è risultata essere quella ferro-fosfato.

La stessa tipologia di cella, per considerazioni di costo e di sicurezza, vedi figura, è stata ritenuta il miglior compromesso per una produzione di serie destinata al mercato della trazione, stradale e non (cantieri cittadini, per la pulizia delle strade, giardinaggio, orticoltura e serre, tempo libero) e per la nautica (ausiliari e/o propulsione in aree protette ed in porto).

## A. Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system).

- Valutazione dei potenziali servizi che il/i modulo/i da realizzare potrebbe/ro fornire,
- Identificazione di un piccolo numero di tipologie di batterie modulari caratterizzate da potenziale attrattività per il mercato veicolistico, ed identificazione per essi delle relative nicchie di mercato.

Distribuzione delle necessità, in potenze ed energia, per l'elettificazione delle macchine



Macchine per orticoltura, giardinaggio, cantiere, hobbistica

Caratteristiche elettriche principali del modulo		
Tensione nominale [V]		12.80
Capacità nominale [Ah]		30 – 60 - 90
Peso massimo [kg]		4.6 – 8.2 – 13.6
Energia specifica max. [Wh/kg]		83 – 94 - 94
Densità di energia max. [Wh/l]		135 – 136 - 138
Scarica @ +23 °C	Max. corrente cont. [A]	90 – 180 - 300
	Picco @ 60 sec [A]	150 – 300 - 500
	Cut - off [V]	10
Carica @ +23 °C	Metodo di carica	CC/CV (14.6 V)
	Max. corrente cont. [A]	30 – 60 - 100
	Cut - off	15.4 V

La nostra analisi del mercato "off roads" ha stimato un volume di vendita al 2020 per i veicoli corrispondente ad oltre 500.000 kWh, equivalenti a circa 20.000 auto elettriche di taglia media. Ai fini della standardizzazione, si è quindi definita una taglia piccola (30 Ah) per la batteria d'avviamento, ed due taglie per coprire le esigenze della trazione elettrica e della nautica, una media (60 Ah) ed una grande (90 Ah) accoppiabili in parallelo per realizzare moduli da 120 Ah e 180 Ah.

## A. Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system).

- *Valutazione comparata di alcune tipologie di BMS commerciali e selezione dei criteri di utilizzo/implementazione degli stessi nei moduli ed emissione delle specifiche tecniche per la realizzazione di un BMS specifico*
- *Realizzazione di un sistema modulare per la sperimentazione al banco*



Sistema di accumulo 200 Ah/48 V adatto a diverse esigenze di trazione elettrica in fase di test

Sono state quindi provate in laboratorio celle di quattro diversi fornitori, è stata effettuata la progettazione preliminare per le tre taglie, definite in via preliminare le specifiche progettuali dei relativi BMS.



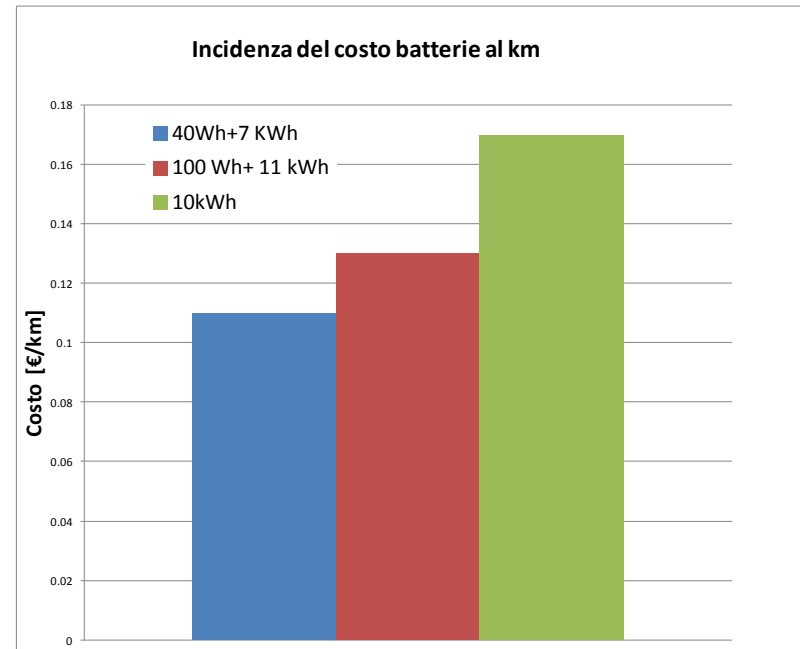
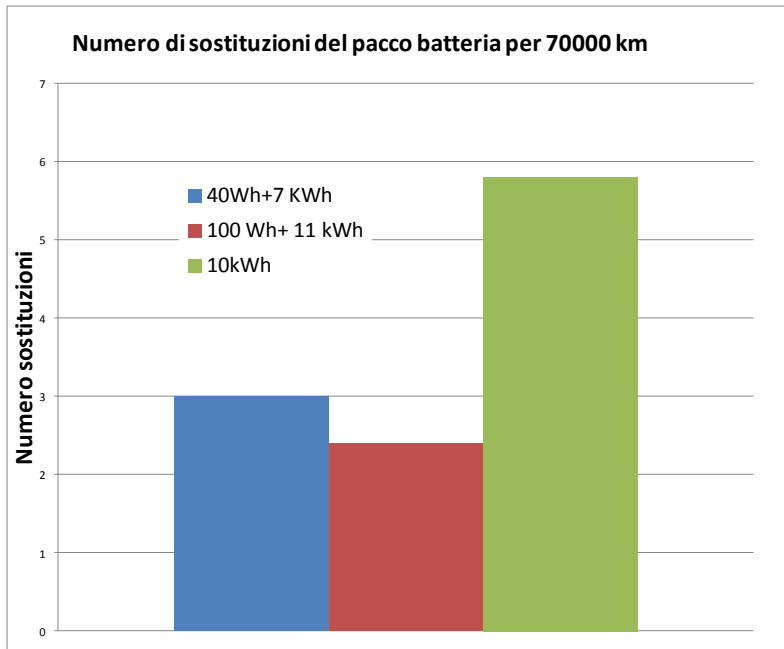
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PISA

## B. Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori).

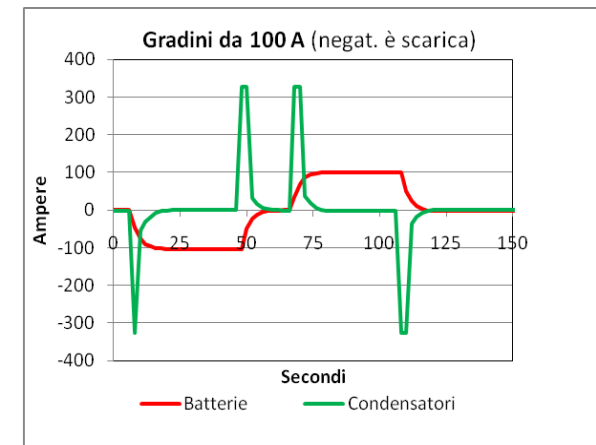
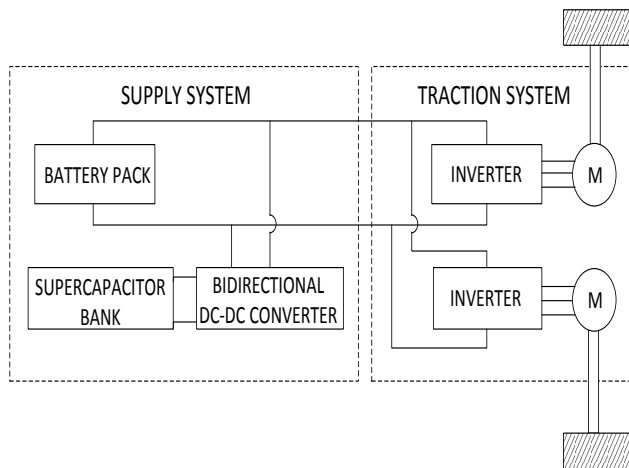
- Individuazione dei limiti e degli impieghi della tecnologia a supercondensatore e delle batterie elettrochimiche tradizionali nella trazione elettrica
- Individuazione dei benefici tecnici a livello di sistema derivanti dall'integrazione di un accumulo a supercondensatori ad una batteria elettrochimica al piombo in missioni tipiche della trazione elettrica per allungare la durata delle batterie al piombo e, nel contempo, migliorare l'efficienza del sistema.



POLITECNICO  
DI MILANO



- B. Studio di altri sistemi avanzati di accumulo di energia, quali supercondensatori e sistemi di accumulo misti (batterie + supercondensatori).
- *Verifiche sperimentali su di un sistema di accumulo misto*



Banco di prova e schematizzazione del sistema di accoppiamento batterie e supercapacitori

Le valutazioni sperimentali delle potenzialità applicative della tecnologia sono state condotte in ENEA e presso il Laboratorio di Sistemi Elettrici per l'Automazione e la Veicolistica del Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di Padova, inizialmente su batterie piombo-acido soggette a diversi regimi di scarica (con e senza peak-shaving), quindi con un sistema reale a 42 V, costituito da batterie da trazione piombo-acido (6V/200 Ah), da un banco supercondensatori, 4x2, formato da moduli Maxwell BMOD0250P016 B02 da 250 F/16 V e da una interfaccia di potenza che controlla la carica/scarica del banco supercondensatori.

# Obiettivi previsti e risultati conseguiti: obiettivo C1

C. Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida.

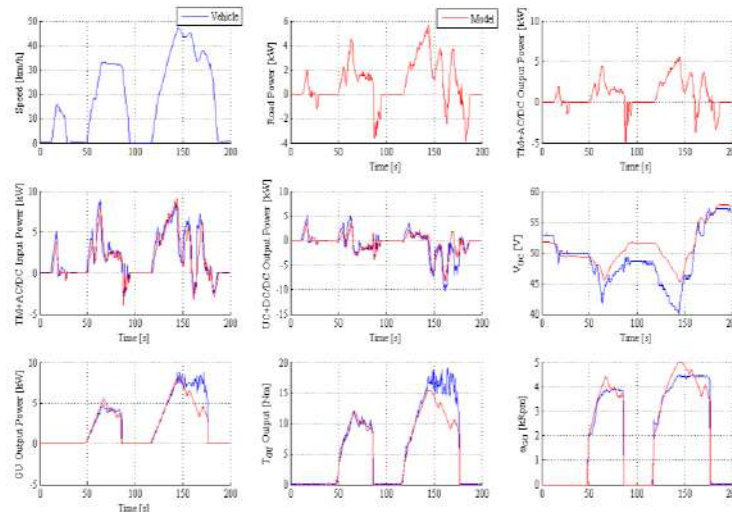
- *Valutazione teorico-sperimentale delle possibilità di applicazione su microvetture di derivazione stazionaria ad alto rendimento e basso costo*
- *Indagine di mercato per individuare uno o più dispositivi commerciali utilizzabili nella specifica applicazione ed acquisizione dello stesso*



UNIVERSITÀ  
DELL'AQUILA



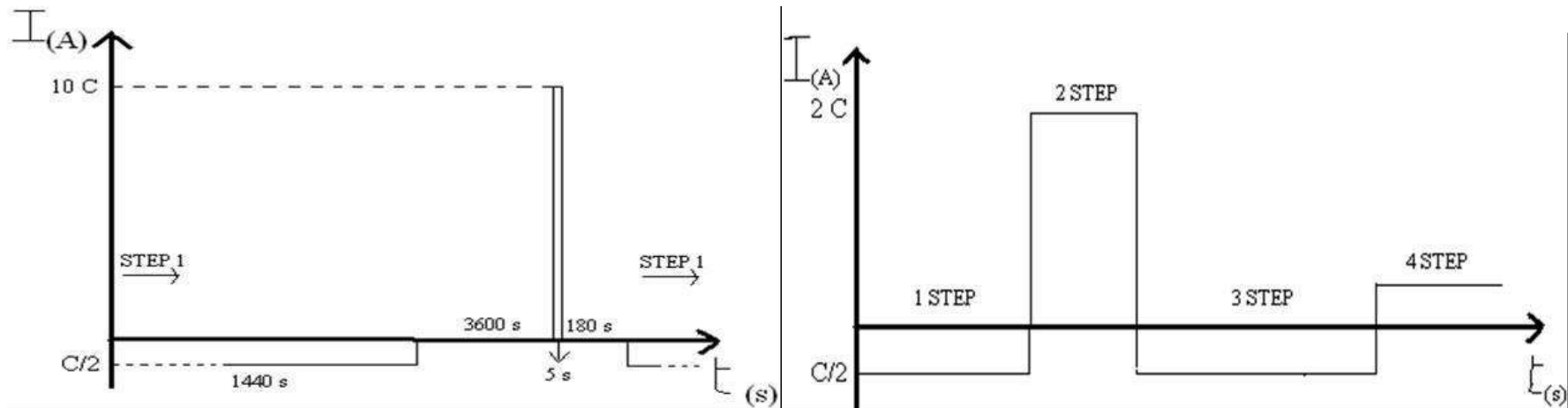
Simulazioni dei cicli di funzionamento urbano  
ECE per autoveicolo ibrido



Convertitore commerciale  
DC/DC 4050 W  
Costo 2300\$

C. Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida.

- *Sperimentazione di ricarica rapida*



Sono stati caratterizzati, con le procedure EUCAR, due sistemi di accumulo agli ioni litio di diversa tipologia, Litio-ferro fosfati e Litio-NiMnCo, misurandone le prestazioni anche in termini di potenza di picco rigenerativa (frenata) (10 C) e di ricarica rapida (2 C).

Le prestazioni delle batterie NMC risultano, come dichiarato dal costruttore, migliori sia in termini di potenza specifica ( $1.374 \text{ W/kg} > 800 \text{ W/kg}$ ) che in termini di rendimento di carica/scarica (90% vs. 80%), a fronte di un costo maggiore (circa doppio per la NMC) e di una maggiore sensibilità al "thermal runaway".

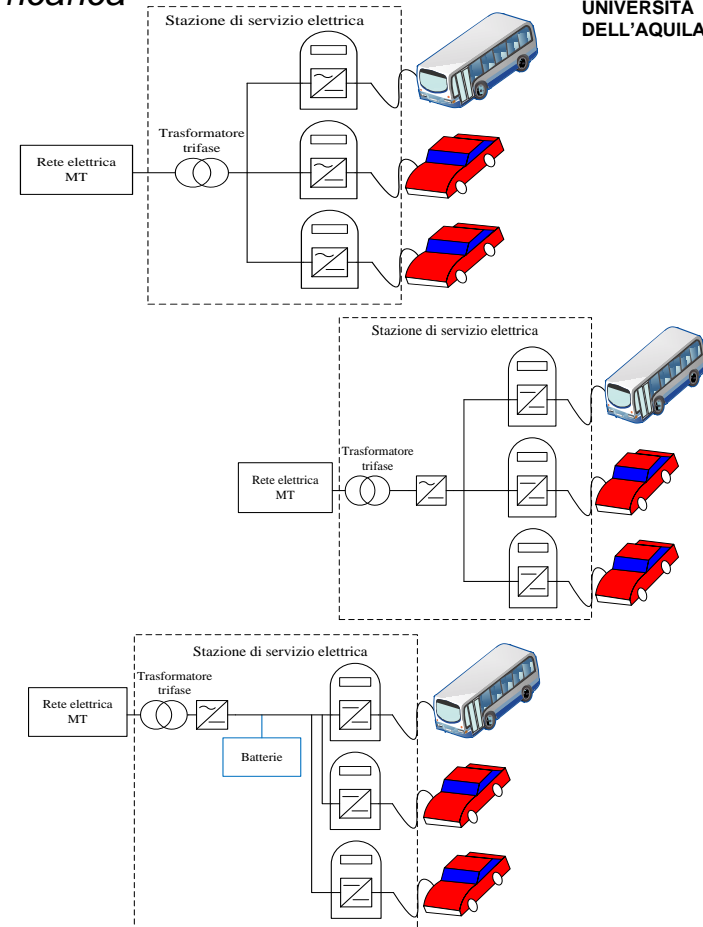
## C. Adattamento di convertitori di piccola potenza ad alto rendimento all'uso nei veicoli elettrici leggeri, e sperimentazione di sistemi di ricarica rapida.

- Valutazione di possibili configurazioni di sistemi di ricarica



UNIVERSITÀ  
DELL'AQUILA

Convertitore fisso		
Conversione finale AC/DC		
Potenza di carica	Vantaggi	Svantaggi
3C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta efficienza</li> <li>Carica ultrarapida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi per la rete e per l'impianto dovuti alla variabilità del carico</li> <li>Elevato costo d'impianto</li> </ul>
Conversione finale DC/DC		
Potenza di carica	Vantaggi	Svantaggi
3C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carica ultrarapida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemi per la rete e per l'impianto dovuti alla variabilità del carico</li> <li>Doppia conversione</li> <li>Elevato costo d'impianto</li> </ul>
Conversione finale DC/DC con accumulo fisso		
Potenza di carica	Vantaggi	Svantaggi
3C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carica ultrarapida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doppia conversione</li> <li>Elevato costo d'impianto</li> </ul>
Conversione finale DC/DC con accumulo fisso e conversione AC/DC reversibile		
Potenza di carica	Vantaggi	Svantaggi
3C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carica ultrarapida</li> <li>"Aiuto" per la rete</li> <li>Ideale per generazione distribuita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doppia conversione</li> <li>Elevato costo d'impianto</li> </ul>



## D. Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle tecnologie suddette

- *Raccolta dati, modellazione e quantificazione del Life Cycle Assessment per batterie per autotrazione di ultima generazione (1)*

Lo studio di Life Cycle Assessment delle batterie per autotrazione è stato realizzato in collaborazione con il Dipartimento dell'Energia dell'Università di Palermo e in accordo alle norme della serie ISO 14040 (2006) ed all'International Reference Life Cycle Data System ILCD Handbook, linee guida internazionali.

	UF <sub>1</sub>	UF <sub>2</sub>	UF <sub>3</sub>
GWP (kgCO <sub>2eq</sub> )	166,8	297,2	486,5
POCP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4eq</sub> )	0,10	0,17	0,28
ODP (kg CFC-11 <sub>eq</sub> )	2,4E-03	4,3E-03	7,2E-03
AP (kg SO <sub>2eq</sub> )	1,01	1,79	2,94
EP (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> <sub>eq</sub> )	1,11	2,02	3,37



UNIVERSITÀ  
DI PALERMO

Oggetto dello studio le batterie da 30, 60, 90Ah, con tensione nominale di 14 V, basate su tecnologia ferro-fosforo (LiFePO<sub>4</sub>).

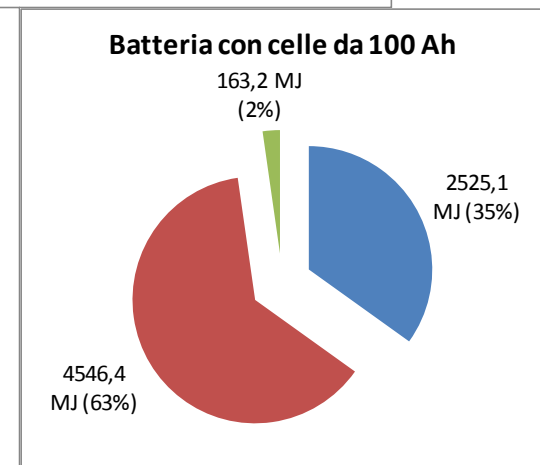
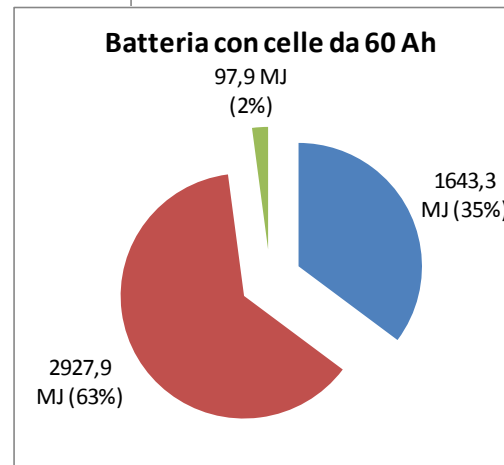
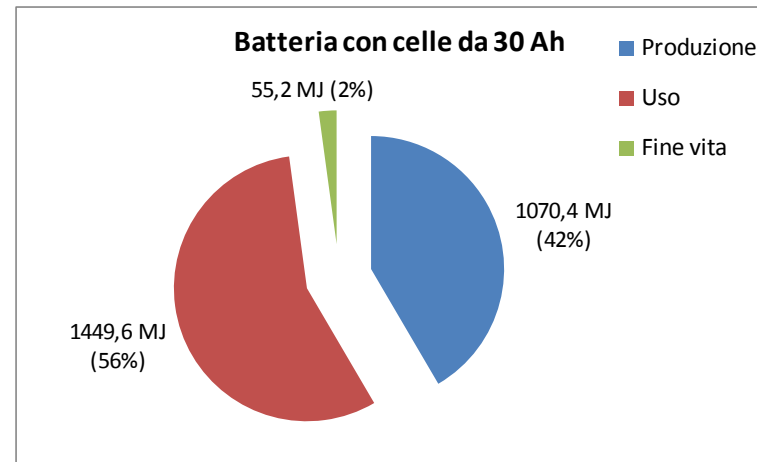
Sono stati determinati gli impatti rispetto a diverse categorie di impatto, quali consumo di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile, effetto serra potenziale, distruzione dello strato di ozono, formazione di ossidanti fotochimici, eutrofizzazione potenziale, acidificazione potenziale.

## D. Life-Cycle Assessment energetico ambientale delle batterie

Le fasi più rilevanti della valutazione LCA sono risultate la fase d'uso delle batterie, rispetto alla quale i risultati ottenuti hanno evidenziato che il consumo di energia primaria (perdite in batteria) è responsabile dei maggiori impatti energetico – ambientali, circa il 67-77% dell'intero ciclo di vita.



UNIVERSITÀ  
DI PALERMO



## E. Analisi dello stato dell'arte ed acquisizione di AFS standard e loro qualificazione chimico/fisica e sviluppo di processi di schiumatura innovativi

- *Analisi dello stato dell'arte dei processi di produzione di schiume metalliche e di componenti (AFS o estrusi)*



UNIVERSITÀ  
DI ROMA TOR VERGATA

### Metodi di produzione

decomposizione di agenti schiumanti nel fuso

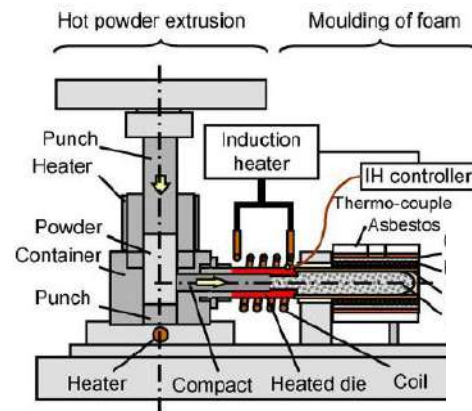
Metallurgia delle polveri

l'iniezione di gas nel fuso

la replica di una matrice polimerica

l'impiego di space holder

Ibridizzazione con sfere cave



Ferrari F430 Spider irrigidimento con profilati riempiti con schiuma

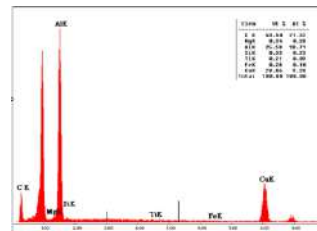
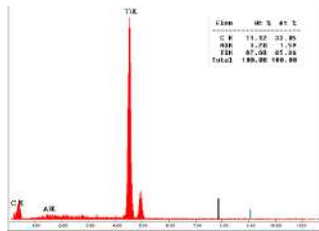
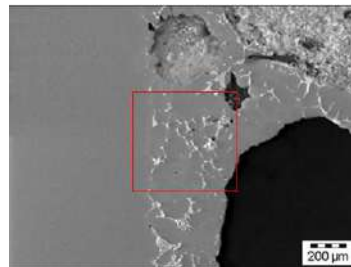
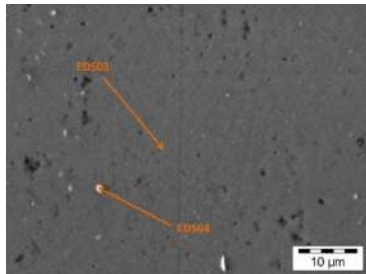


L'analisi dello stato dell'arte sulla produzione delle schiume metalliche ha messo in evidenza la possibilità di produzione di schiume metalliche di molteplici tipi di materiali e con diverse tecnologie fra le quali la più promettente per componenti in lega di alluminio è certamente il metodo di metallurgia delle polveri. Questo metodo, infatti, consente di ottenere con una buona flessibilità, sia con processi di produzione continua sia discontinua, elementi strutturali come estrusi rinforzati o *Aluminum Foam Sandwich*.

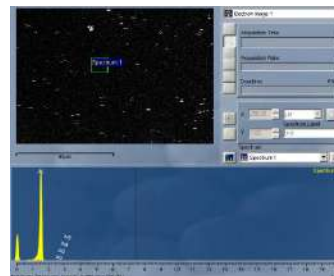
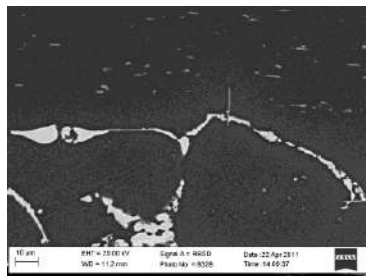
Gli AFS possono trovare varie applicazioni nel settore dei trasporti, in particolare, nei grandi mezzi di trasporto come autobus, treni e navi esistono alcuni esempi di applicazione dei pannelli AFS con *main frame* in alluminio nella realizzazione di fiancate ed imperiali.

## E. Analisi dello stato dell'arte ed acquisizione di AFS standard e loro qualificazione chimico/fisica e sviluppo di processi di schiumatura innovativi

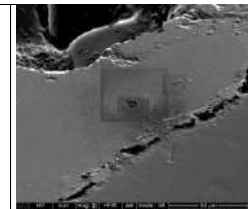
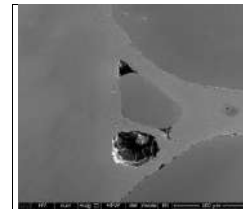
- Analisi micro strutturale e microanalitica di precursori e AFS commerciali



Analisi SEM EDS: a SX precursore; a DX AFS

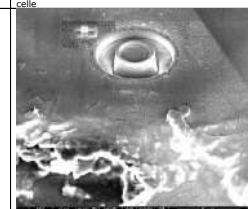
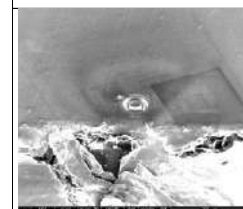


Analisi Interfaccia pelle ENEA, ha evidenziato la presenza di Ag e tracce di Pb.



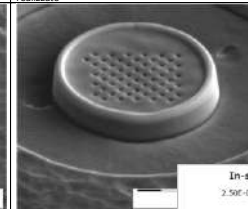
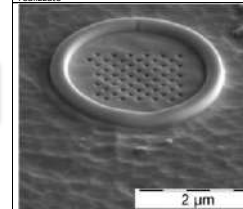
01 - micrografia ad elevati ingrandimenti della zona di interfaccia pelle/schiuma

02 - micrografia ad alti ingrandimenti di una delle misure di stress residuo realizzate sulle pareti delle celle



03 - immagine di dettaglio di una delle prove realizzate

04 - immagine di dettaglio di una delle prove realizzate



04 - immagine esemplificativa della micrografia acquisita prima dello scacco (Materials Science and Engineering A 528 (2011) 7901-7908)

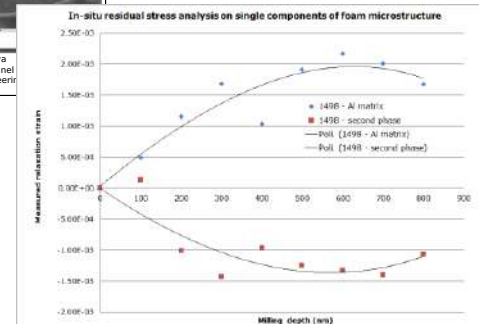
05 - immagine esemplificativa della micrografia acquisita in modo incrementale nel (Materials Science and Engineering A 528 (2011) 7901-7908)



UNIVERSITÀ  
DI ROMA ROMA 3

Studio tensioni residue sulle pareti dei pori:

La matrice di alluminio risulta localmente in compressione mentre la seconda fase in Trazione (150 MPa)



## E. Analisi dello stato dell'arte ed acquisizione di AFS standard e loro qualificazione chimico/fisica e sviluppo di processi di schiumatura innovativi

- Sviluppo di processi di produzione di schiume metalliche, con il metodo della Metallurgia delle Polveri (MP).

Fra i metodi di produzione di materiali metallici a celle chiuse in lega di alluminio la tecnologia MP è sicuramente quella che risulta più flessibile.

L'università Roma Tor Vergata si è occupata di verificare l'influenza dei componenti nucleanti (SiC) e schiumanti (TiH<sub>2</sub>).

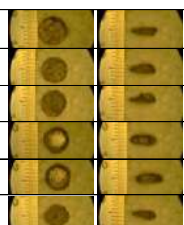
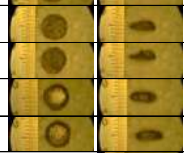




ENEA ha studiato, con prove in DSC, l'influenza dei tempi e delle temperature di schiumatura e la loro influenza sulla densità di precursori commerciali eutettoidi che possono trovare applicazione nella realizzazione di AFS ed elementi irrigiditi.

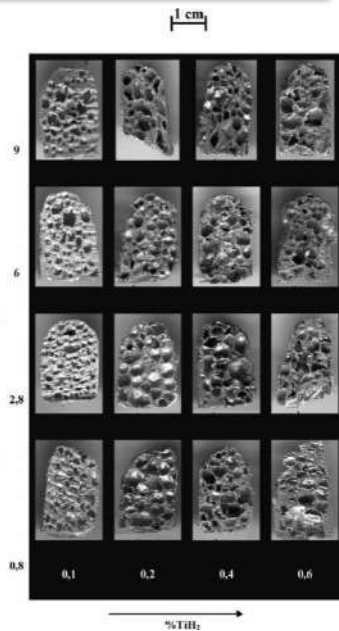
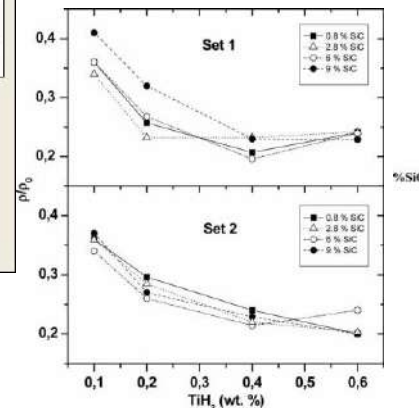
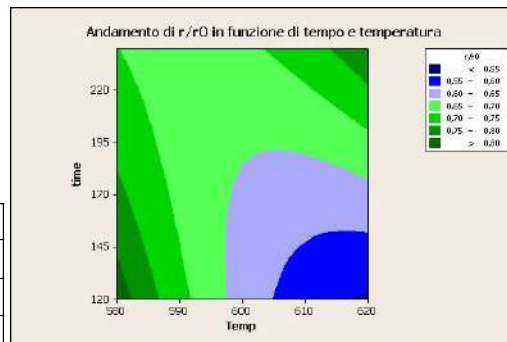


UNIVERSITÀ  
DI ROMA TOR VERGATA

Ottimizzazione della composizione SiC, Al, TiH<sub>2</sub> per schiume su scala di laboratorio

Analisi DOE delle prove DSC su precursore AISi10

ID	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (sec)	$\rho/\rho_0$	IMMAGINI
AISI10_24	615	60	0,546	
AISI10_23	615	75	0,523	
AISI10_22	615	90	0,538	
AISI10_16	620	60	0,430	
AISI10_20	620	75	0,454	
AISI10_21	620	90	0,443	



## E. Analisi dello stato dell'arte ed acquisizione di AFS standard e loro qualificazione chimico/fisica e sviluppo di processi di schiumatura innovativi

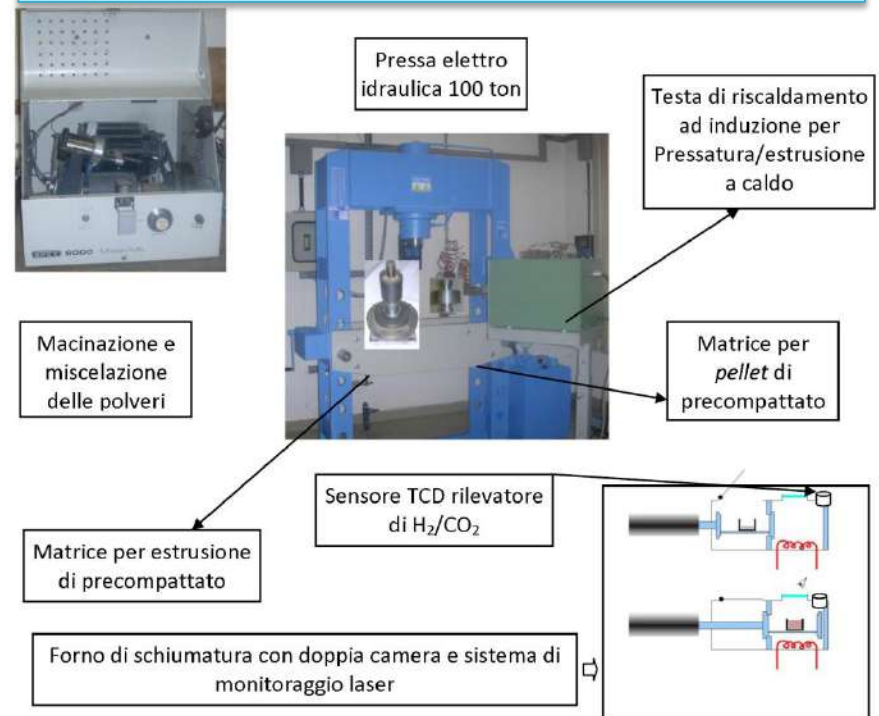
- *Esame delle criticità del processo per produrre parti in schiuma di maggiori dimensioni con definizione delle caratteristiche di alcune apparecchiature necessarie per l'impianto pilota per la fabbricazione di schiume di alluminio.*

E' stata avviata la fase di allestimento di un laboratorio per l'upscaling dei processi di produzione delle schiume da scala di laboratorio a scala pre industriale (400 x 400 x 30 mm).

La parte qualificante del nuovo laboratorio riguarda l'acquisizione di un forno dedicato con finestra ottica e sistema di monitoraggio della temperatura, dell'espansione (mediante sistema di misura a triangolazione laser) e di sensore a conducibilità termica per il monitoraggio continuo dell'evoluzione dell'idrogeno.

Inoltre, è stata acquistata una pressa elettro idraulica su cui saranno installate alternativamente matrici di pressatura/estrusione.

Schema dell'impianto per la produzione e lo studio di precursori e schiume



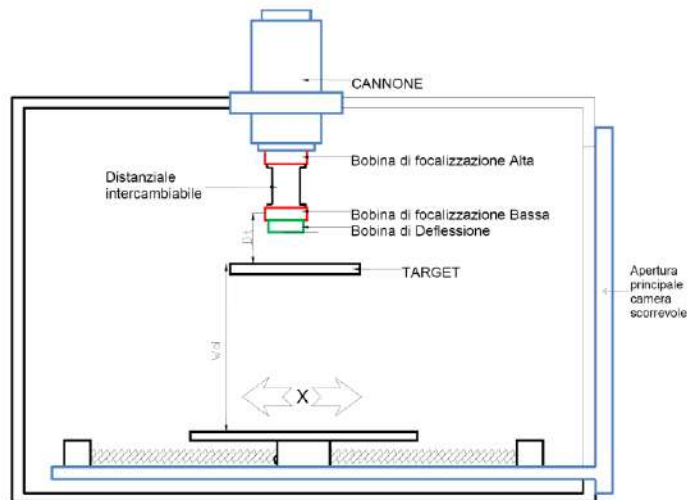
## F. Sviluppo delle tecnologie di giunzione per materiali in schiuma metallica

- Sviluppo di processi di saldatura ad alta densità di energia EBW e LBW per pannelli AFS e di eventuali elementi di transizione che migliorino le performance delle zone saldate;

Sono stati ottimizzati i parametri di saldatura laser ed EBW mediante analisi DOE.

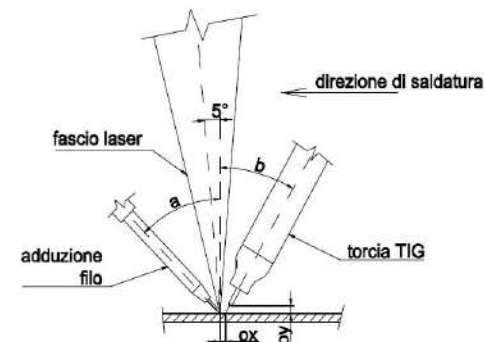
E' stato sviluppato un processo di saldatura specifico Laser TIG Filo ad elevata produttività.

Sono stati utilizzati elementi di transizione per migliorare il comportamento della giunzione e per simulare il collegamento a main frame in leghe di alluminio.



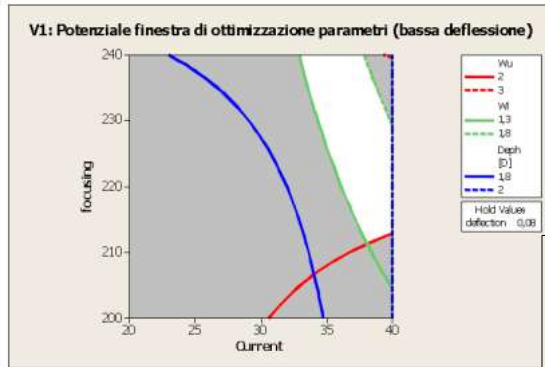
Schema impianto fascio elettronico. Parametri ottimizzati: velocità, corrente deflessione, focalizzazione

Schema saldatura ibrida laser TIG  
Parametri investigati: velocità, corrente TIG,  $O_y$ ,  $O_x$



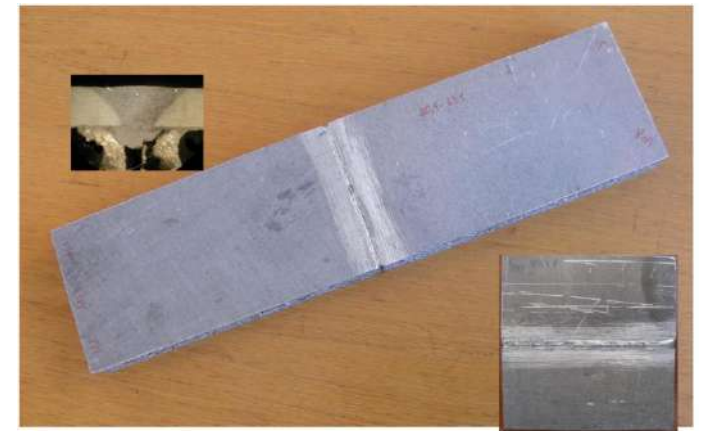
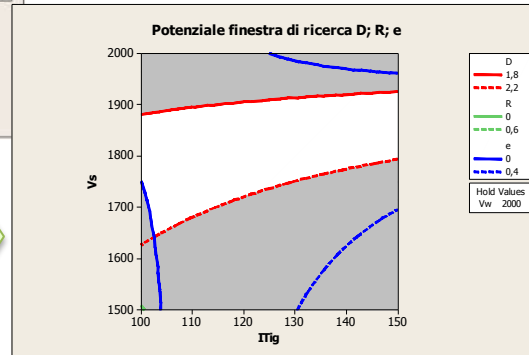
## F. Sviluppo delle tecnologie di giunzione per materiali in schiuma metallica

- Sviluppo dei processi di saldatura EBW e laser per pannelli AFS con e senza elementi di transizione;



Finestra di saldatura per Tecnologia EBW

Finestra di saldatura per Tecnologia Laser TIG



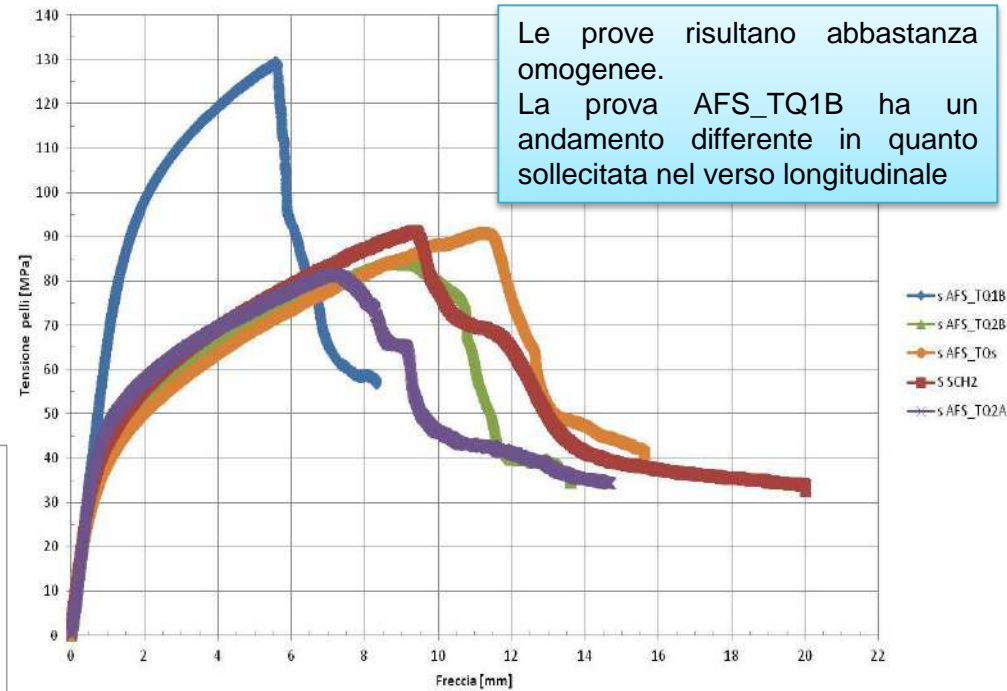
Saldatura EBW rappresenta un benchmark.

La saldatura laser TIG con materiale d'apporto rappresenta una valida alternativa che meglio si presta all'industrializzazione. Entrambe permettono saldatura di qualità testate fino a 3 m/min.

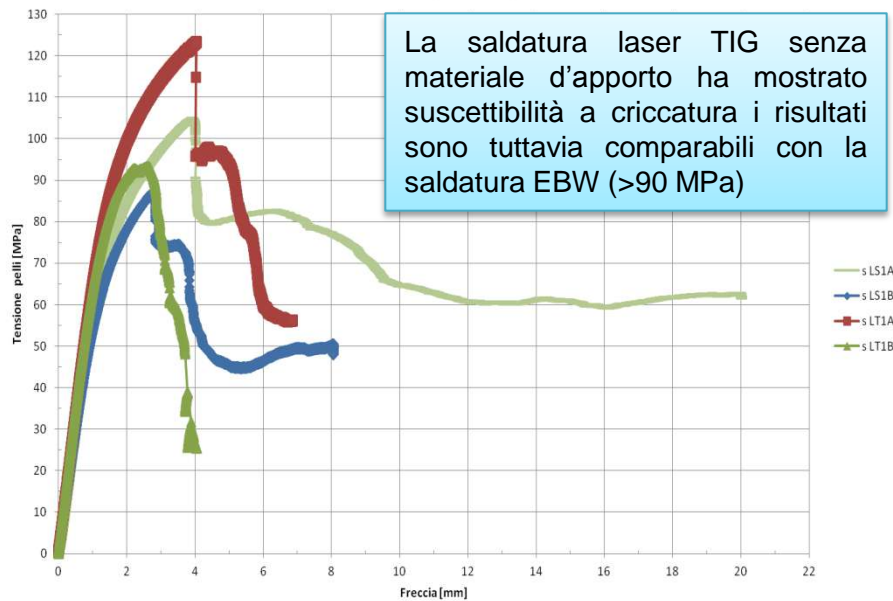
La saldatura con inserti o materiale d'apporto in lega AA 5383 introduce vantaggi dal punto di vista metallurgico

# Obiettivi previsti e risultati conseguiti: obiettivo F2

Andamento della  $\sigma$  per prove a flessione su 4 punti



Andamento della  $\sigma$ : Confronto fra per campioni saldati EBW e LASER TIG

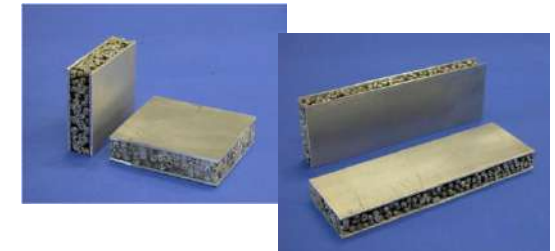


## G. Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsferie metalliche con polimeri termoplastici e per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

- *Sviluppo di processi per la realizzazione di componenti crashworthines con microsferie di alluminio resine termoplastiche ;*



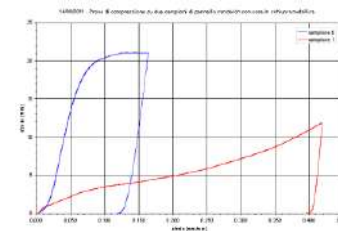
E' stato sviluppato un processo per la realizzazione di sfere cave di alluminio mediante tecnologia basata sulla granulazione di miscele di polveri di alluminio e polveri organiche, e legante organico, successivo dewaxing e sinterizzazione a 650 ;



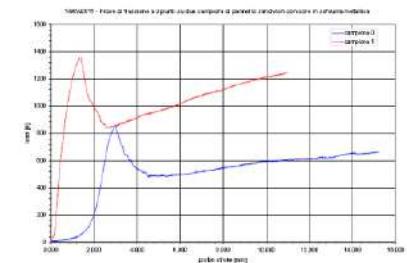
Sono stati realizzati pannelli per prove di compressione flessione di spessore 15 mm con pelli in lega di alluminio di 1,5 mm di spessore

Sono stati avviati i test di caratterizzazione che mostrano una grande variabilità dei risultati in funzione del la migliore o peggiore agglomerazione delle sfere .

Le prove di conducibilità termica hanno mostrato valori estremamente contenuti rispetto a quelli dell'alluminio (1W/mk vs 230 W/mK)



Caratterizzazione meccanica a compressione mostra due risultati estremamente variabili ma con  $E=0,2- 0,4$  GPa e  $S=10-20$  MPa. Le prove a flessione su 3 punti mostrano anch'esse una forte variabilità con  $S$  delle pelli di 20-33 e  $\tau$  del core fra 0.7-1 MPa



## G. Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsferie metalliche con polimeri termoplastici e per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

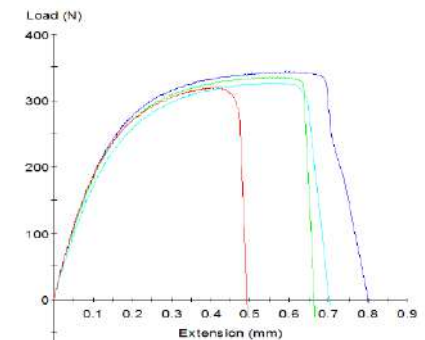
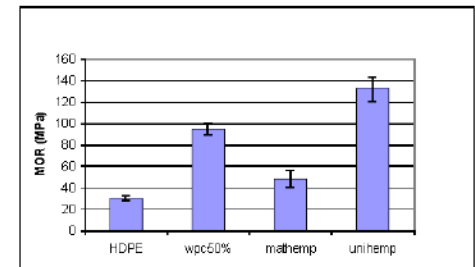
- *Sviluppo di processi di fabbricazione di interiors leggeri ed ad alta riciclabilità con matrici termoplastiche e rinforzi in fibre naturali.*

Attività condotte in collaborazione con il DIMP dell'Università Federico II :  
Sviluppo e caratterizzazione di pannelli in PE rinforzato con farina di legno (Wood Polymer Composite) e pellet di legno e canapa (20% + 20%).

Le attività condotte da ENEA hanno riguardato lo sviluppo di pannelli in polipropilene rinforzati con fibre di kenaf (16% - 20%) e lo studio delle caratteristiche meccaniche in funzione della riciclabilità mediante successivi cicli di fabbricazione e macinazione. Il confronto sulla riciclabilità è stato effettuato rispetto al PP puro e PP con il 18% di fibre di vetro.



UNIVERSITÀ  
DI NAPOLI FEDERICO II



Principali risultati sono l'ottenimento di pannelli WPC con rinforzo in fibre corte fino al 50 % con caratteristiche meccaniche triplicate rispetto la solo HDPE (  $S=28$  MPa,  $E= 2$  GPa) ed ulteriormente migliorate dal rinforzo con fibre di canapa unidirezionale ( $S= 102$  MPa  $E=7$ GPa)

Per quanto riguarda i compositi in PP e fibre di Kenaf, è stato verificato che dopo vari cicli di macinatura e ricostruzione le perdite di caratteristiche sono inferiori rispetto ai tradizionali compositi a base di fibre di vetro (4% vs 13%).

