



Accordo di Programma MSE-ENEA



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA SISTEMA ELETTRICO

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

Progetto 3.5: Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi

[G.Barbieri](#), [G. Pede](#), ENEA,

Roma, 29 Novembre 2012

Sintesi degli obiettivi del piano triennale 2009-2011

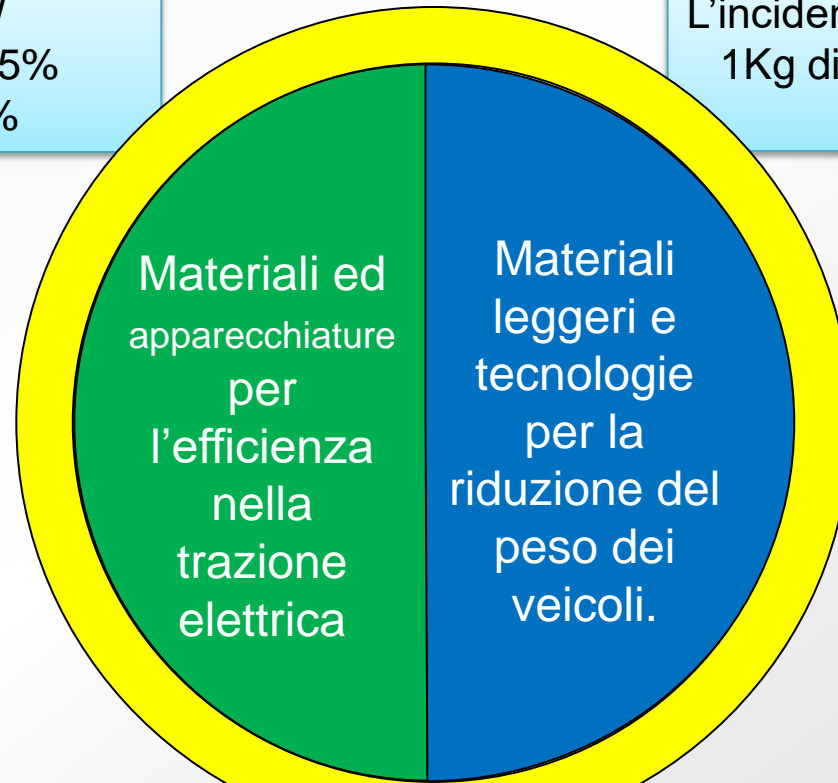
Risparmio di energia nei mezzi di trasporto

Incremento della efficienza di trasformazione dal "pozzo alla ruota" Well-to-Wheel (WTW) attraverso lo sviluppo della trazione elettrica

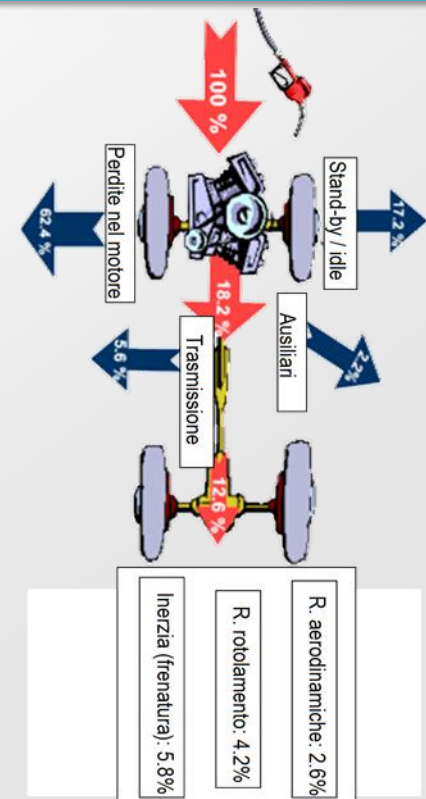
Riduzione dei consumi del veicolo attraverso la riduzione del peso dei veicoli.

Rendimento WTW
Trazione classica: 10%-15%
Trazione elettrica: 35-42%

L'incidenza dell'inerzia è del 6-9%.
1Kg di peso ridotto → riduzione di 20 Kg CO₂/anno



Sostenibilità
Life Cycle Assessment



Accumulo elettrico e motorizzazioni

- Sviluppo di moduli standard litio-ione e dei relativi BMS per differenti applicazioni
- Sviluppo di sistemi con supercondensatori/ batterie al piombo,
- Sistemi di ricarica rapida V2G (Vehicle to Grid)

Life Cycle Assessment & Risk Assessment

- LCA & RA di Batterie al litio
- LCA di pannelli strutturali con core in schiuma di alluminio

Materiali per l'alleggerimento

- Sviluppo di materiali cellulari metallici a base di leghe di alluminio
- Sviluppo di procedure di caratterizzazione e fabbricazione di/con AFS
- Sviluppo di materiali ibridi, (schiume metalliche e matrici polimeriche)
- Sviluppo di materiali per interiors a base di fibre naturali e matrici termoplastiche.

- A** Sviluppo di moduli integrati, completi di BMS (battery management system) ed accumulo misto
- B** Ricarica rapida e V2G (Vehicle-to-Grid)
- C** Life-Cycle Assessment energetico ambientale e Risk Assessment delle tecnologie suddette

Ing. Giovanni Pede
Tel. 06 3048 4312
giovanni.pede@enea.it

Obiettivo A: “Sviluppo di moduli integrati, completi di bms (battery management system) ed accumulo misto”



L'obiettivo mira allo sviluppo di moduli standard da 12V, realizzati con batterie al LiFePO₄. A proseguimento di quanto svolto nel PAR2008-2009, l'obiettivo prevedeva le seguenti attività:

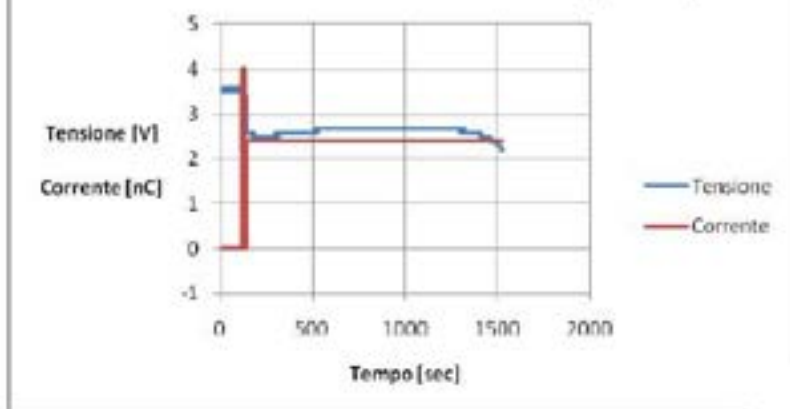
- *esecuzione di prove su campioni delle batterie al litio selezionate nell'anno precedente (avviamento e trazione di veicoli elettrici off-road);*
- *studio del comportamento termico delle batterie e definizione della modalità di raffreddamento (ad aria, o ad acqua);*
- *valutazione in esercizio di BMS (Battery Management System) commerciali di varie tipologie;*
- *realizzazione del BMS (Battery Management System), del sistema di raffreddamento e della struttura meccanica per la costruzione di moduli da 12V:
un modulo di avviamento 30Ah,
due moduli di avviamento 30Ah, 60Ah,
due moduli di trazione 60Ah, 100Ah,
un dimostratore consistente in un sistema batterie 48V – 100Ah
(per un piccolo mezzo da giardinaggio) costituito 4 x 100 Ah.*

Per l'accumulo misto, prevedeva una comparazione tra sistemi misti e non.

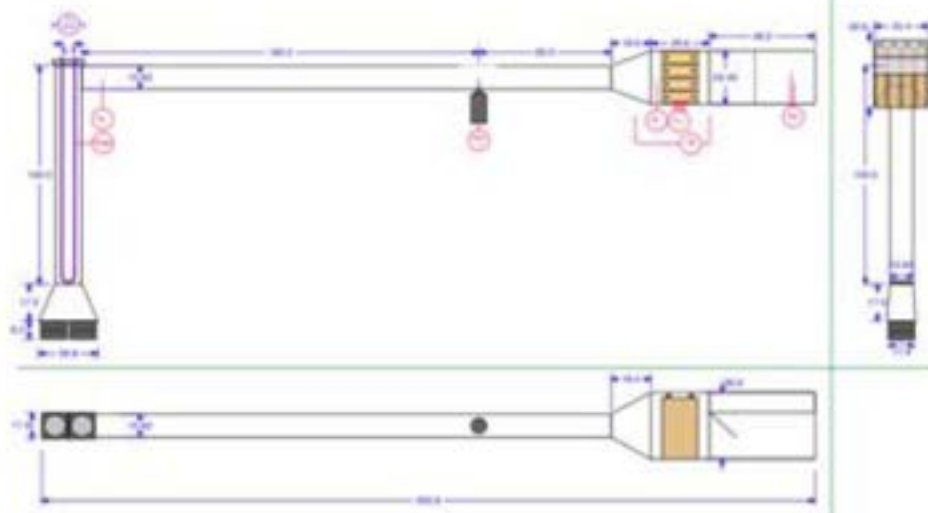
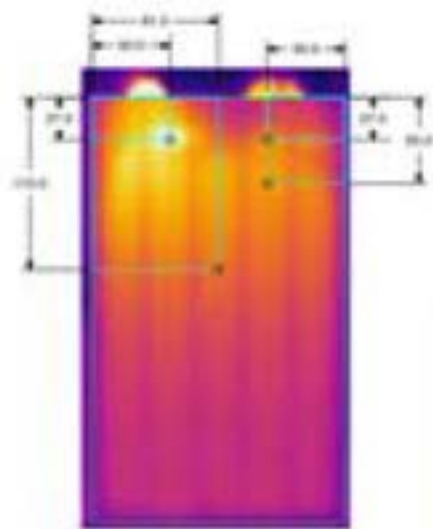
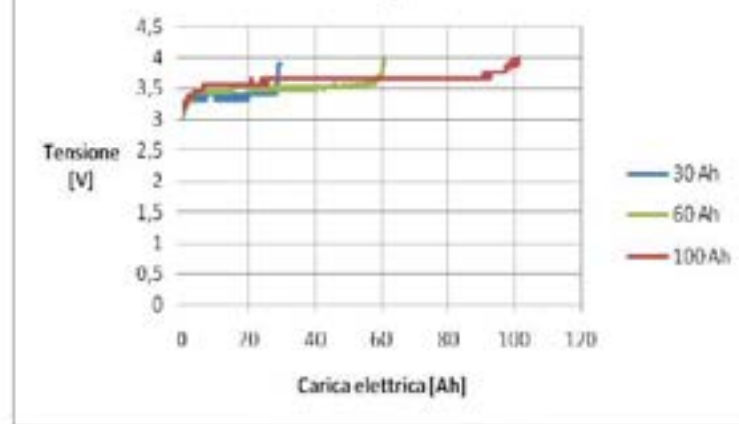
Sviluppo di moduli integrati, completi di bms (battery management system)

Documento RdS/2012/087

Prova di avviamento a freddo (60 Ah)



Carica rapida 1C



Sviluppo di moduli integrati, completi di bms (battery management system)



BMS n. 1 (di tipo passivo) in esercizio



BMS n. 2 (di tipo semiattivo) in esercizio



BMS n. 3 (di tipo passivo) in esercizio



BMS n. 4 (di tipo attivo) in esercizio



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PISA

RdS/2012/088,

RdS/2012/089

Si è adottato il sistema di controllo con bilanciamento di tipo attivo, che è risultato essere quello con il migliore rapporto costo-prestazioni.

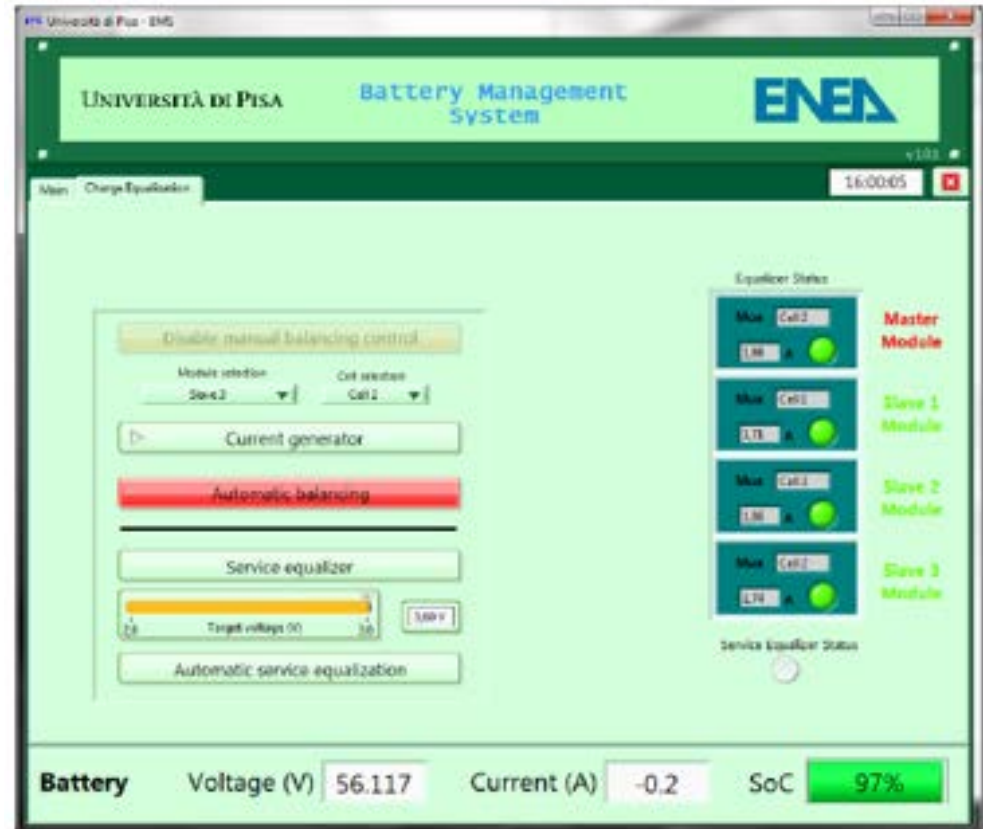
L'Università di Pisa ha trasformato/specializzato il BMS inizialmente fornito in conto prova secondo le particolarità dell'applicazione nei moduli batterie e realizzato la progettazione della versione finale

Sviluppo di moduli integrati, completi di bms (battery management system)

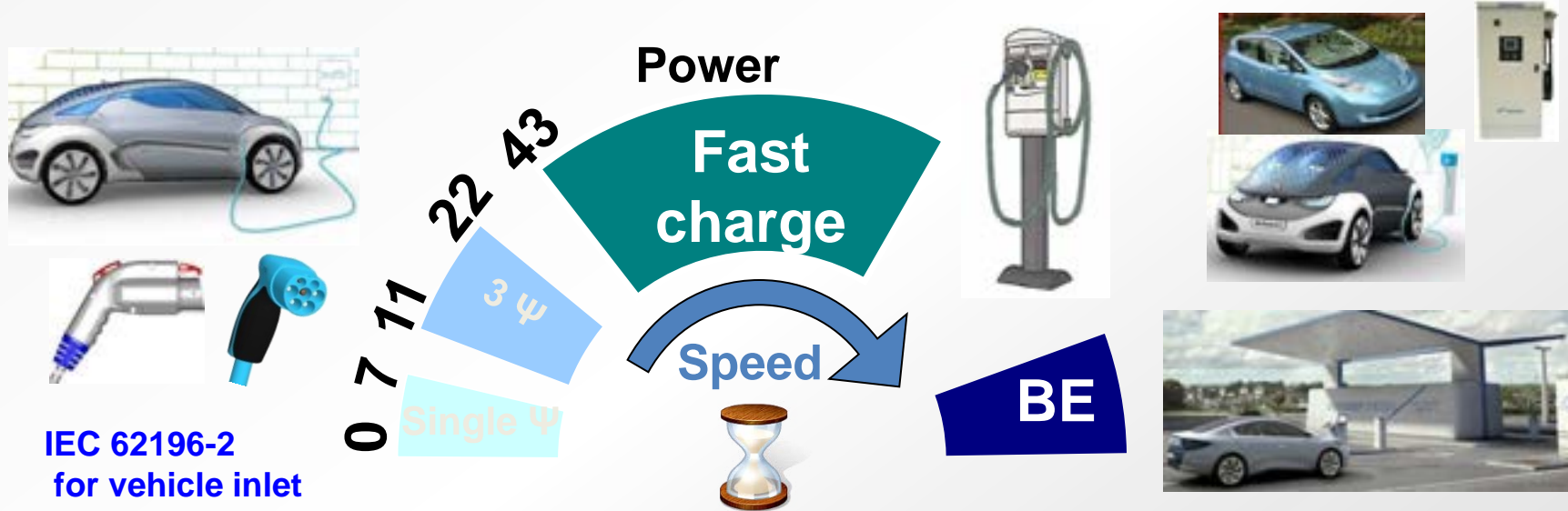




Il sistema di gestione termica del modulo è stato realizzato mediante tre ventilatori 50 x 50 x 20mm da 12Vdc che si alimentano direttamente dal modulo (assorbimento complessivo 500mA) e si attivano quando la temperatura registrata dai sensori posti sulle singole batterie raggiunge il valore +45°C.

Il BMS protegge, monitorizza e bilancia le quattro batterie che sono all'interno del modulo (bilanciamento intra-modulo), nel caso di più moduli interconnessi è possibile bilanciamento inter-modulo. I BMS slave comunicano tra loro e con il BMS master il quale, a sua volta, comunica con l'esterno (centralina veicolo o pc)







“Obiettivo B: Ricarica rapida e interazioni mobilità elettrica/reti intelligenti”



	Standard charge (AC)	→ 1ph: between 4 an 8 hours 3ph: between 1 an 2 hours
	Fast charge (AC or DC)	→ 1 hour or less
	Battery exchange	→ in a few minutes !



I modi di ricarica dei veicoli elettrici a batteria

	Vehicle (tipical)	V	I	P in kW	E in kWh (FastCharge, 1 h)/ Range in km
Mode 1		220	8	$\leq 1,8$	1,76/50
Mode 2		220	16	$\leq 3,3$	3,52/80
Mode 3		380	32/64	20/43	25-43/120
Mode 4		380	125	50	50/120 km in ½ h (charging time)

Nell'ambito del programma dell'annualità, all'obiettivo "B. Ricarica rapida e V2G (Vehicle-to-Grid)", è previsto il bench-mark di due soluzioni possibili per la ricarica rapida (1C) di un minibus da 40-50 kW.

B1: Progetto di un caricabatteria di bordo derivato da un azionamento di trazione

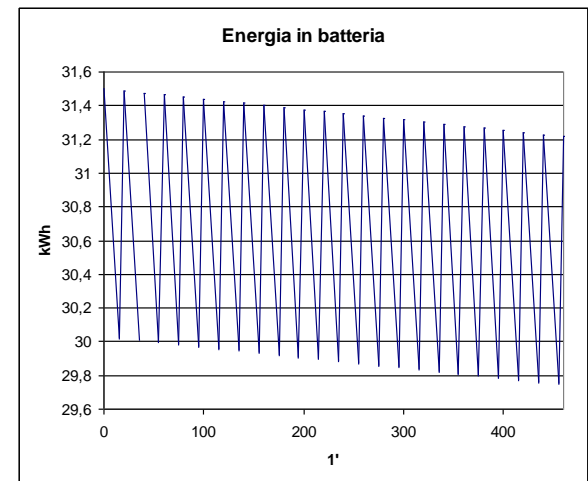
B2: Studio di massima di una stazione di ricarica rapida per linea TPL

Per un confronto tecnico-economico tra le due soluzioni si è scelto un caso concreto, considerando come veicolo un piccolo autobus, il Ducato Metropolis Elettrico, e come utenza una linea di trasporto pubblico locale sulla circonvallazione della città dell'Aquila.



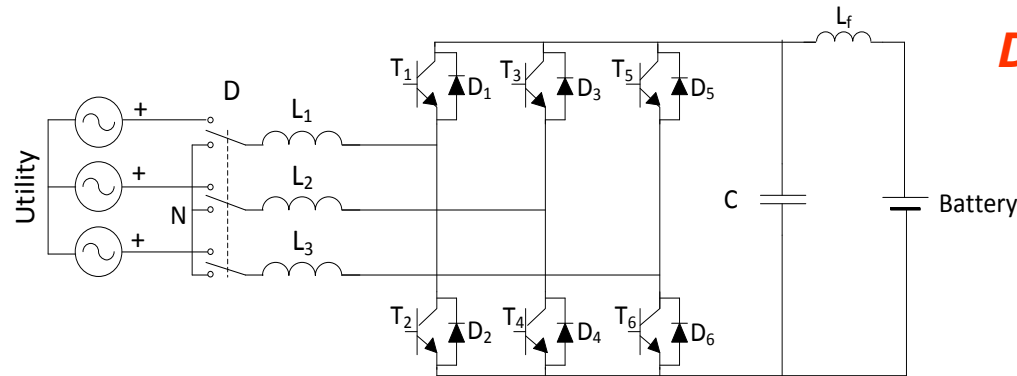
Batteria di trazione

Tensione nominale	263 V
Tensione massima	299 V
Tensione minima di lavoro	216 V
Capacità	120 Ah
Corrente massima di carica	120 A
Corrente massima di scarica	360 A
Energia immagazzinata	31.5 kWh



Schema della soluzione n. 2

Caricabatteria integrale bidirezionale trifase



Documento RdS/2012/090



La topologia in figura richiede che la tensione dell'accumulatore sia superiore al valore di picco della tensione concatenata di rete.

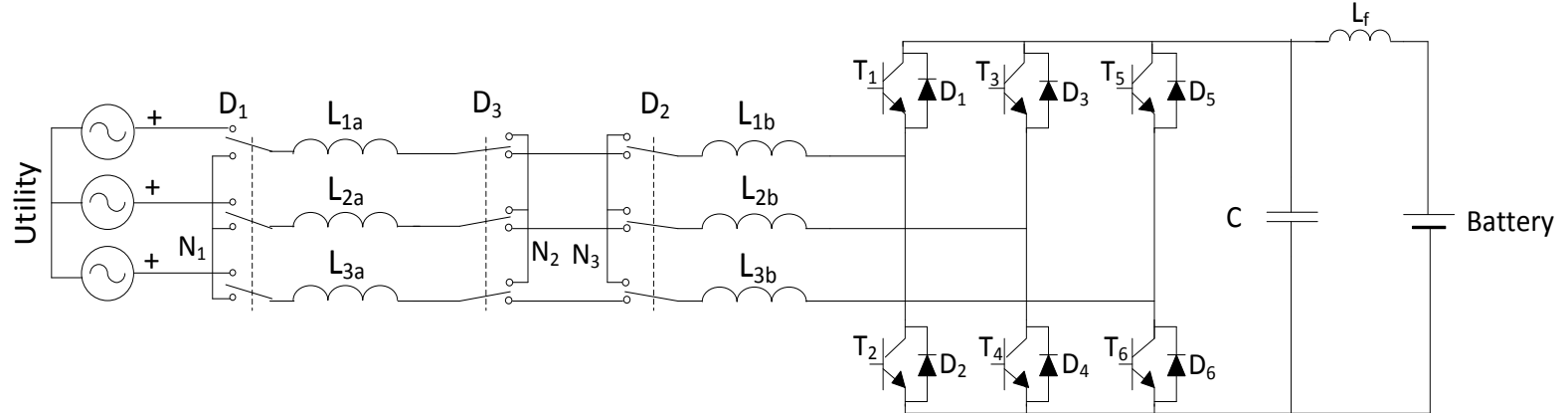
Se questa condizione non è verificata, ed in genere non lo è, si può procedere in due modi:

- interponendo un convertitore DC/DC abbassatore (buck) tra l'uscita del raddrizzatore attivo e la batteria
- oppure interponendo un trasformatore abbassatore tra la rete e l'ingresso del raddrizzatore attivo.

Progetto di un caricabatteria di bordo derivato da un azionamento di trazione

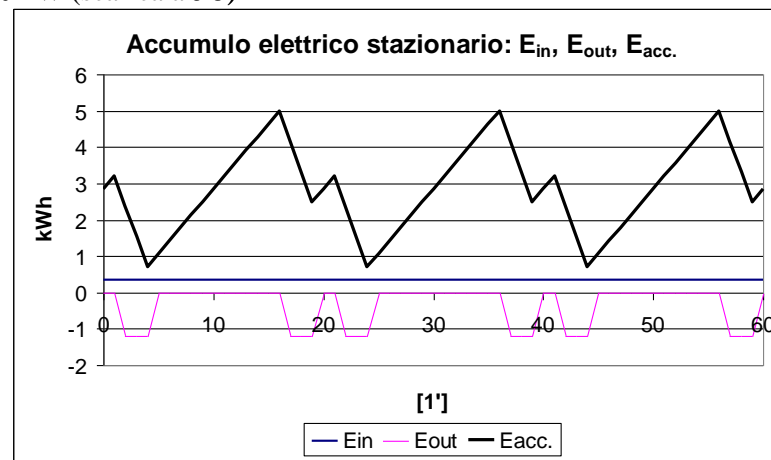
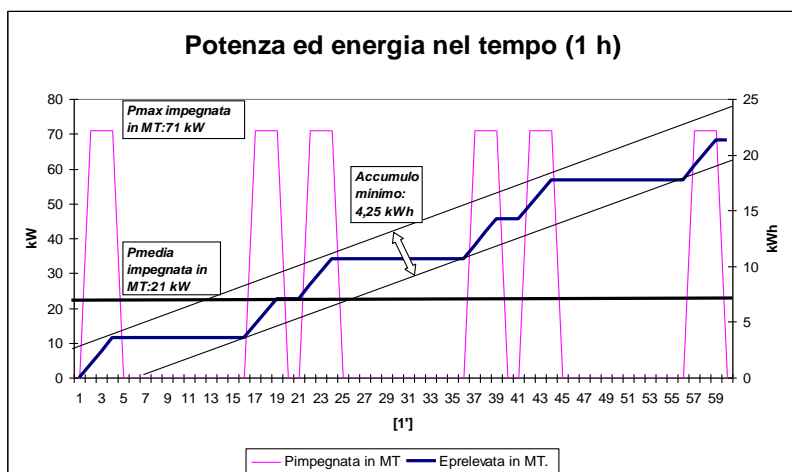
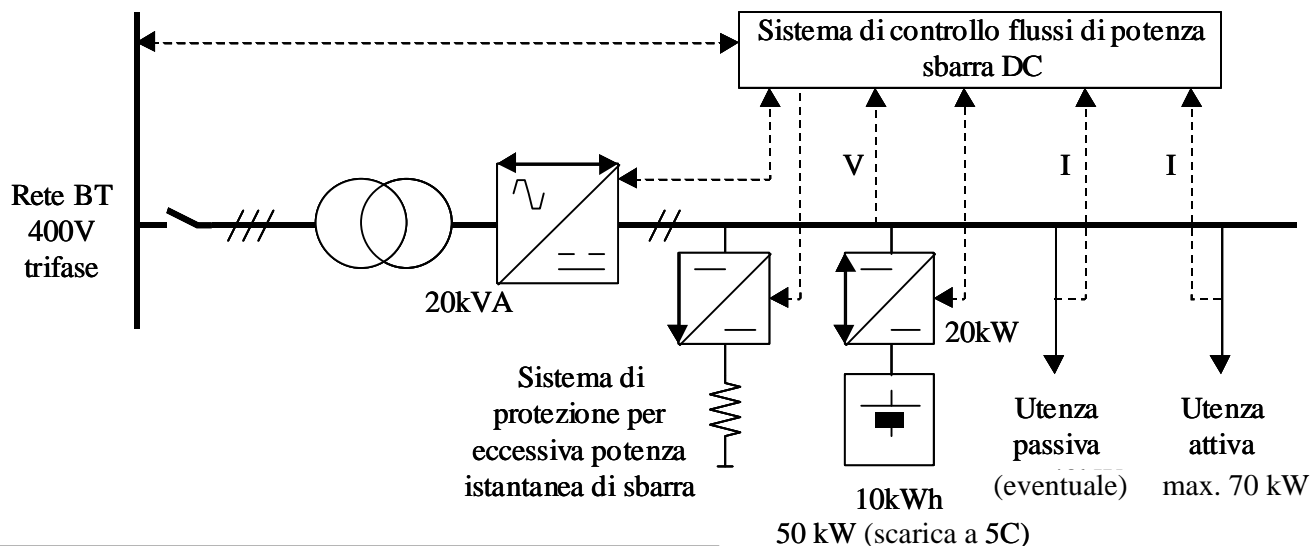


Schema della soluzione n. 2 bis

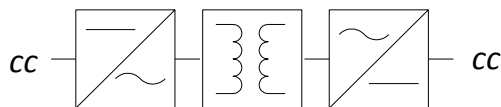


Caricabatteria integrale bidirezionale trifase con motore costruito ad hoc

Documento RdS/2012/092



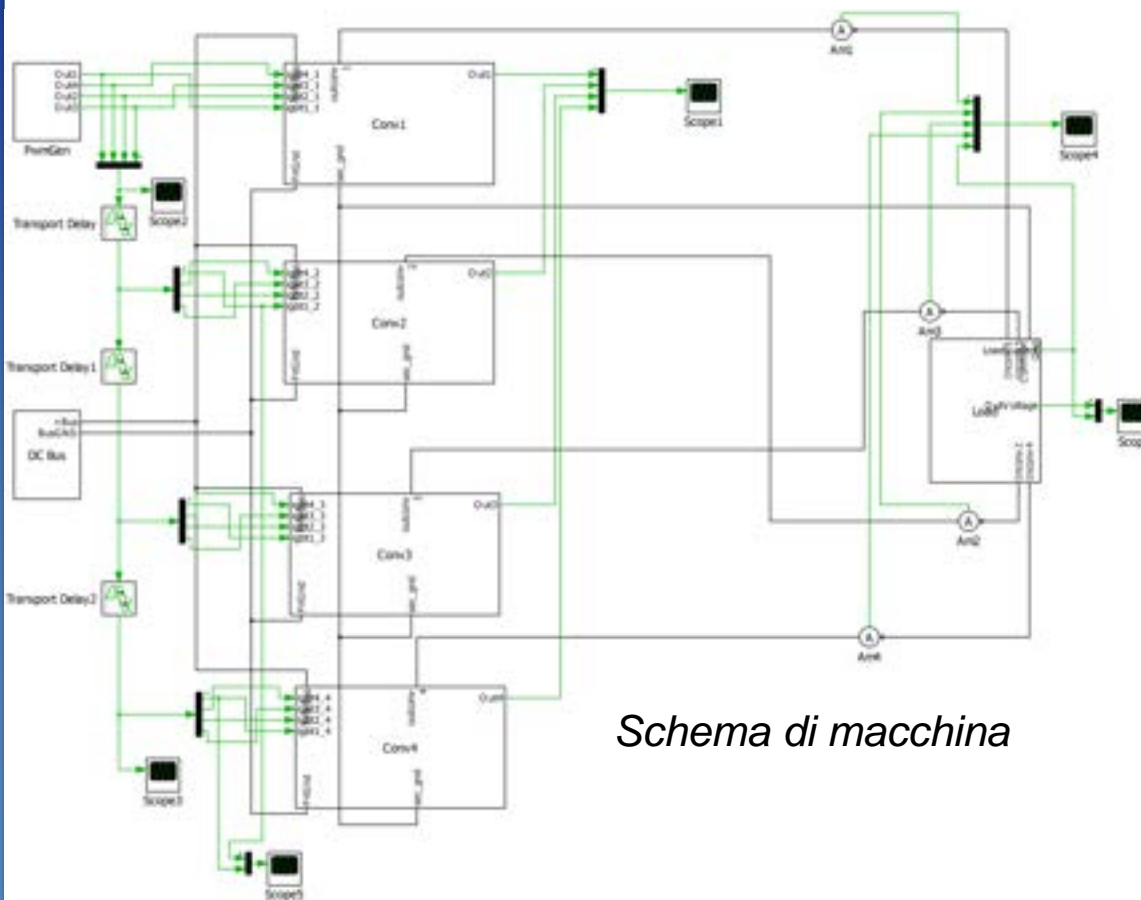
Schema di principio
trasf



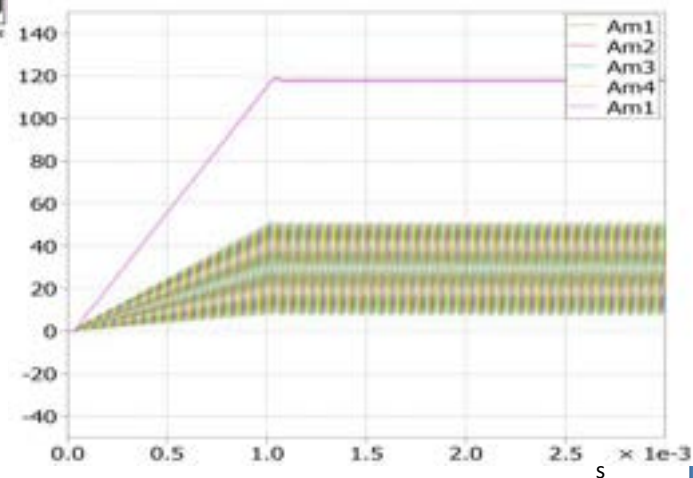
UNIVERSITÀ
DELL'AQUILA

Documento RdS/2012/091

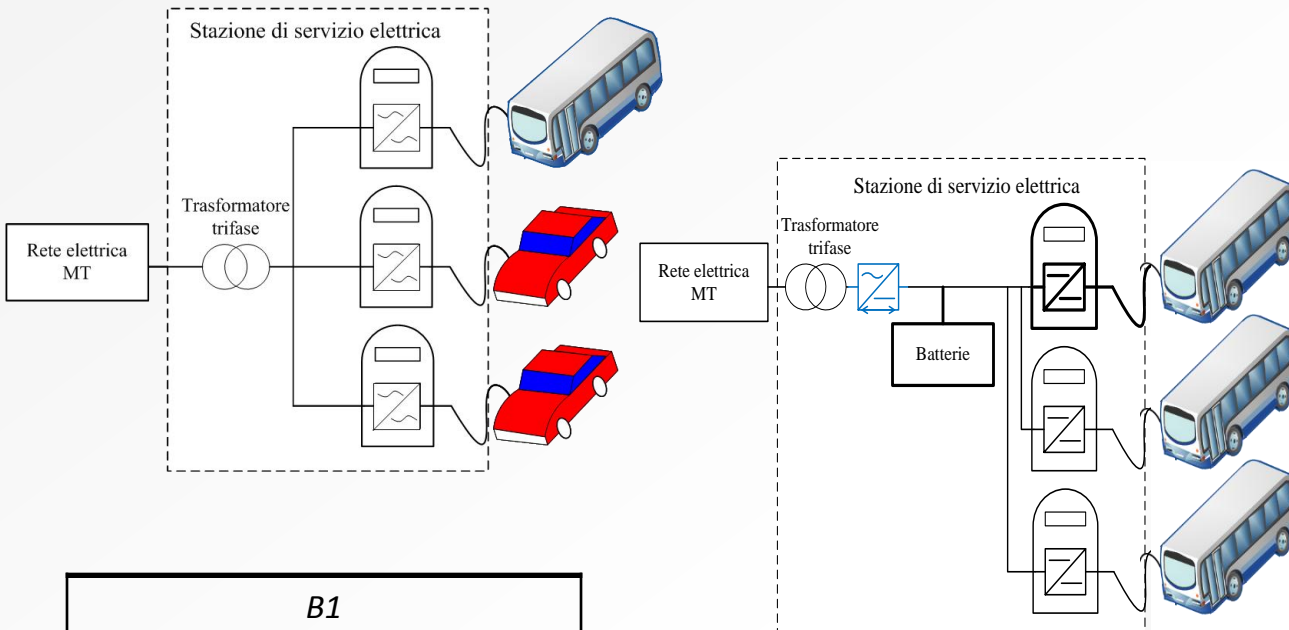
*Correnti in uscita:
in viola la corrente sul
carico e negli altri colori
le correnti in uscita da
ogni convertitore*



Schema di macchina



Confronto B1 vs. B2 vs. CHAdeMO



<i>B1</i>
n. 3 colonnine da 43 kW in c.a. (6.000 € cad., compreso trasformatore abbass.) + trasformatore MT da 120 kVA
Pro: integrazione componenti
Contro: disponibilità commerciale veicoli elettrici con caricabatteria di potenza adeguata Accesso a logiche inverter

<i>B2</i>
30.000 € (stazione da 40 kVA con accumulo da 10 kWh e trasformatore MT) + costo n.3 convertitori DC/DC
Pro: possibilità di utilizzo accumulo stazionario
Contro: comunicazione bordo/terra

<i>CHAdeMO</i>
60.000 € (n.3 colonnine da 50 KW) + trasformatore MT da 120 kVA
Pronto: disponibilità sul mercato immediata
Contro: comunicazione bordo/terra



Caso studio: funicolare Bergamo-SanVigilio (BG), accumulo Li-Io 432 V, 40 Ah

Hazard Evaluation di celle litio ione

- a. Safety Review: come organizzare le conoscenze
- b. Studi calorimetrici
 - Ricerca bibliografica: l'esperienza dei SANDIA Laboratories e lo studio commissionato dalla fondazione NFPA (luglio 2011)
 - Test dei laboratori ENEA (La Barbera, Padella)
- c. Monitoraggio ambientale preliminare

Progettazione preliminare di un laboratorio di verifiche sperimentali per la sicurezza dei test da effettuare per lo sviluppo o la qualificazione dei componenti basati su batterie al litio

1. Comparazione effettuata per la fase di produzione tra le batterie Li-Ione B30Ah, B60Ah e B100 Ah e le batterie esaminate negli studi di letteratura), Litio-nickel-cobalto-manganese (NCM), Ioni di litio LiFePO₄.

I risultati differiscono significativamente. Ciò può essere imputabile sia alle diverse assunzioni fatte negli studi, sia alle differenti prestazioni energetiche della batteria.

GWP - effetto serra potenziale; **FDP** - esaurimento di combustibili fossili; **ODP** - distruzione dello strato di ozono stratosferico; **AP** - acidificazione e gli terrestre energetici responsabili dei maggiori impatti. **POCP** – ossidazione fotochimica

- la **fase del ciclo** di vita della batteria caratterizzata dai **maggiori impatti energetico – ambientali** è quella di **produzione**;
- un confronto tra le differenti tipologie di batterie ha evidenziato che, considerando come unità funzionale 1 kWh di energia prodotta dalla batteria, nella maggior parte dei casi gli **impatti medi decrescono all'augmentare della dimensione della batteria**.
- **Box batteria**: Analisi di confronto tra l'uso di Acciaio inox, diverse tipologie di acciaio e materiali alternativi (alluminio primario, alluminio riciclato e polipropilene). Il propilene è risultato mediamente il materiale a minor impatto ambientale.



Ing. Giuseppe Barbieri
Tel. 06 3048 6771
giuseppe.barbieri@enea.it

- D** Upscaling dei processi di produzione: studio e sviluppo di processi per la fabbricazione di schiume di alluminio, estrusi rinforzati e pannelli sandwich con core in schiuma di alluminio
- E** Sviluppo di procedure fabbricazione, progettazione e simulazione del comportamento di componenti di dimensione rappresentativa per l'alleggerimento strutturale di vettori per il trasporto.
- F** Sviluppo di processi di ibridizzazione di microsfere metalliche con polimeri termoplastici e di processi per l'impiego di fibre naturali in compositi termoplastici

Studio dei meccanismi di formazione del bonding metallurgico pelle-core e predizione delle caratteristiche morfologiche delle schiume mediante analisi con reti neurali. (RdS/2012/097)



*Università degli Studi
di Roma Tor Vergata*

Processi di fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica (RdS/2012/098)

Procedimenti e progettazione di apparecchiature prototipali per la produzione di precursori per schiume metalliche ed AFS (RdS/2012/099)

Predizione delle caratteristiche morfologiche in funzione dei costituenti

Set- UP: sono stati analizzati due parametri (% TiH₂ e %SiC) con 4 livelli sono stati ripetuti per sue set differenti di granulometria del SiC (37 μm e 60 μm)

Compattazione (miscelazione 30' e pressatura 250 MPa)

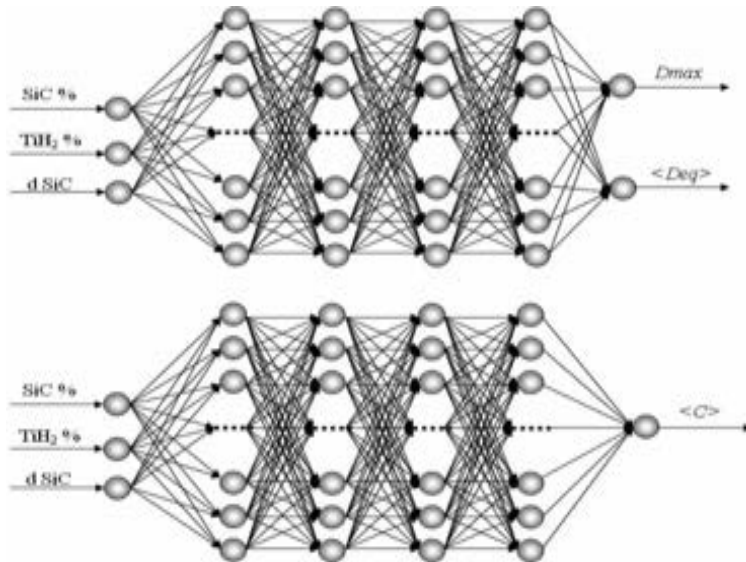
Schiumatura: Forno T= 700°C, time 180 s



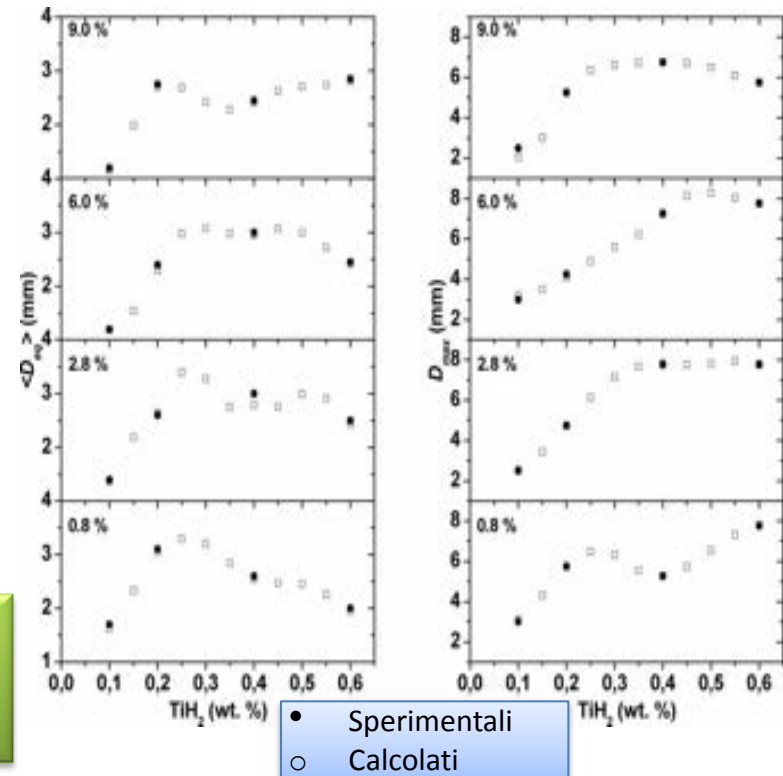
Università degli Studi
di Roma Tor Vergata

Documento RdS/2012/097

Dati di risposta: Deq, C, ρ

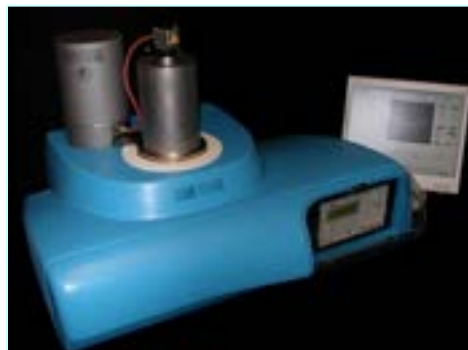


Risultati: con la predizione basata su reti neurali istruite è possibile stabilire le % di elementi schiumanti e nucleanti in funzione delle caratteristiche desiderate



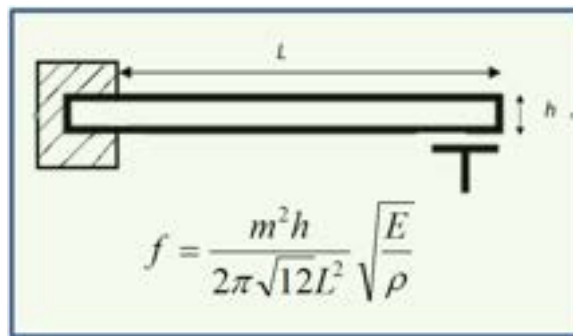
Misure di damping e sviluppo di procedure per promuovere il bonding metallurgico

Smorzamento delle vibrazioni valutato con spettroscopia meccanica



$$d = \frac{1}{k} \ell n \frac{A_n}{A_{n+k}}$$

$$Q^{-1} = \frac{d}{\pi}$$

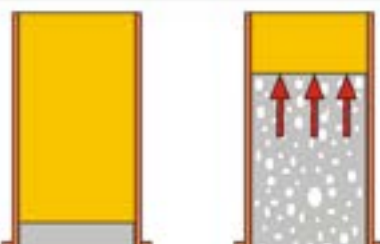


Università degli Studi
di Roma Tor Vergata

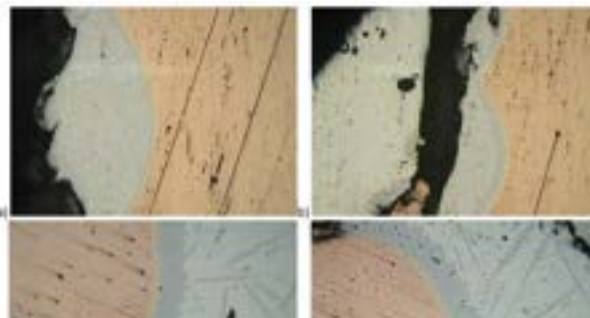
d: decremento logaritmico
dell'ampiezza deformazione
 Q^{-1} = fattore di smorzamento

Risultati: $Q^{-1} \uparrow$ Se \uparrow Porosità \downarrow dimensioni pori \uparrow Ampiezza sollecitazione
 $Q^{-1} \downarrow$ Se \uparrow frequenza sollecitazione

Schiumatura in provini cilindrici di rame/acciaio a 700°C



Esempi di bonding fra schiuma e rame



Esempi di b



Risultati: L'impiego di adeguate procedure di cleaning permette di creare agevolmente legami metallurgici fra Schiuma e Rame o schiuma e Acciaio con temperature di schiumatura di 700°C

Processi di fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica

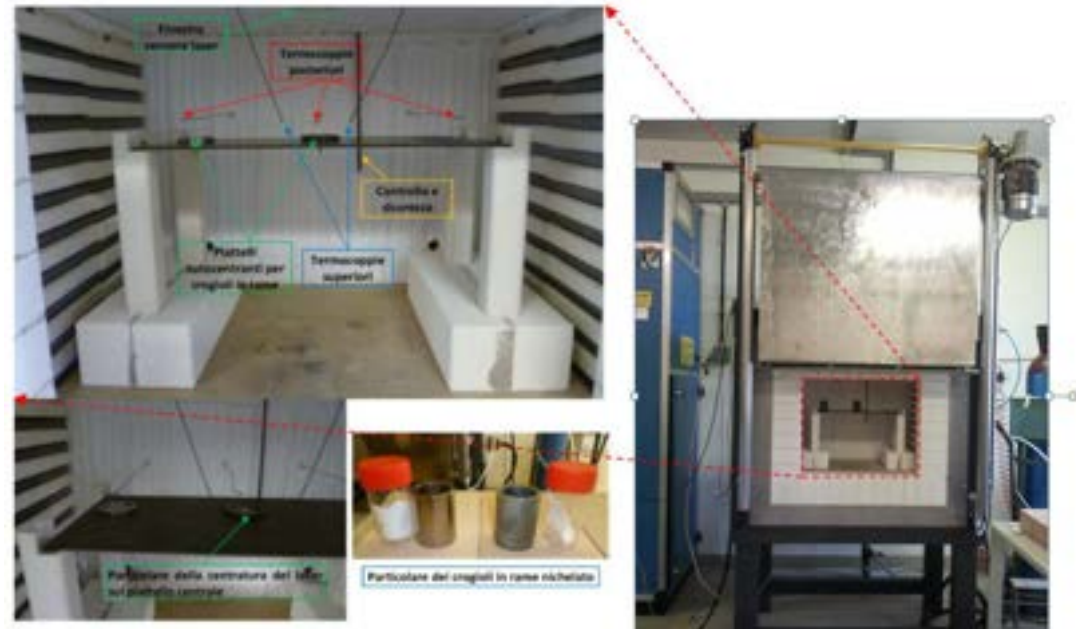
Scale Up del processo grazie all'utilizzo del Forno VLT (Volume 100 l)

Forno Carbolite® 13 litri

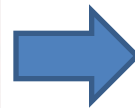
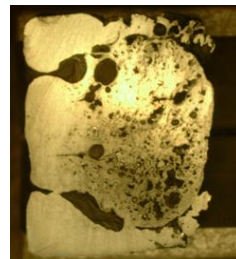
Utilizzato nel PAR 2008-2009



Documento RdS/2012/098



Risultati: L'impiego del nuovo forno ha permesso di realizzare i primi campioni di estrusi rinforzati fino a dimensioni



Processi di fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica

Sviluppo del processo di schiumatura di precursori eutettici AlSi10

- 2 livelli Temperatura (615 e 645 °C);
- 3 livelli tempo (11, 15 e 19 minuti)
- 2 modalità di raffreddamento (acqua, aria)

Test con raffreddamento in acqua

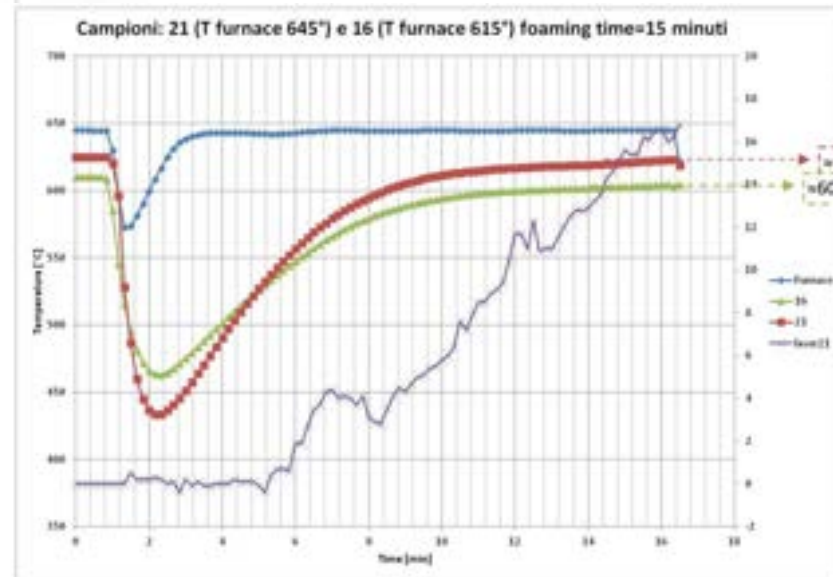
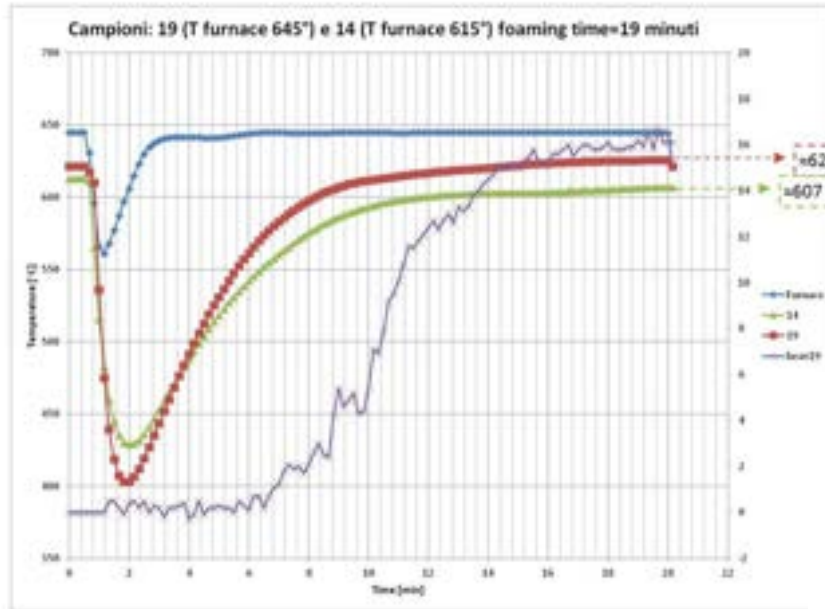
	1	3	5	7	9	11	Sample
Centro	23.5	15.3	26.5	8.7	10.7	23.4	H [mm]
	D=28	D1=20.5 D2=24	D=29	D1=21.2 D2=19.5	D1=22 D2=20	D=26	Forma [mm]
							Macro
	0.53	0.98	0.43	1.78	1.47	0.65	Density
Sinistra	2	4	6	8	10	12	Sample
	31.5	12.5	31.2	9.7	17.1	25.8	H [mm]
	D=21	D1=22.9 D2=26	D=27.6	D1=21.5 D2=21.8	D1=21.5 D2=21.8	D1=24 D2=22.8	Forma [mm]
							Macro
	0.68	1.06	0.55	1.59	1.04	0.63	Density
	15'	11'	19'	11'	15'	19'	time
	645	645	645	615	615	615	Temp.

Test con raffreddamento in aria

	13	15	17	19	21	23	Sample
Centro	13.6	12.6	9.5	20	21.5	15.6	H [mm]
	D1=22 D2=20	D1=22.1 D2=21	D1=21.5 D2=21.3	D1=27.5 D2=28.9	D1=28.9 D2=29.3	D1=21.5 D2=22.5	Forma
							Macro
	1.11	1.18	1.71	0.56	0.51	0.91	Density
Sinistra	14	16	18	20	22	24	Sample
	20.8	18.6	14.2	20.1	20	20.3	H [mm]
	D=29.5	D1=26.7 D2=27.5	D1=23.2 D2=22	D1=29.9 D2=28.9	D2=28.9 D2=27.3	D1=26.8 D2=28.7	Forma
							Macro
	0.56	0.65	1.13	0.52	0.59	0.57	Density
	19'	15'	11'	19'	15'	11'	time
	615	615	615	645	645	645	Temp

Processi di fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica

Sviluppo del processo di schiumatura di precursori eutettici AlSi10



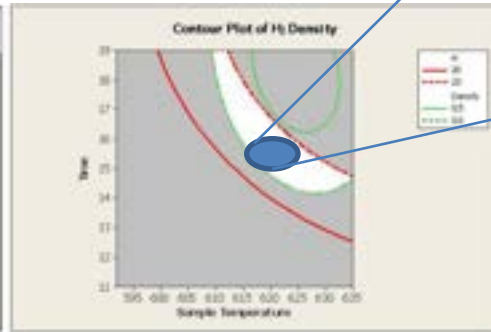
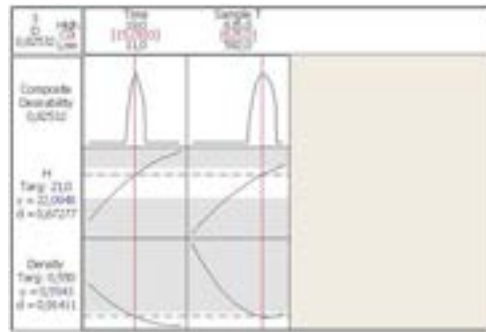
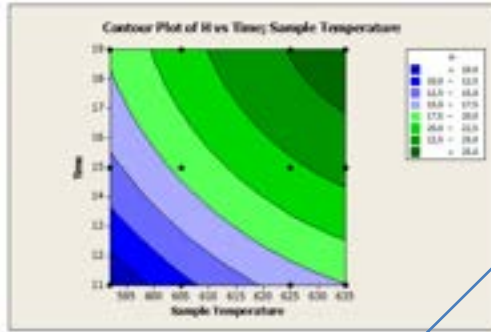
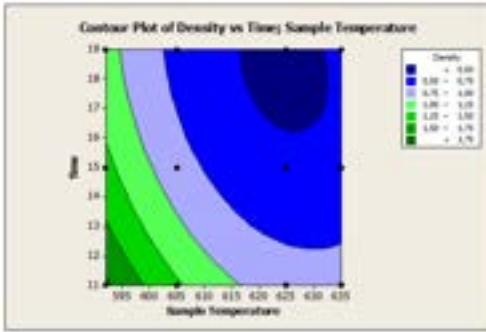
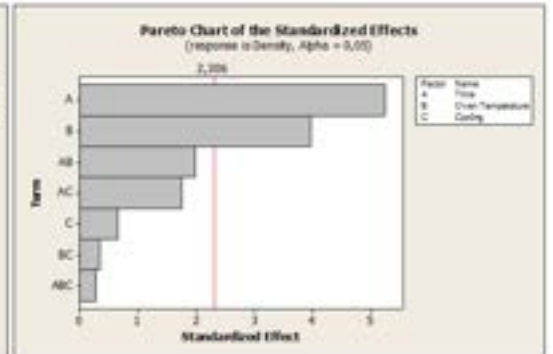
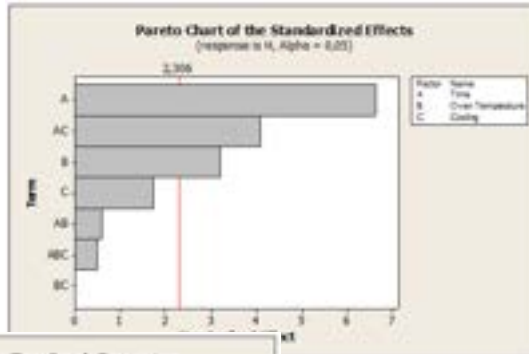
Risultati: per il range di temperatura esplorato anche il raffreddamento in aria permette di mantenere le porosità; il monitoraggio della temperatura dei singoli campioni mostra come fra 610 - 630°C e 15 - 19 minuti siano i parametri fondamentali per la schiumatura in estrusi









Processi di fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica

Analisi DOE

H, ρ :

1. il tempo di schiumatura;
2. l'interazione fra tempo e tipo di raffreddamento (H);
3. la temperatura del forno.



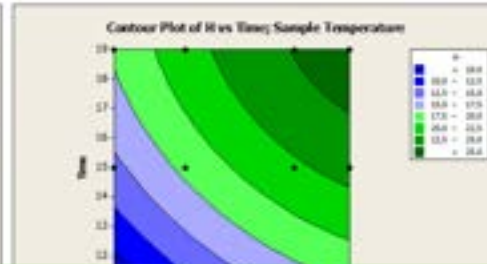
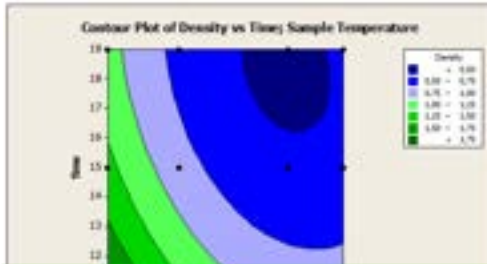
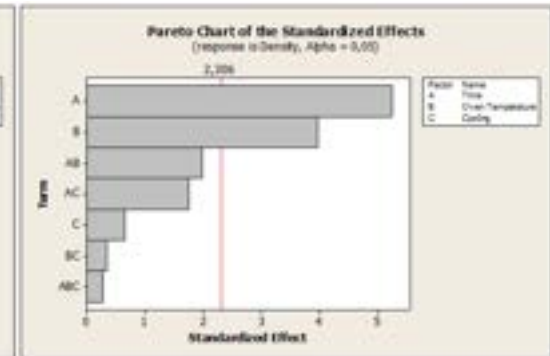
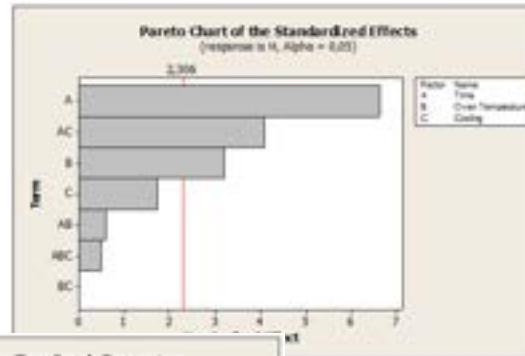
ID	Test con T furnace 650°C	
	Top	Macro
C1		
C2		
C3		
C4		

Processi di fabbricazione di profilati estrusi rinforzati con schiuma metallica

Analisi DOE

H, ρ :

1. il tempo di schiumatura;
2. l'interazione fra tempo e tipo di raffreddamento (H);
3. la temperatura del forno.



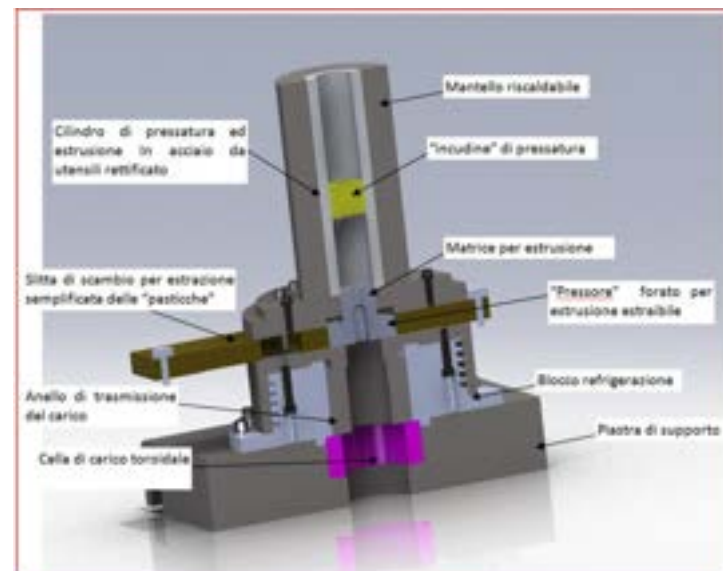
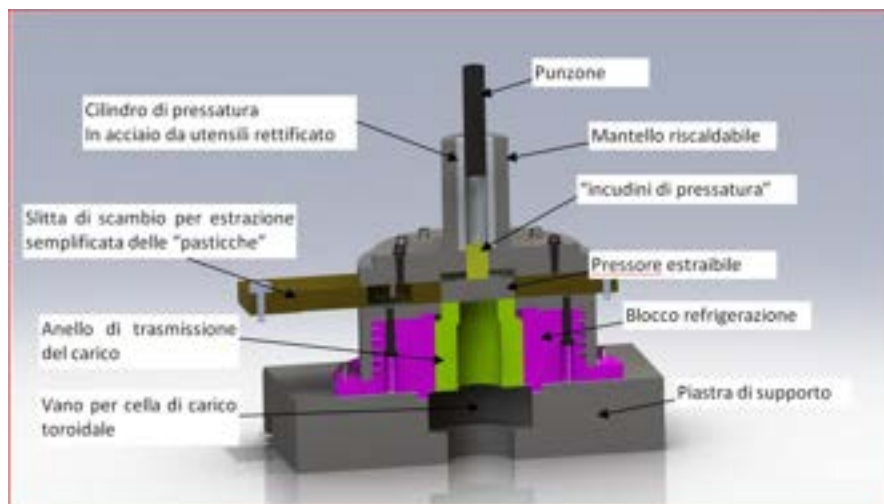
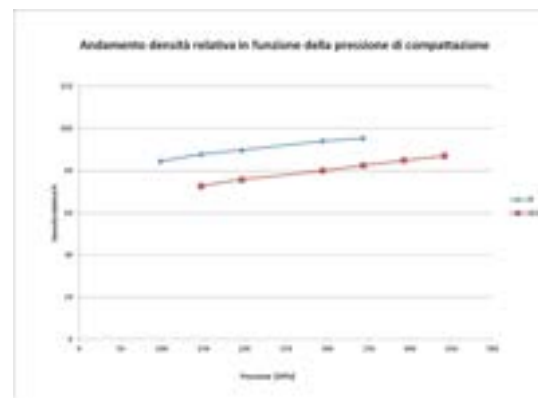
ID	Test con T furnace 650°C	
	Top	Macro
C1 t=15min Pos.:C Tes=806 °C		
5min :SX =811		
0min :C =817.5°C		
0min :SX =823.5°C		

Risultati:

1. I campioni di diametro 30 mm ed altezza 40 mm hanno permesso la realizzazione di un composito alluminio- aluminium foam;
2. Il risultato di schiumatura dipende dalla massa del campione, in particolare il tempo va aumentato da 15 a 20 min passando da 5 a 12 g;
3. E' necessario garantire una migliore omogeneità di temperatura nel forno;
4. L'impiego del sistema di carico e scarico automatico permetterà di impostare cicli ottimizzati con preriscaldi degli stampi/ estrusi in modo da controllare meglio il processo.

Procedimenti e progettazione di apparecchiature prototipali per la produzione di precursori per schiume metalliche ed AFS

- Pressatura uni assiale;
- Pressatura uni assiale + estrusione a caldo;
- CIP (Cold Isostatic Pressing)
- HIP (Hot Isostatic Pressing)
- Impatto
- Equal Channel Angular Pressing – ECAP



Documento RdS/2012/099

- Pressatura uni assiale;
- Pressatura uni assiale + estrusione a caldo;
- CIP (Cold Isostatic Pressing)
- HIP (Hot Isostatic Pressing)
- Impatto
- Equal Channel Angular Pressing – ECAP



Documento RdS/2012/099

Risultati:

1. E' stata progettata e realizzata un'apparecchiatura per la compattazione monoassiale e la successiva estrusione per la produzione di precursori ad elevata densità anche di leghe eutettiche (AlSi12).
2. Rispetto alla pressa di laboratorio, in grado di compattare pellet di 5 mm di diametro ed 1 mm di altezza, l'attrezzatura sviluppata permette di realizzare pellet standand di 30 mm di diametro e 10 mm di altezza ma è possibile lavorare anche precursori fino a 50 mm di diametro e 50 mm di altezza per successiva estrusione.
3. L'upscaling in termini di volume è fino a 5000 volte.

- Acquisizione Modulo Camera Fredda



Risultati:

1. Il MCF applicato al forno di schiumatura permette di operare con componenti di maggiore dimensione;
2. la condizione di schiumatura più appropriata è con direzione di schiumatura «corta»;
3. il sistema, ora, completamente automatico permetterà di impostare temperatura di setting del forno più alte prima dell'immissione del componente da schiumare e controllare meglio i transitori di temperatura.

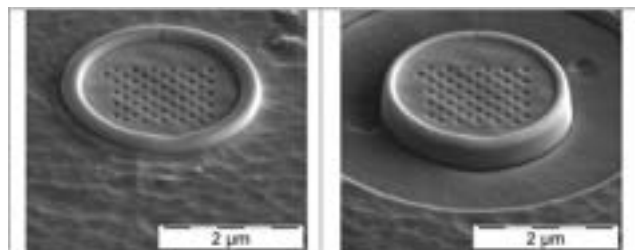
**Analisi locale a risoluzione sub-micrometrica degli
stress residui e correlazione con il comportamento a
rottura macroscopico di AFS. (RdS/2012/100)**



**Sviluppo di metodologie di controllo NDT su
componenti saldati e correlazione con le caratteristiche
meccaniche. (RdS/2012/101)**

**Fabbricazione e qualificazione di componenti saldati e
progettazione di componenti in AFS (RdS/2012/102)**

Analisi locale a risoluzione sub-micrometrica degli stress residui



E' stata applicata una tecnica di analisi delle tensioni residui su dimensioni micrometriche, mediante la realizzazione di scassi anulari e marker mediante FIB, acquisizione di immagini SEM ed analisi DIC.



Documento RdS/2012/100

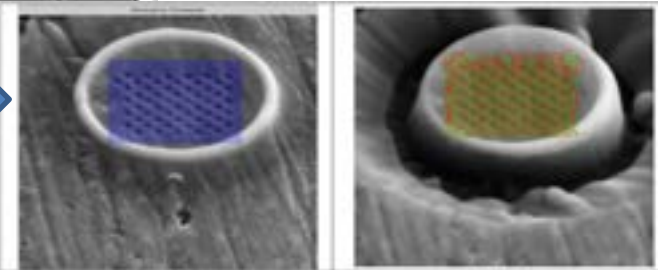
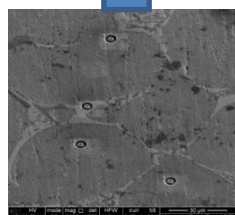
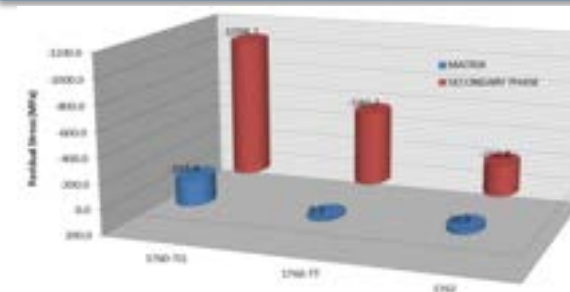
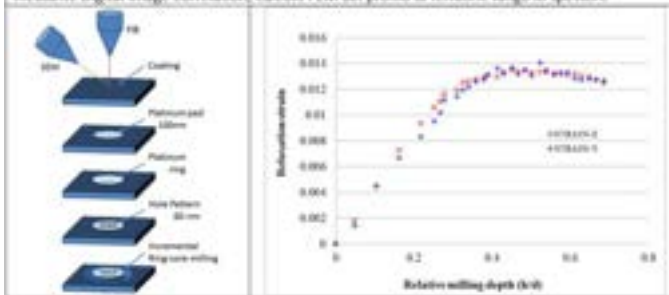
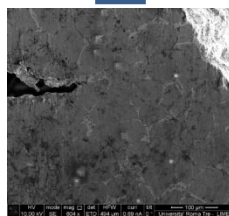


Fig. 62

Fig. 63

Schema del metodo: realizzazione degli scassi circolari con FIB, analisi delle deformazioni mediante Digital Image Correlation, Calcolo FEM del profilo di tensione lungo lo spessore

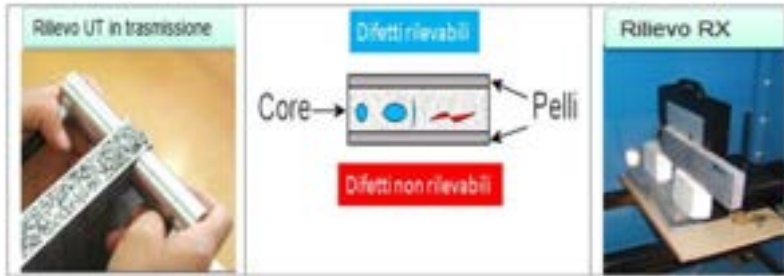
#1760: campione solo lucidato dopo produzione e,
#1760TT: successivamente alla prima sessione di misure di stress, trattato termicamente*;
#1762: Campione trattato termicamente* dopo produzione, lucidato e infine sottoposto a nuovo trattamento termico*;
 *Trattamento termico: 10 min a 345°C e raffreddamento in forno.



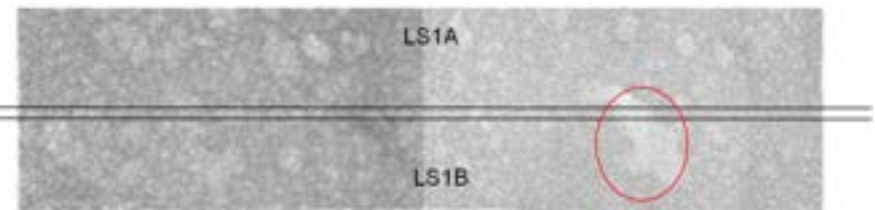
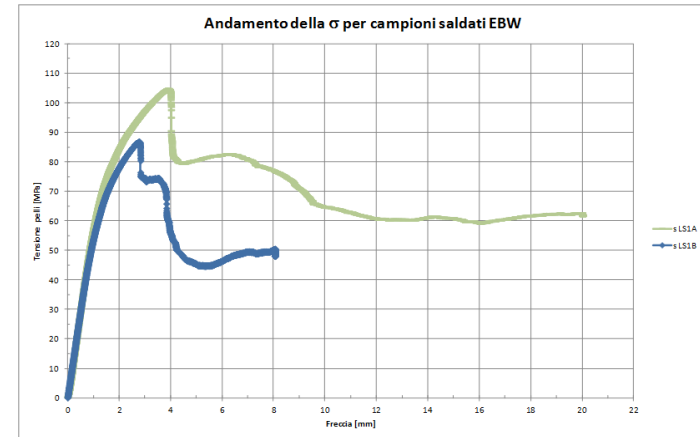
Risultati:

L'analisi locale ad alta risoluzione degli stress residui ha mostrato come esistano sicuramente dei gradienti di stress all'interno delle pareti di ogni singola cella, che possono essere solo ridotti (ma non eliminati) tramite la realizzazione di trattamenti termici di distensione. Tale campo di stress consiste essenzialmente in stati tensionali di compressione all'interno di grani di fase secondaria e di debole trazione all'interno della matrice

Sviluppo di metodologie di controllo NDT su componenti saldati e correlazione con le caratteristiche meccaniche



ID	Esame RX	Esame Ultrasuoni
AFS TQ1		
AFS TQ2		
BBW_IL1		
BBW_IL2		
BBW_IL3		
BBW_IL4		



Risultati:

L'analisi radiografica permette di misurare la densità media del materiale che può differire notevolmente. Pur con i limiti dovuti all'impossibilità di rilevare difetti paralleli alle pelli, una serie di test sia su materiale tal quale sia su componenti saldati hanno mostrato che una minore densità locale del materiale può essere correlata ad una riduzione di resistenza del core (punto di cedimento di questo tipo di materiale)

Documento RdS/2012/101

Ottimizzazione del processo di saldatura Laser-TIG

Documento RdS/2012/102



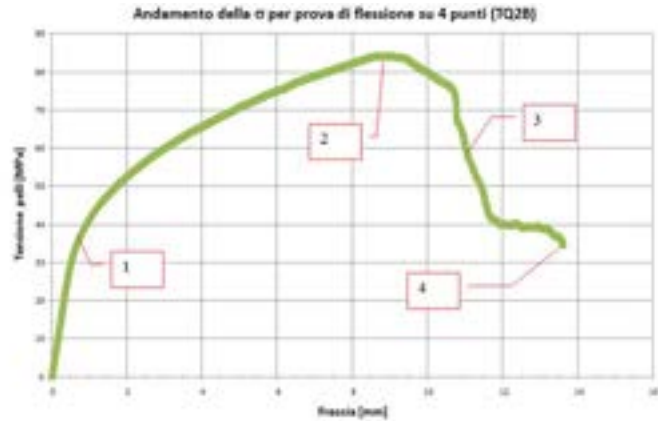
EBW:
 $\sigma_{EBWy} = 140.2 \pm 4.3 \text{ MPa}$

Base Material:
 $\sigma_y = 129.3 \pm 7.7 \text{ MPa}$

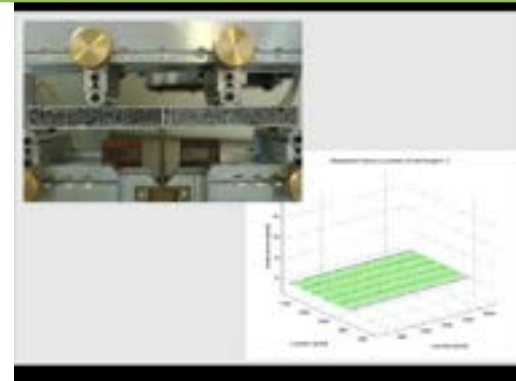
$\sigma_{LTy} = 123.4 \pm 7.8 \text{ MPa}$

Risultati:

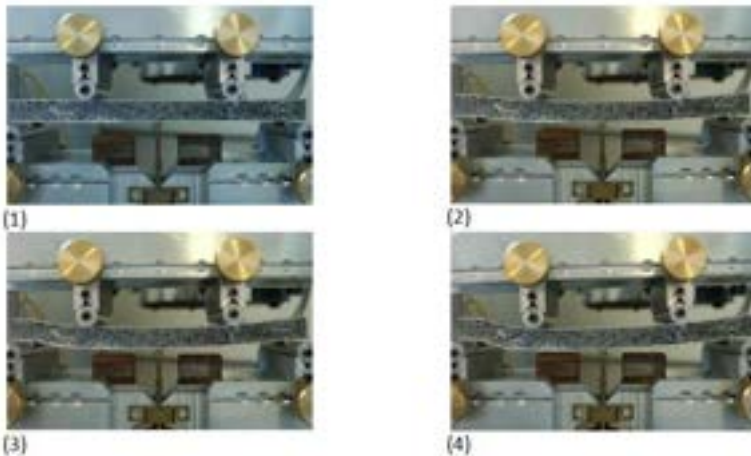
E' stata aggiornata l'attrezzatura di saldatura Laser TIG che ora impiega una torcia TIG per saldatura automatizzata e garantisce una maggiore stabilit  al processo; Sono stati prodotti campioni saldati Laser-TIG-Wire con parametri di saldatura affinati sulla base degli studi di ottimizzazione DOE del PAR 2008-2009. Si sono osservati comunque dei limiti nella penetrazione del laser nella saldatura con inserto



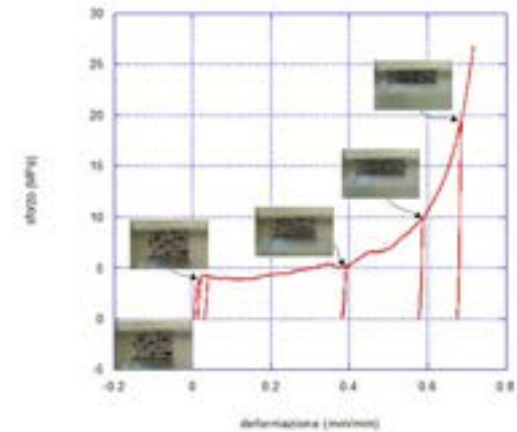
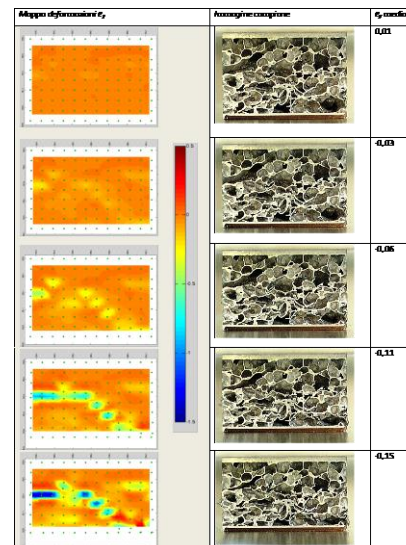
Analisi continua dei meccanismi di rottura mediante DIC

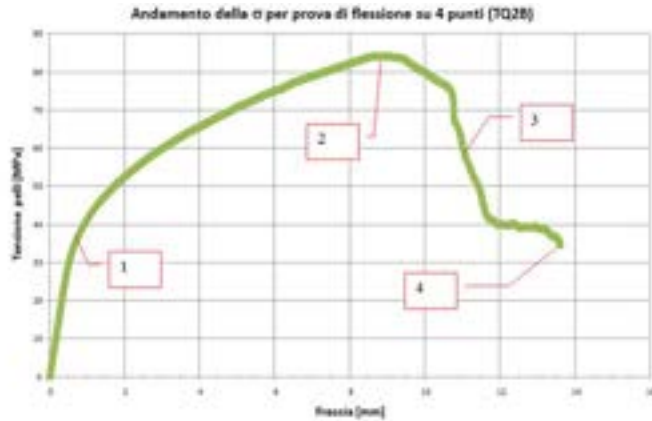


Prove di compressione per determinare E assistita con DIC

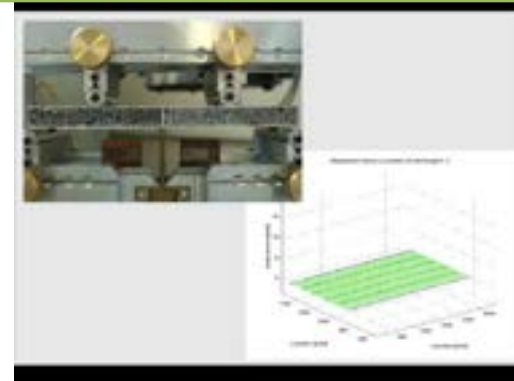


Software: Digital Image Correlation and Tracking with Matlab, by Chris Eberl et. al. (open source)

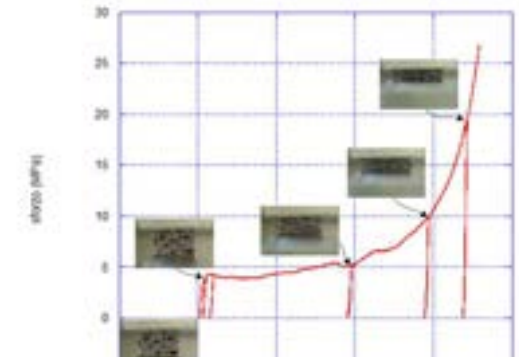
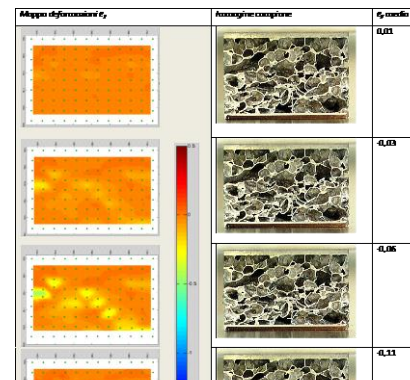
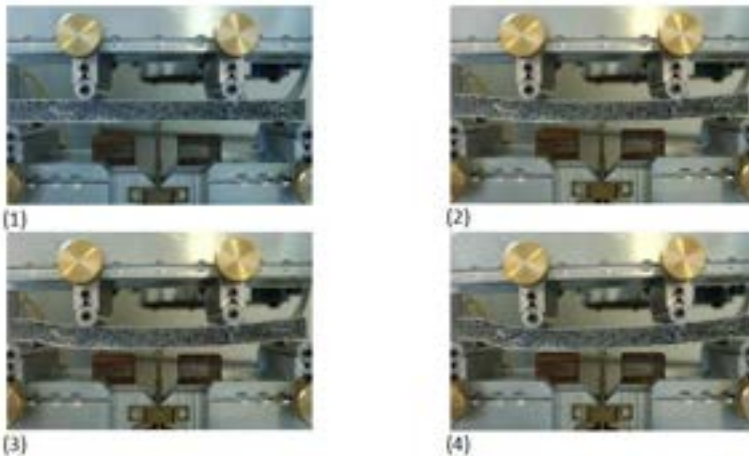




Analisi continua dei meccanismi di rottura mediante DIC



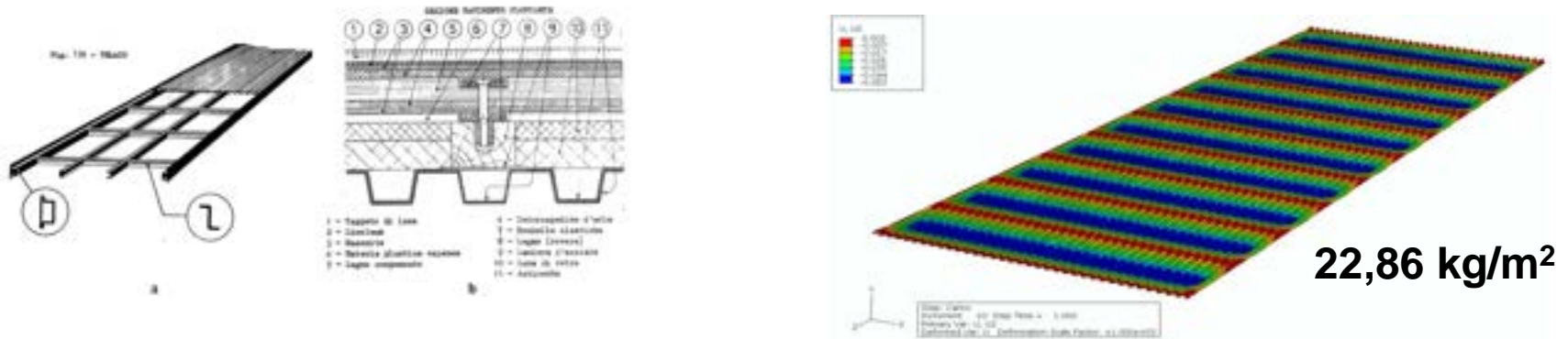
Prove di compressione per determinare E assistita con DIC



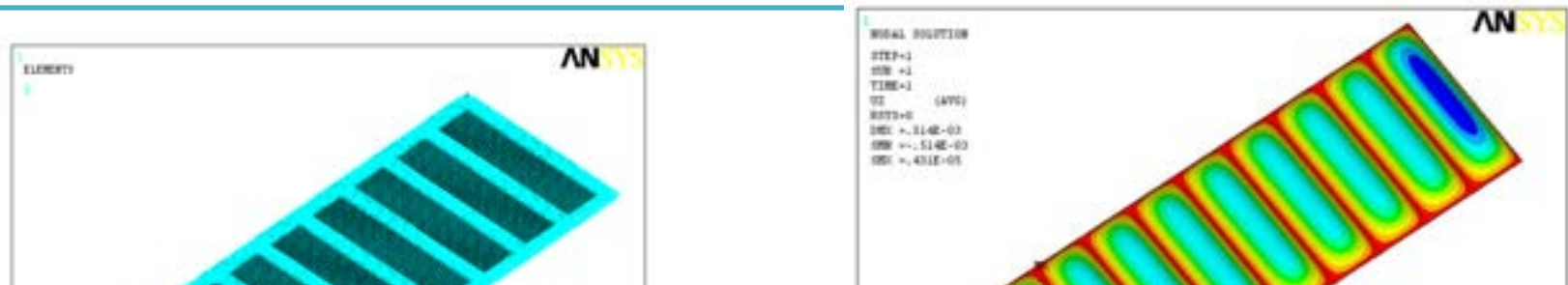
Risultati:

Sono state implementate delle tecniche di DIC sia su prove di flessione sia su prove di compressione;
Esiste una differenza di resistenza in funzione della direzione di laminazione degli AFS
Le prove assistite da DIC permettono di individuare con esattezza le zone di cedimento degli AFS

Analisi della normativa, identificazione progettazione di un componente tipo tradizionale per mezzi rotabili



Condizioni di vincolo come da struttura principale e analisi delle deformazioni del pannello AFS



Risultati:

E' stata effettuata un'analisi delle normative di progettazione ed omologazione di componenti rotabili;

E' stato individuato un «componente tipo» per la riprogettazione con AFS

E' stata effettuata la verifica in funzione dei carichi di progetto di normativa con Ansys ipotizzando in prima approssimazione di mantenere inalterata la struttura principale e sostituire solo la greca con un pannello ASF

Il possibile risparmio di peso varia da un ottimistico 63% ad un realistico 35% (pannello qualificato 14.92 Kg/mq).

Tecnologie innovative per la realizzazione di compositi a matrice polimerica con rinforzo in fibre naturali (RdS/2012/103)

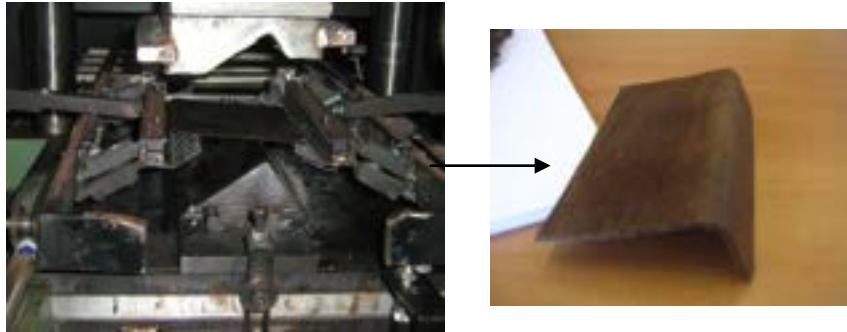


Università degli studi di Napoli Federico "II"

Nuovi materiali biocompositi ottenuti mediante l'utilizzo di tessuti commingled a base PLA/fibre di lino e di canapa (RdS/2012/104)

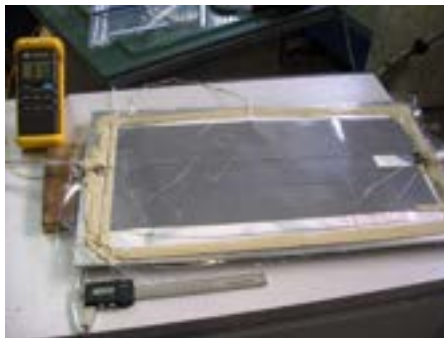
Tecnologie di scale-up del processo di produzione di materiali ibridi metallo polimero basati su sfere/grani cavi (RdS/2012/105)

Processo di rubber forming con controstampo in gomma per realizzazione di mensole in WPC e WPC con fibre naturali lunghe orientate



Documento RdS/2012/103

Processo di infusione sottovuoto con controstampo flessibile

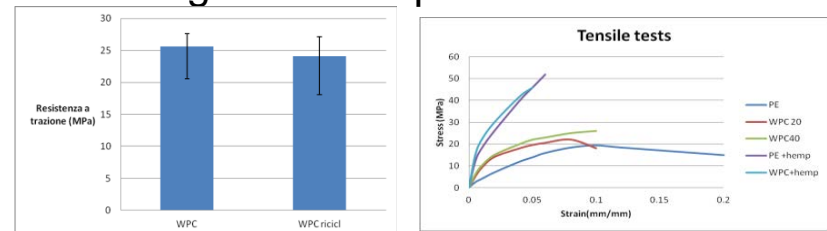


Sono stati realizzati pannelli piani a partire da film di PE e fibre lunghe di canapa. E' stato impiegato uno stampo riscaldato ed un sacco polimerico. È possibile realizzare pannelli di spessore di circa 1 mm di grandi dimensioni

Sono state ottenute mensole di differenti spessori con tempi di realizzazione inferiore al minuto e buone caratteristiche geometriche dell'elemento stampato.

Il controstampo in gomma, realizzato con una semplice colata di silicone sullo stampo metallico, garantisce una buona distribuzione delle pressioni di stampaggio.

Caratterizzazione meccanica degli elementi prodotti



Le proprietà meccaniche dei prodotti realizzati sono state esaminate con prove di trazione, ma sono state anche messe a punto prove per testare direttamente il prodotto. Dai test sono risultate buone le caratteristiche degli elementi prodotti.

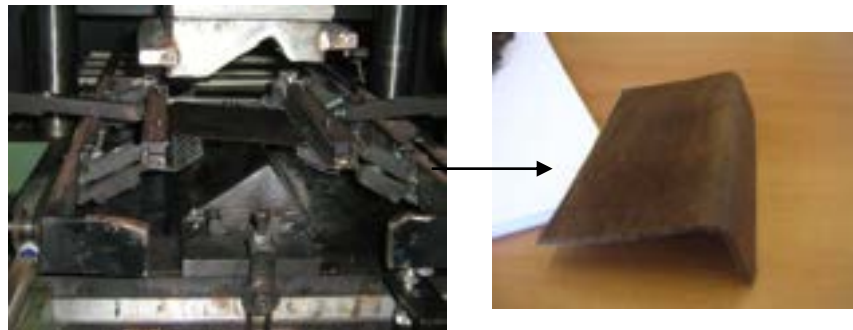


Università degli studi di Napoli Federico "II"

Processo di rubber forming con controstampo in gomma per realizzazione di mensole in WPC e WPC con fibre naturali lunghe orientate



Università degli studi di Napoli Federico "II"



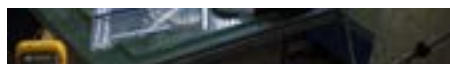
Sono state ottenute mensole di differenti spessori con tempi di realizzazione inferiore al minuto e buone caratteristiche geometriche dell'elemento stampato.

Il controstampo in gomma, realizzato con una semplice colata di silicone sullo stampo metallico, garantisce una buona distribuzione delle pressioni di stampaggio.

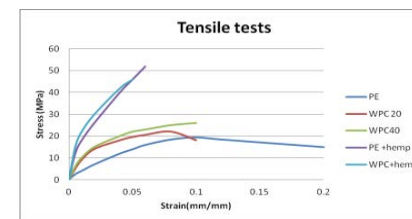
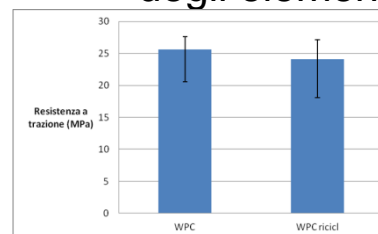
Caratterizzazione meccanica degli elementi prodotti

Documento RdS/2012/103

Processo di infusione sottovuoto con controstampo flessibile



Sono stati realizzati pannelli piani a partire da



Risultati:

Sono stati sviluppati componenti elementari in compositi con processi economici rubber forming; I WPC con sola polpa di legno mostrano un incremento di resistenza rispetto al solo PE del 48%; I WPC con polpa di legno e fibre di canapa lunghe del 15% permettono un incremento di oltre il 125% rispetto al PE; E' stata testata la riciclabilità di questi componenti frantumando e realizzando nuovamente i componenti; Le operazioni di formatura e quelle di riciclaggio non comportano un decadimento delle proprietà meccaniche del materiale per WPC con sola polpa di legno.

Nuovi materiali biocompositi ottenuti mediante l'utilizzo di tessuti commingled a base PLA/fibre di lino e di canapa

I laminati in biocomposito sono stati realizzati mediante stampaggio a caldo di più strati di tessuto

Documento RdS/2012/103

Sono stati sperimentati diversi parametri del processo di stampaggio (Temperatura, pressione e tempo di processo) al fine di ottenere laminati con elevate caratteristiche meccaniche (Modulo di Young e Peak Stress)



LAMINATO	Peak stress (MPa)	Modulus (MPa)
PLA	48-53	3400-4000
FLAXPLAT180P50t10S4 D_0	69.9	9325.3
FLAXPLAT180P50t10S4 D_90	48.1	6129.7
FLAXPLAT160P70t10S4 E_0	100.7	7537.8
FLAXPLAT160P70t10S4 E_90	43.9	5512.6
FLAXPLAT180P30t20S4 F_0	50.8	4304.7
FLAXPLAT180P30t20S4 F_90	50.9	4901.5



Laminato di tessuto composito

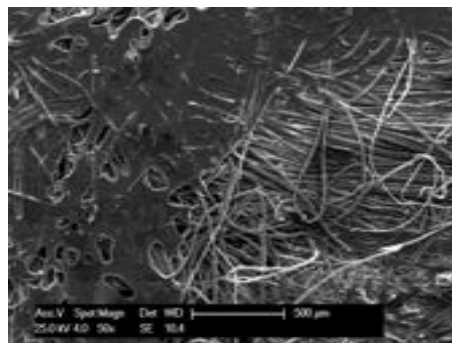
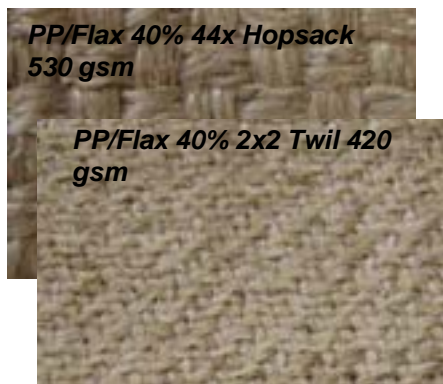


Foto Sem di un laminato (planare)

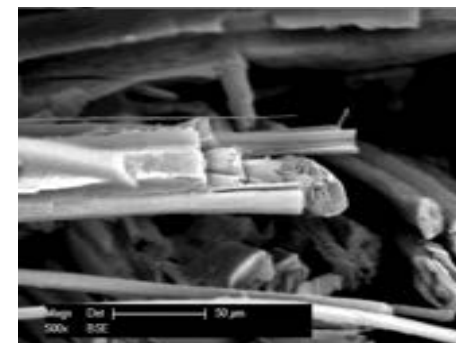


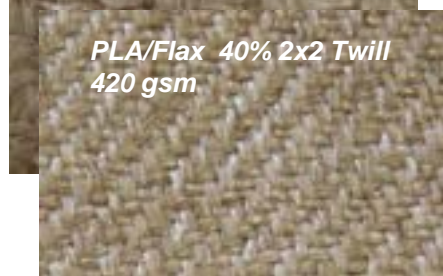
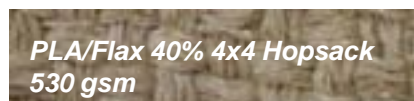
Foto Sem di un laminato (sezione)

Nuovi materiali biocompositi ottenuti mediante l'utilizzo di tessuti commingled a base PLA/fibre di lino e di canapa

I laminati in biocomposito sono stati realizzati mediante stampaggio a caldo di più strati di tessuto

Documento RdS/2012/103

Sono stati sperimentati diversi parametri del processo di stampaggio (Temperatura, pressione e tempo di processo) al fine di ottenere laminati con elevate caratteristiche meccaniche (Modulo di Young e Peak Stress)



LAMINATO	Peak stress (MPa)	Modulus (MPa)
PLA	48-53	3400-4000
FLAXPLAT180P50t10S4 D_0	69.9	9325.3
FLAXPLAT180P50t10S4 D_90	48.1	6129.7
FLAXPLAT160P70t10S4 E_0	100.7	7537.8
FLAXPLAT160P70t10S4 E_90	43.9	5512.6
FLAXPLAT180P30t20S4 F_0	50.8	4304.7
FLAXPLAT180P30t20S4 F_90	50.9	4901.5



Laminato di tessuto composito

Risultati:

E' evidente una significativa dipendenza dalle condizioni di processo adottate. In particolare il campione D (0) esibisce un modulo quasi triplo rispetto a quello del PLA assunto come riferimento e costituente la matrice. Il valore del carico massimo è invece massimizzato per il campione E (0). Sono in corso ulteriori approfondimenti per spiegare la dipendenza delle caratteristiche dalla direzione di campionamento. A conclusione del lavoro svolto fin ora si può dire che i laminati identificati con D, ed E, possiedono caratteristiche meccaniche tali da renderli idonei ad essere utilizzati per la fabbricazione, eventualmente anche mediante termoformatura, di componenti strutturali e di rivestimento nel settore dei trasporti completamente biodegradabili.

Tecnologie di scale-up del processo di produzione di materiali ibridi metallo polimero basati su sfere/grani cavi



Definizione dei parametri di processo per la produzione di granuli porosi di alluminio:

- miscelazione polveri di alluminio e polimeri
- granulazione con produzione giornaliera fino a 2-2.5Kg
- pirolisi per eliminazione polimero
- validazione del processo con prove meccaniche su campioni sandwich.

Tecnologie di scale-up del processo di produzione di materiali ibridi metallo polimero basati su sfere/grani cavi



Definizione dei parametri di processo per la produzione di granuli porosi di

Risultati:

Lo scale up ha permesso di quadruplicare il volume di lavoro ed ha portato ad un incremento di produzione di microgranuli che può raggiungere i 0.5 Kg/h. La produzione di granuli con caratteristiche più ripetibili e con maggiore resistenza .

A compressione si è passati per i pannelli senza filling di resina da circa 12 a più di 25 MPa di resistenza finale; per le prove di flessione, l'impiego di una quantità di resina inferiore ha portato a risultati inferiori alle attese e permangono ancora problematiche riguardo il distacco delle pelli. Va tuttavia considerato che questo tipo di processo non è stato sviluppato pannelli sandwich ma fundamentalmente per componenti a più basso costo per crashworthiness

Funzione del sistema: Produzione di un pannello di AFS in laboratorio

Unità funzionale: Pannello di AFS di dimensioni 40x30x3cm³ composto da un involucro in alluminio con pelli di spessore di 2 mm per lato e un “core” di schiuma di alluminio dello spessore di 2,6 cm.

Confini del sistema

L’analisi è dalla culla al cancello, infatti si analizzano tutti i processi dalla produzione delle materie prime fino alla produzione del pannello senza considerarne l’uso e il fine poiché il pavimento flottante è ancora in fase di progettazione.

I **maggiori impatti** potenziali sono quelli di **produzione della polvere di alluminio** e del **profilato di alluminio**: dovuto a produzione **alluminio primario** che ha un **elevato consumo energetico** per la trasformazione della bauxite, ma anche per **l’elevate emissioni di metalli pesanti in aria e acqua**.

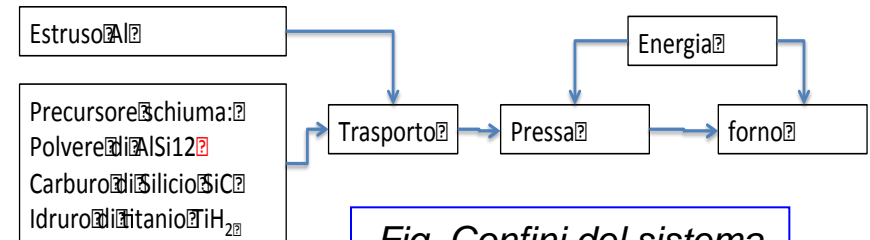
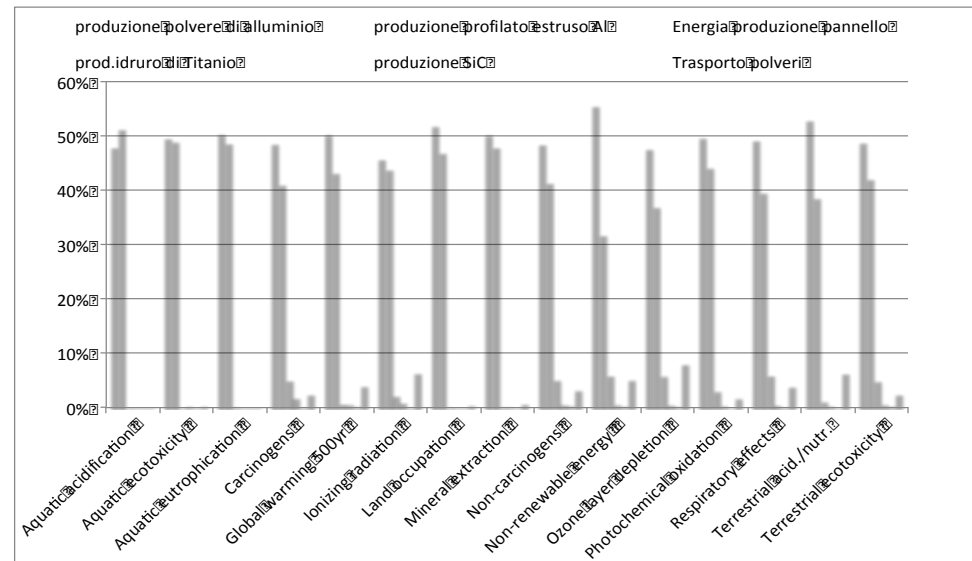


Fig. Confini del sistema

Documento RdS/2012/094



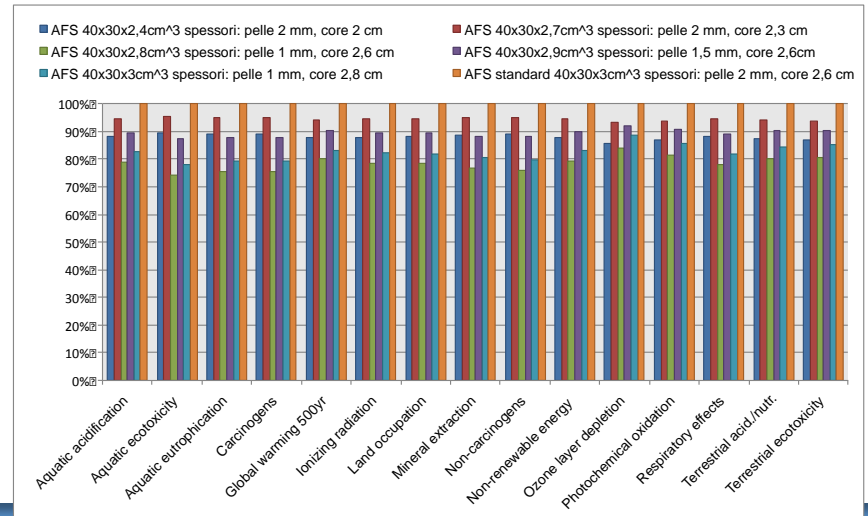
1. scelta di materiali con un minor impatto ambientale. Confronto pannello AFS 40*30*3cm³ “standard” vs “pannello 50% Al riciclato” e “pannello 100% Al riciclato”.

Risultati mostrano l'elevato vantaggio ambientale dell'alluminio riciclato, che aumenta in maniera crescente con l'aumentare del riciclo.

Categoria di impatto	Unità di misura	Standard	pannello 100% Al riciclato	pannello 50% Al riciclato	Categoria di impatto	Unità di misura	Standard	pannello 100% Al riciclato	pannello 50% Al riciclato
Aquatic acidification	kg SO2-Eq. to air	1,31E-01	3,07E-02	8,56E-02	Non-carcinogens	kg C2H3Cl-Eq. to air	1,71E+00	2,35E-01	1,04E+00
Aquatic ecotoxicity	kg TEG-Eq. to water	4,16E+05	3,71E+04	2,45E+05	Non-renewable energy	MJ	5,41E+02	1,56E+02	3,66E+02
Aquatic eutrophication	kg PO4-Eq. to water	4,19E-03	2,14E-04	2,40E-03	Ozone layer depletion	kg CFC-11-Eq. to air	3,28E-06	1,52E-06	2,48E-06
Carcinogens	kg C2H3Cl-Eq. to air	4,02E-01	2,79E-02	2,33E-01	Photochemical oxidation	kg C2H4-Eq. to air	7,17E-03	2,60E-03	5,09E-03
Global warming 500yr	kg CO2-Eq. to air	4,18E+01	1,05E+01	2,76E+01	Respiratory effects	kg PM2.5-Eq. to air	4,50E-02	7,81E-03	2,82E-02
Ionizing radiation	Bq C-14-Eq. to air	1,92E+03	6,70E+02	1,35E+03	Terrestrial acidification/nutrit. ionization	kg SO2-Eq. to air	5,28E-01	1,57E-01	3,59E-01
Land occupation	m ² ·yr·Eq.	1,92E-05	9,07E-06	1,46E-05	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG-Eq. to soil	4,73E+02	3,22E+02	3,94E+02

2. migliorare la logistica dei trasporti. La produzione delle polveri atomizzate di Al a km0 dalla Germania all'impianto di pannelli AFS quindi, usando Al primario o riciclato. **Risultati** se la produzione delle polveri sarà fatta solo con Al primario i vantaggi ambientali, in termini percentuali, sono relativamente bassi, mentre sono interessanti se si usa Al riciclato.

3. minimizzazione dell'uso dei materiali. variazione dello spessore del sandwich variando due parametri lo spessore della pelle e lo spessore del cuore. **Risultati** suggeriscono che il progettista dovrebbe tendere a ridurre il più possibile lo spessore delle pelli nei limiti strutturali del pannello



E' prevista la prosecuzione della attività inerenti nel prossimo triennio 2012-1014 con gli obiettivi di :

- Sviluppare componenti e sistemi hardware-software per sistemi di trasporto elettrico su gomma, con specifico riferimento alle interazioni dello stesso con la rete;
- Sviluppare e qualificare nuovi materiali e tecnologie per l'alleggerimento strutturale dei vettori per il trasporto ferroviario e dei settori ad esso correlato.

Non proseguiranno le attività inerenti:

LCA

Materiali polimerici ad elevata riciclabilità

Obiettivo A: Sviluppo di moduli integrati, completi di bms (battery management system) ed accumulo misto

1. *“Electrification of off-road vehicles: examining the feasibility for the Italian market”*, F. Vellucci (ENEA), G. Pede (ENEA), M. Ceraolo (Università di Pisa), T. Huria (Università di Pisa), EVS26, Los Angeles, California, 6-9 Maggio 2012.
2. *“Sistemi di accumulo misto accumulatori-supercondensatori per veicoli elettrici”*, Manuele Bertoluzzo, Giuseppe Buja, Università di Padova, Giovanni Pede, Angelo Puccetti, ENEA, Convegno AEIT 2012, Roma
3. In questo ambito, è da segnalare la partecipazione dell'ENEA al Motor Show di Bologna con la presentazione di una micro vettura, il Birò, il più piccolo veicolo elettrico a quattro ruote presente sul mercato, prodotto dalla Estrima a Pordenone, equipaggiata con l'accumulo elettrico misto sviluppato nell'ambito dell'Accordo di Programma (AdP) tra ENEA ed il Ministero dello Sviluppo Economico.

Obiettivo B: Ricarica rapida e V2G (Vehicle-to-Grid)

1. *“Il mercato dell'auto elettrica”*, G. Giuli, M. Mancini, G. Pede — Ingegneria dell'autoveicolo, rivista dell'ATA, Vol. 64 N. 9/10, sett/ott 2011
2. *“New Prospects For Public Transport Electrification”*, Luca Buzzoni (Regione Emilia Romagna), Giovanni Pede (ENEA), ESARS 2012, Bologna



Obiettivo D & E: Sviluppo di procedure fabbricazione, progettazione e simulazione del comportamento di componenti di dimensione rappresentativa per l'alleggerimento strutturale di vettori per il trasporto.

1. M. Moncada, "Sviluppo di procedimenti di saldatura ed analisi delle proprietà chimico fisiche di pannelli sandwich di alluminio (Aluminum Foam Sandwich) con differenti tipologie di legame pelle core." Tesi di dottorato, Scuola dottorale di INGEGNERIA, XXIII ciclo Università degli studi "ROMA TRE" A.A. 2011/2012.
2. G. Barbieri, A. Tati, M. Moncada, U. De Angelis "Controllo e caratterizzazione di Sandwich compositi in schiuma metallica e di loro giunti saldati" Congresso Nazionale AIPND 28 ottobre 2011 Firenze pubblicato on line su <http://www.ndt.net/article/aipnd2011/files/IDN66-barbieri.pdf>
3. G. Barbieri, A. Rinaldi, F. Cognini, M. Moncada, U. De Angelis, D. Ferrara, G. De Santis, L. Pilloni, A. Tati "The Mechanical Behavior of Aluminum Foam-based Composite Beams Made as One-Piece or by Welding Joining of Two Pieces", Convegno internazionale ASST 2012, 27-31 Maggio 2012, Sorrento <http://www.asst2012.org/>
4. R. Montanari, G. Barbieri "Metodi di fabbricazione e proprietà generali delle schiume metalliche" Giornata di Studio AIM " Schiume metalliche: Produzione ed applicazioni" Milano 24 Maggio 2012
5. G. Barbieri, F. Cognini , M. Moncada, "Processi di giunzione di pannelli AFS: tecnologie di saldatura High Density Energy" Giornata di Studio AIM " Schiume metalliche: Produzione ed applicazioni" Milano 24 Maggio 2012
6. G. Barbieri, F. Cognini , M. Moncada, "Saldatura laser di pannelli sandwich in schiuma di alluminio", Convegno IIS La saldatura Laser da processo avanzato a tecnologia diffusa: una scommessa vinta?- Bologna, 21 Giugno 2012
7. M. Moncada, F. Cognini, U. De Angelis, D. Ferrara, G. De Santis, L. Pilloni, G. Barbieri*, A. Rinaldi* "Experimental Assessment of Damage Mechanisms in both one-piece and welded Aluminium Foam Sandwich beams" ICDM - International Conference on Damage Mechanics , Belgrade, Serbia, 25 – 27 June 2012

