

**Risultati delle attività svolte da FN
nell'ambito dell'Accordo di Programma
MSE/ENEA**

Piano Triennale 2009-2011

Stefania Baccaro

PRE/AD FN Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati S.p.A

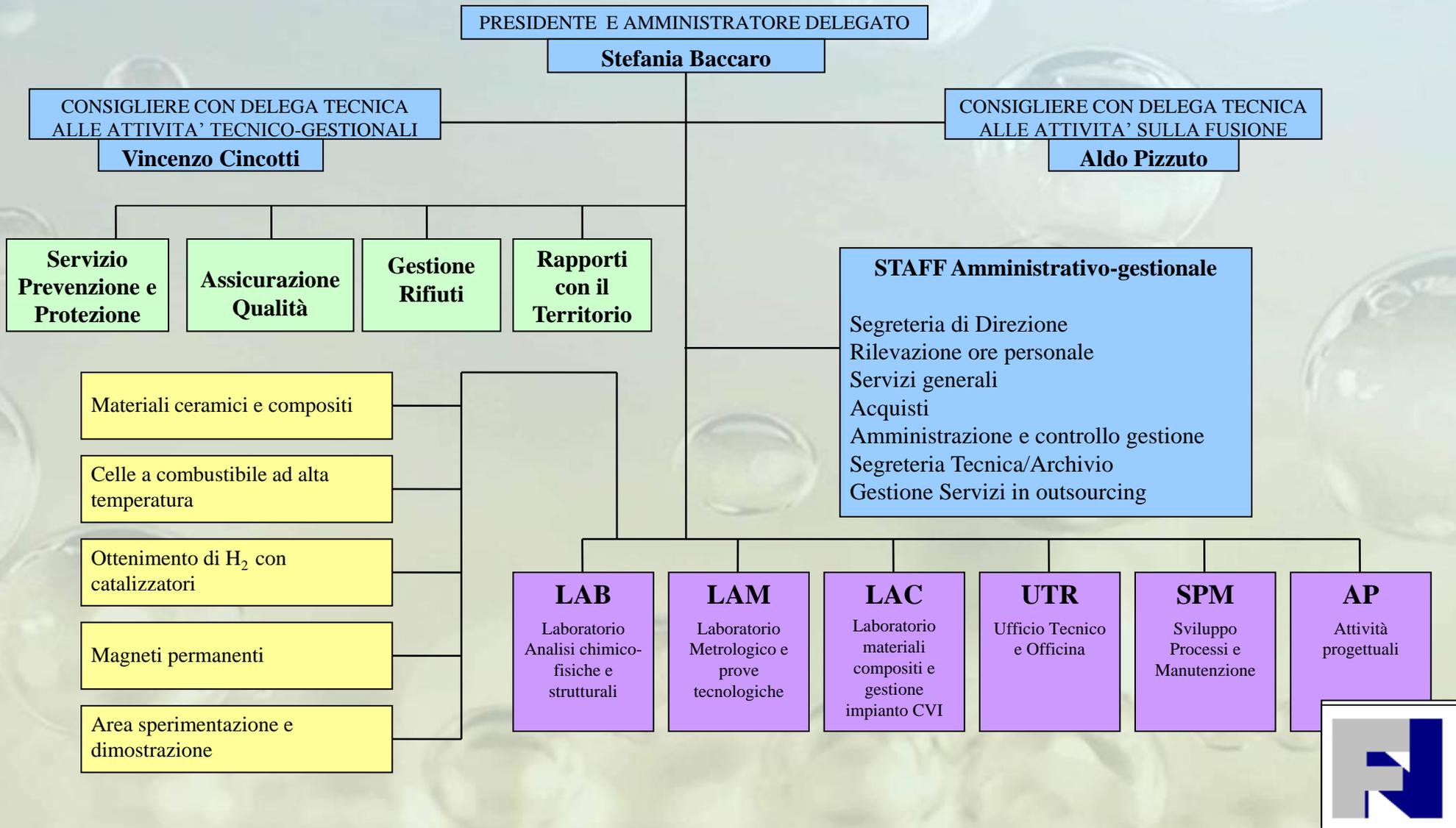
Roma, 28 Novembre 2012



FN S.p.A. Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati

Compagnie societaria: ENEA 98.65 % Deposito Avogadro SrL 1.28 % Ansaldo Energia 0.07 %

Sede operativa presso il C.R. ENEA di Saluggia (VC) e stabilimento Bosco Marengo (AI)



COMPOSITI A MATRICE CERAMICA

CERAMICI TECNICI AVANZATI

BRASATURE SPECIALI - ITER

CELLE A COMBUSTIBILE AD ALTA T

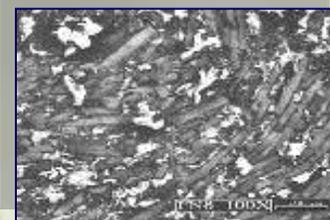
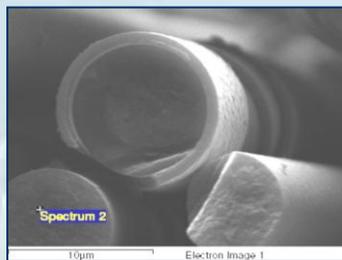
BIOMASSE/BIOGAS

**PRODUZIONE DI H₂ DA SOLARE
TERMODINAMICO**

MAGNETI PERMANENTI E DOLCI

**Attività nei settori della fissione/fusione nucleare,
dell'aerospazio, dell'energia e dei materiali
innovativi**

**Grazie alle proprie competenze di laboratorio, alle risorse
strumentali ed alla capacità di sviluppare processi e
prototipi, FN è anche in grado di fornire servizi all'esterno.**



Laboratorio analisi chimico-fisiche e strutturali

Strumenti:

- SEM : caratterizzazione micro strutturale
- XRD : caratterizzazione cristallografica
- POROSIMETRO A MERCURIO:
Dimensione media e distribuzione dei pori,
volume dei pori (% porosità aperte)
- BET: adsorbimento di azoto, calcolo
secondo il modell BET
- GC/MS: Composizione chimica di gas e
vapori

XRD



GC/MS



SEM



BET

MERCURY POROSIMETER



Laboratorio metrologico e prove tecnologiche

- Tarature strumentazioni per controlli dimensionali
- INSTRON: Prove di trazione, compressione, flessione, resistenza a carico statico, resistenza a taglio interlaminare;
- DUROMETRO: Durezze in scale Rockwell, Vickers, Brinell
- ROTONDIMETRO: sfericità, planarità e coassialità
- ISTERISIGRAFO: Misura del ciclo di isterisi magnetica

INSTRON



DUROMETRO



ISTERISIGRAFO



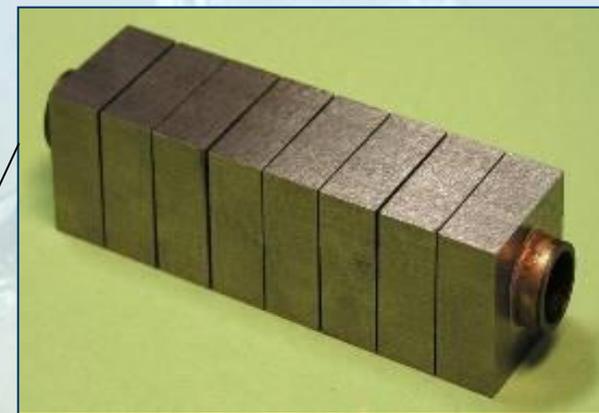
ROTONDIMETRO



Partecipazione a progetti di ricerca nazionali ed internazionali

FN ha sviluppato, in collaborazione con ENEA, il processo di casting del Cu su W per la realizzazione di componenti ad alto flusso termico destinati al divertore dell'impianto a fusione nucleare ITER

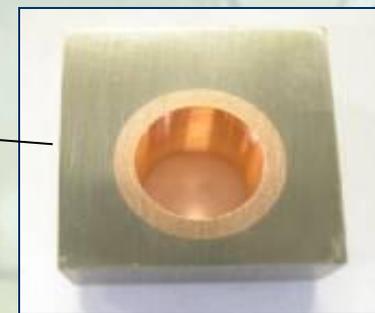
FN è fornitore qualificato di Ansaldo Nucleare.



Mock-up

Brasatura(W+Cu) – CuCrZr per il casting e lavorazioni meccaniche su tegole in W nell'ambito delle attività previste per la realizzazione di mock-up per il Divertore di ITER. In collaborazione con ENEA, la capacità di fornitura di FN per Ansaldo Nucleare consiste in:

- qualifica del processo
- esecuzione del casting
- controlli UT
- lavorazioni finali
- emissione certificati.



Componente in W/Cu

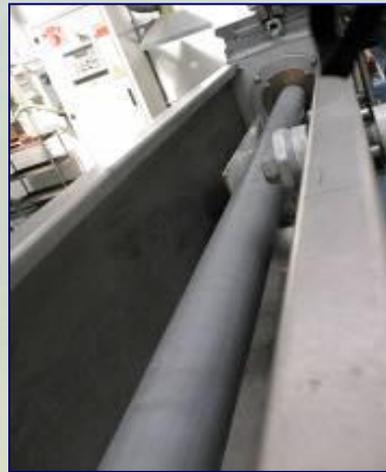


MATERIALI CERAMICI E METALLICI

Formatura in plastico di compound a base di ceramiche (Al_2O_3 , LiAlO_2 , SiC) e metalli (NdFeB) e successiva estrusione/stampaggio ad iniezione in forme anche complesse.



Compounding



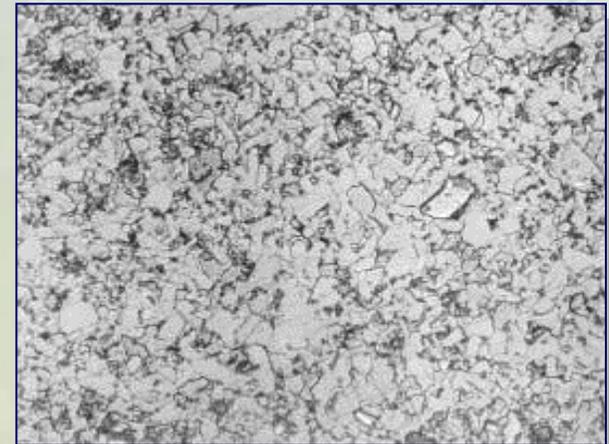
Tubo in SiC durante la fase di estrusione



Forno di sinterizzazione



Campioni stampati in Al_2O_3



Microstruttura al SEM di carburo di silicio (1000 X)



MATERIALI COMPOSITI PER APPLICAZIONI ESTREME

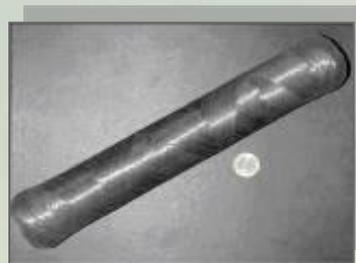
Realizzazione e caratterizzazione di materiali in composito SiC-SiC, C-SiC, C-C per applicazioni estreme, ottenuti tramite Polymer Infiltration Pyrolysis (PIP) e Chemical Vapor Infiltration/Chemical Vapor Deposition (CVI- CVD).

FN è qualificata in ambito EFDA e partecipa alla **European Energy Research Alliance (EERA)**

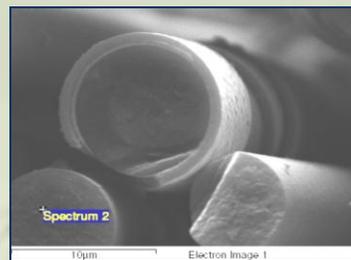
Realizzazione e caratterizzazione multistrati in carburo di silicio ottenuti per colatura su nastro e sinterizzazione (Partecipazione a rete d'eccellenza ExtreMAT)



Impianto CVI



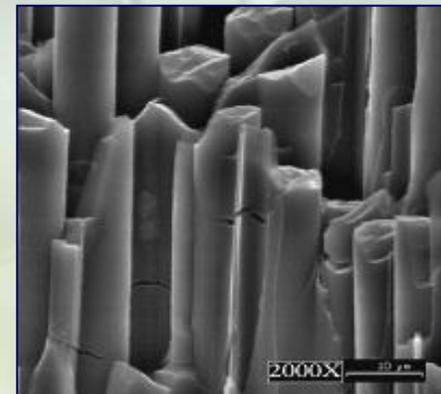
Tubo in CMC



Fibra in SiC rivestita di C e SiC



Nose-dome (CIRA)



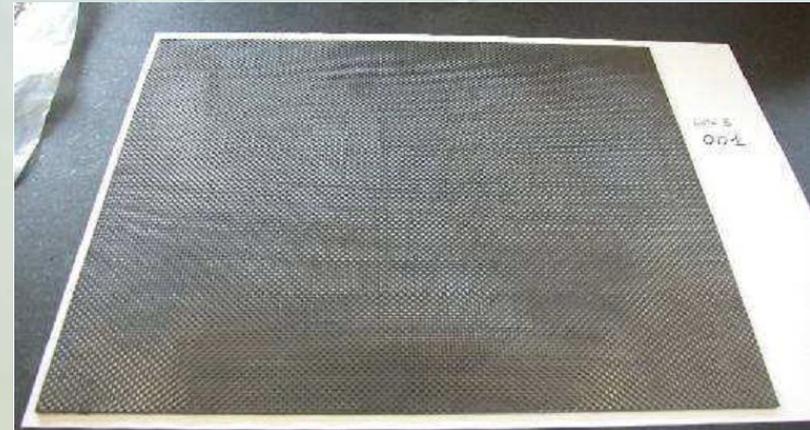
**Analisi al SEM
di superfici di frattura**



MATERIALI COMPOSITI E PER APPLICAZIONI ESTREME

Progetto ASA2

FN partecipa al programma A.S.A.2 (Advanced Structural Assembly) per lo sviluppo di nuove tipologie di strutture e nuovi materiali che verranno utilizzati nei futuri velivoli ipersonici (Collaborazione Thales Alenia, Dip Ingegneria La Sapienza, CIRA).

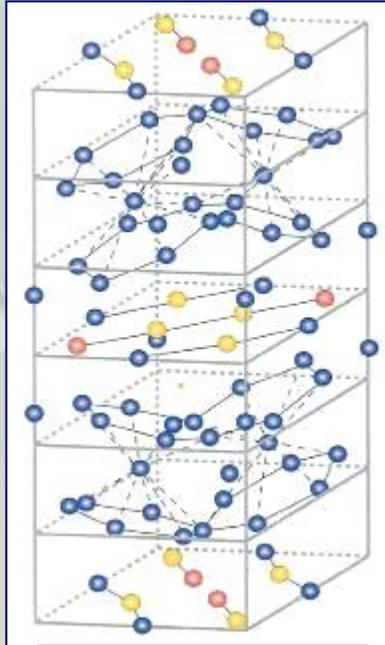


FN è qualificato dall'Univ. La Sapienza come fornitore di pannelli in C/C e C/SiC ottenuti tramite tecnologia Polymer Infiltration and Pyrolysis (PIP).

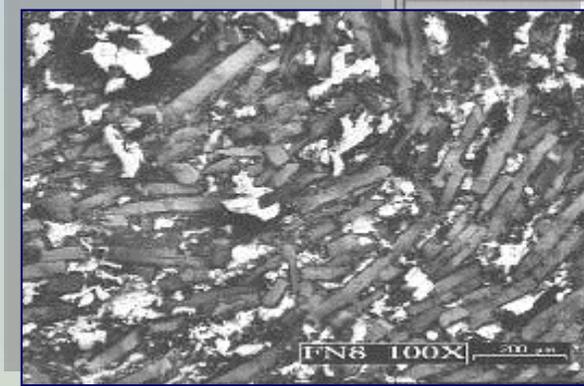


MAGNETI PERMANENTI

Plasto - neodimio
 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$



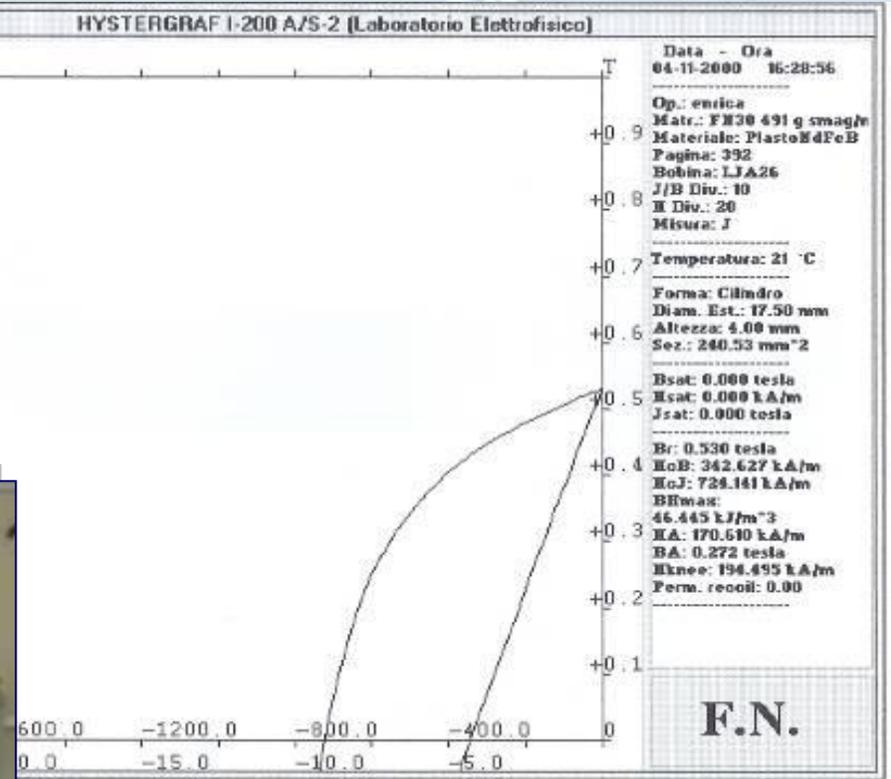
- atomo di Nd
- atomo di Fe
- atomo di Boro



Microstruttura al SEM 100 X



Isteresigrafo



Esempi di geometrie di magnetizzazione

Linea per la realizzazione, magnetizzazione e caratterizzazione di plasto-magneti permanenti duri (NdFeB) (Collaborazione Politecnico Torino)

Per conto dell'INFN sta sviluppando **magneti dolci** dalle caratteristiche avanzate da impiegare in dispositivi per il CERN



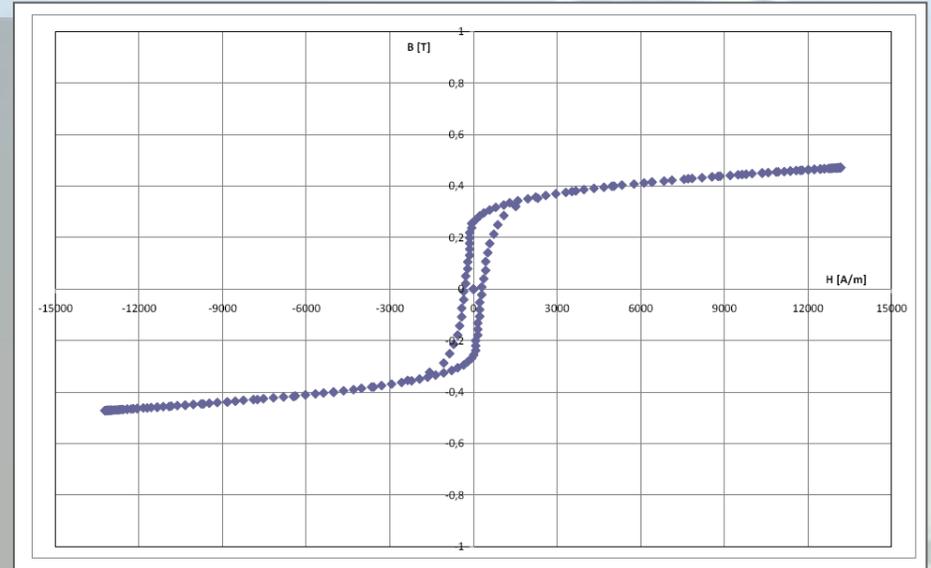
Attività magneti collaborazione INFN

Partendo da polveri magnetiche “dolci” FN ha sviluppato la tecnica di formatura MIM (Metal Injection Moulding) per la realizzazione di componenti magnetici da impiegare in dispositivi elettronici di elevate prestazioni capaci di operare in ambienti molto critici per la presenza di elevati campi di radiazione e magnetici (ad es. rivelatore c/o LHC al CERN).

Le attività sinora svolte, finanziate da INFN (ambito progetto APOLLO), sono state descritte all'ultimo simposio internazionale sui magneti JEMS 2012 tenutosi a Parma lo scorso settembre, con la presentazione della memoria:

“A soft magnetic material for power supply systems of high energy physics experiments”

S. Baccaro, P. Cova, N. Delmonte, E. Ghisolfi, A. Lanza



Caratterizzazione magnetica preliminare



Esempio di campioni magnetici stampati

METISOL (finanziato dal Ministero dell'Ambiente)

Produzione di miscele METano - Idrogeno con cicli termochimici alimentati da energia SOLare e sistemi di stoccaggio a bordo veicolo

OBIETTIVO: produzione di miscele metano-idrogeno (idrometano) mediante energia solare da impiegare come combustibile per automezzi.

Partner:

- **Centro Ricerche Fiat (coordinatore)**
- ENEA
- NIS – Università di Torino, Centro Nanosistemi)
- Università di Alessandria, DICMA
- Università Sapienza di Roma
- Logiche Energetiche
- Hysitech
- GM Service
- SEL (Società Energetica Lucana)
- FN S.p.A.



Impianto solare presso FN Bosco Marengo

FN si propone di utilizzare un impianto dimostrativo solare-termodinamico) a sali fusi (tecnologia ENEA e FLENCO) realizzando, con la collaborazione dei partner del progetto, un reattore che impieghi l'energia solare accumulata per l'innesco ed il mantenimento della reazione di reforming catalitico del metano.



Sistemi e Tecnologie per l'Esplorazione Spaziale : il progetto STEPS fase 2

WPD1: Materiali Ablativi/Aerotermodinamica

Partner: Thales Alenia Space, Politecnico di Torino, Università di Torino.

Durata: 24 mesi

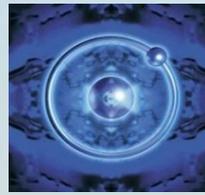
Il programma di sviluppo tecnologico proposto nel WPD1 di STEPS2 si propone di continuare lo sviluppo di materiali ablativi innovativi, da utilizzare in scudi termici per veicoli spaziali di rientro atmosferico la cui missione prevede di esporli a condizioni di flusso aerotermico compresi tra 1 e 1,5 MW/m².

L'obiettivo del progetto è il raggiungimento di TRL 5, (dimostrazione prototipale in ambiente rappresentativo) a livello di componente (mattonella di materiale ablativo).

Ruolo di FN è la messa a punto dei processi di fabbricazione di mattonelle ablative piane e successivamente di mattonelle curve e contenenti singolarità tipiche di questo tipo di prodotto, come ad esempio le giunzioni, necessarie per il raggiungimento del TRL5. A tale scopo, verrà realizzato presso la nostra sede di Saluggia un laboratorio dedicato. Inoltre FN realizzerà il Prodotto di Prova in Plasma che sarà testato presso il CIRA nella facility “Ghibli”



Industria 2015



Progetto EFESO

(ENVIRONMENTAL FRIENDLY ENERGY from SOLID OXIDE FUEL CELL)
FN partecipa al progetto che prevede la produzione di un microgeneratore di taglia 0,5-1,5 kW con basse emissioni specifiche e integrato di tutti i controlli e gli ausiliari per interfacciarsi con la rete elettrica. FN si occupa dello sviluppo dell'anodo e del suo scale-up.

Coordinatore: MTS



CHP system for residential and portable based on SOFC and hydrogen storage.

Scopo del progetto è lo sviluppo di un'ENERGY BOX: un sistema combinato calore e potenza (Combined Heat Power) nel range di potenza 1-5 kWe capace di produrre potenza elettrica e calore ad alta temperatura (per riscaldamento e condizionamento) . Sviluppo di un prototipo di cella SOFC accoppiata con un sistema di rilascio controllato di H₂ stoccato in idruri

Coordinatore: FN spa ITALY

Collaborazione Politecnico di Torino Italy

Partner :S.A. D.A.T.E. FRANCE

Partner :CNRS Grenoble FRANCE



POLI DI INNOVAZIONE TECNOLOGICA REGIONALI

FN è membro dei Consorzi dei Poli di Innovazione Tecnologica della Regione Piemonte e partecipa in collaborazione con aziende piemontesi ed il Politecnico di Torino. a progetti di ricerca nei seguenti campi:

Chimica sostenibile

s. gestore **Consorzio Ibis**

Nuovi Materiali

s. gestore **Consorzio Proplast**

Architettura sostenibile e idrogeno

s. gestore **Polight (Environment Park spa).**

Energie rinnovabili e biocombustibili

s. gestore **PST SpA (Parco Scientifico e Tecnologico Valle Scrivia).**

Meccatronica e sistemi avanzati di produzione

s. gestore **Centro servizi industrie srl.**



PROGETTO MIMAUEE

presentato nell'ambito del IV Programma Poli Innovazione

“Ricerca e sviluppo basata sull'implementazione di materiali innovativi per lo stampaggio di parti elettromagnetiche e relative tecnologie finalizzata alla costruzione di apparati tecnologicamente avanzati nell'ambito dell'utilizzo e dell'accumulo di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili”

Si tratta di un progetto inter-Polo cui partecipano il Politecnico di Torino (Dip. di Energia), Gate srl, Centro Piemonte Servizi srl ed FN SpA.

L'obiettivo del progetto è quello di progettare, realizzare e sperimentare apparati di utilizzo e di accumulo di energia elettrica, come un motore elettrico a magneti permanenti integrabile ad un accumulatore a volano, le cui componenti elettro-magnetiche (magneti e circuiti magnetici) siano realizzate con diversi materiali compositi a base di polveri magnetiche variamente additivate.

In questo progetto FN mette a disposizione ed implementa il proprio know-how sia sulla formatura di magneti permanenti sia sulla propria capacità di magnetizzazione e caratterizzazione magnetica attraverso l'impiego di strumentazione dedicata (isterisigrafo, gaussmetro, etc.).



POLO DI INNOVAZIONE POLIGHT

Green Building & Hydrogen Technologies di Torino

Studio di fattibilità *SOEC* (in corso)

“Sviluppo di celle innovative per co-elettrolisi CO₂ e H₂O”

in collaborazione con Politecnico di Torino Dip. Energia

Durata: 1 anno

Progetto di Ricerca *DHEGA* (proposta in fase di valutazione)

“Produzione di idrogeno da degasaggio di alluminio”

in collaborazione con Politecnico di Torino Dip. Energia

Durata: 2 anni

Ruolo FN: studio del processo e della depurazione dei gas, supportato da analisi gascromatografiche

**ATTIVITA' FN
NELL'AMBITO DELLA RICERCA DI SISTEMA**

FN SpA è coinvolta nelle seguenti tematiche di ricerca:

Energia Nucleare (Fissione IV Generazione)

Sviluppo e diffusione dell'uso delle fonti rinnovabili: Energia elettrica da biomasse

Sviluppo e diffusione dell'uso delle fonti rinnovabili: Energia elettrica da fotovoltaico

Energia Nucleare (Fusione)



Accordo di programma MSE – ENEA PAR 2009 – Attività FN

AMBITO

Progetto 1.3.1 “Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare (Linee LP3 ed LP5)

Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti”

Progetto 2.1.4 “Ricerca su celle fotovoltaiche innovative”

ACCORDI DI COLLABORAZIONE ENEA-FN

“Studio e sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di IV generazione. Caratterizzazione degli stessi con qualifica dei metodi e delle apparecchiature”

“Individuazione di materiali e processi più idonei per la realizzazione di membrane ceramiche per la separazione della CO₂ e implementazione del processo di formatura in plastico di elettrodi per celle a combustibile a carbonati fusi alimentate da gas da biomasse”

“Caratterizzazione chimica, fisica e microstrutturale di celle fotovoltaiche basate su semiconduttori Cu₂-II-IV-VI₄”



Accordo di programma MSE – ENEA PAR 2010 – Attività FN

AMBITO

Progetto 1.3.2.b “Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate “Broader Approach””

ACCORDI DI COLLABORAZIONE ENEA-FN

“Messa a punto del processo per la realizzazione di pannelli in SiC/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche ed in litio liquido””



Accordo di programma MSE – ENEA PAR 2011 – Attività FN

AMBITO

Progetto 1.3.1 “Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare (LP3)

Progetto 1.3.2 “Fusione Nucleare: Attività di fisica della fusione complementari ad ITER”

Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti”

Progetto 2.1.4 “Ricerca su celle fotovoltaiche innovative”

ACCORDI DI COLLABORAZIONE ENEA-FN

“Prove di fabbricabilità per lo sviluppo dell’elemento di combustibile LFR”

“Realizzazione di pannelli e campioni in SiC_f/SiC per caratterizzazioni fisico- meccaniche in temperatura, dopo irraggiamento neutronico e ionico ed in litio liquido”

“Sviluppo e caratterizzazione di membrane ceramiche e studio di supporti ceramici per l’abbattimento degli inquinanti nei fumi di combustione della biomassa solida lignocellulosica”

“Caratterizzazione chimica, fisica e microstrutturale di film sottili per celle fotovoltaiche a base di semiconduttori Cu₂-II-IV-VI₄”



Progetto 1.3 “Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare”

Accordo di collaborazione ENEA – FN per attività di ricerca:

“ Studio e sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di IV generazione. Caratterizzazione degli stessi con qualifica dei metodi e delle apparecchiature”

Parte A “Studio e sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di IV generazione” (LP3 – ob. C - Sviluppo di materiali innovativi per reattori di IV generazione)

A1 Realizzazione pannelli in C_f-C e SiC_f-SiC mediante tecnica CVI+PIP

A2 Realizzazione pannelli in C_f-C e SiC_f – SiC mediante tecnica CVI

Parte B “Caratterizzazione di materiali ceramici compositi da impiegare in reattori nucleari di nuova generazione con qualifica dei metodi e delle apparecchiature impiegate” (LP5 – ob. C - Sviluppo procedure e messa a punto di tecnologie innovative per test e componenti)

B1 - Analisi dello stato dell'arte normativo e redazione di procedure e documenti di qualifica

B2 - Caratterizzazione morfologico-strutturale e meccanica su provini ricavati da pannelli ottenuti per CVI+ PIP

B3 - Caratterizzazione morfologico-strutturale e meccanica su provini ricavati da pannelli ottenuti per CVI

B4 - Redazione dossier qualifica e report finali



Progetto 1.3.1 Parte A – Studio e sviluppo di materiali ceramici compositi per componenti di reattori nucleari a fissione di IV generazione

L'attività di ricerca ha riguardato lo sviluppo di processi di fabbricazione per la messa a punto di quattro tipologie di composito a matrice ceramica a fibra lunga (Carbonio e Carburo di Silicio) per la realizzazione di componenti di reattori a fissione di IV generazione (in particolare per barre di controllo e per guaine del combustibile):

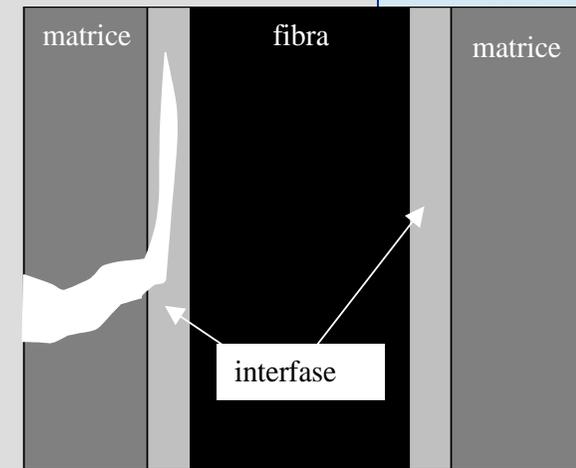
- SiC_f/SiC mediante tecnica ibrida CVI+PIP (Chemical Vapour Infiltration + Polymer Infiltration Pyrolysis)
- SiC_f/SiC mediante tecnica CVI
- C_f/C mediante tecnica ibrida CVI+PIP
- C_f/C mediante tecnica CVI.

FN SpA dispone di un impianto prototipale per Chemical Vapour Infiltration in grado di effettuare deposizioni di 0.3 micron di C o di SiC a ciclo di infiltrazione e di un forno per PIP (forno ITEM), anch'esso prototipale, che permette di effettuare cicli di impregnazione di resine e relativa pirolisi a 1000 °C – 1200 °C.



Caratteristiche dei Compositi a Matrice Ceramica:

- basso coeff. espansione termica,
- resistenza alla degradazione da radiazioni,
- mantenimento delle proprietà meccaniche anche ad alta T e pressione,
- comportamento meccanico pseudo-plastico



Realizzazione pre-forme

Realizzazione interfase di C mediante CVI



Polymer Infiltration Pyrolysis (PIP)

Chemical Vapour Infiltration (CVI)

SiC_f/SiC

C_f/C

SiC_f/SiC

C_f/C

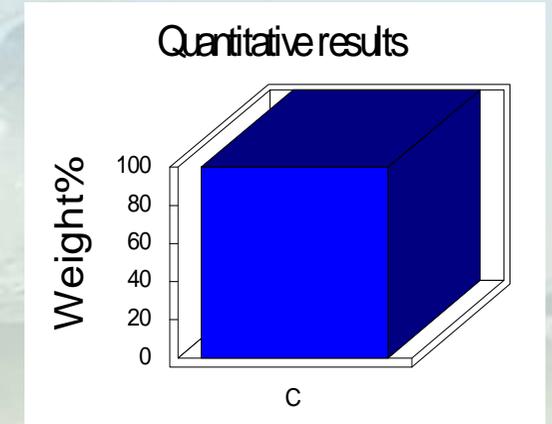
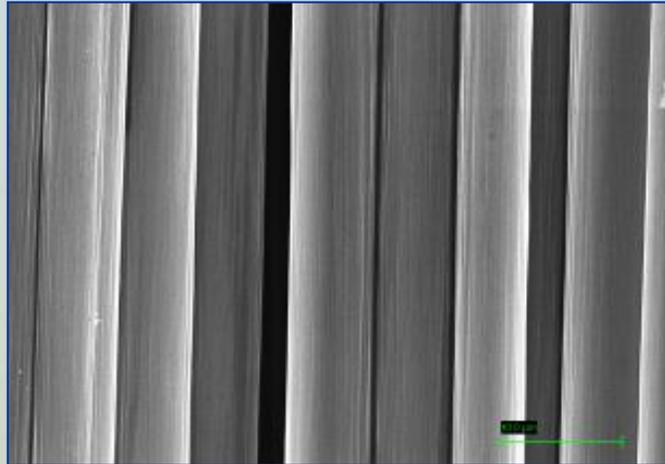
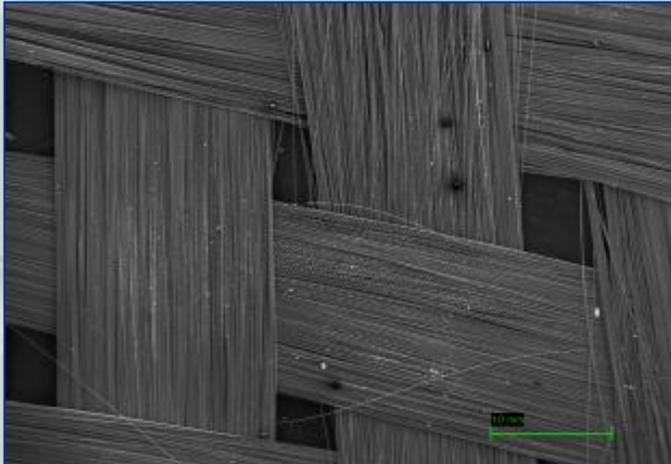
Tecnica ibrida: CVI+PIP



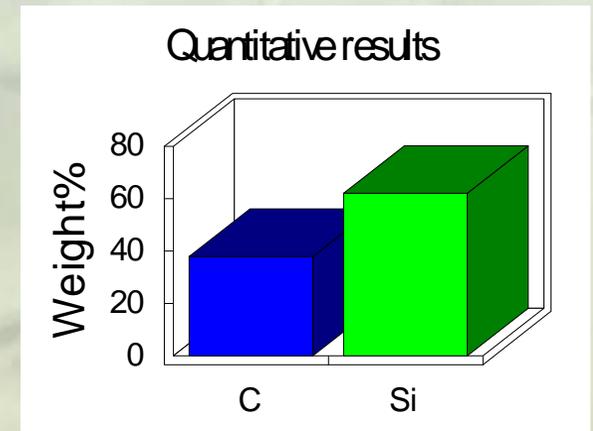
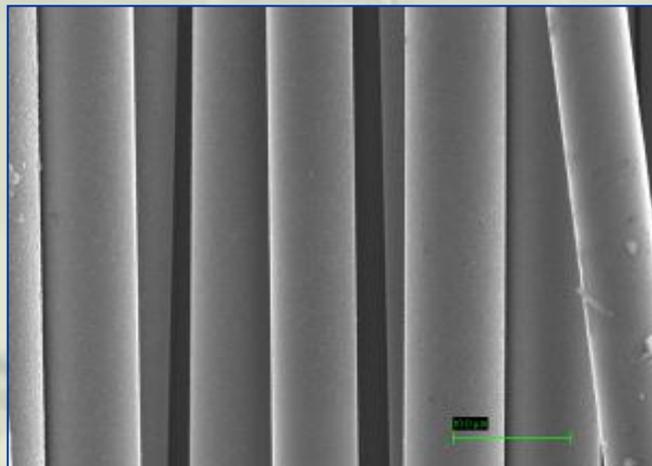
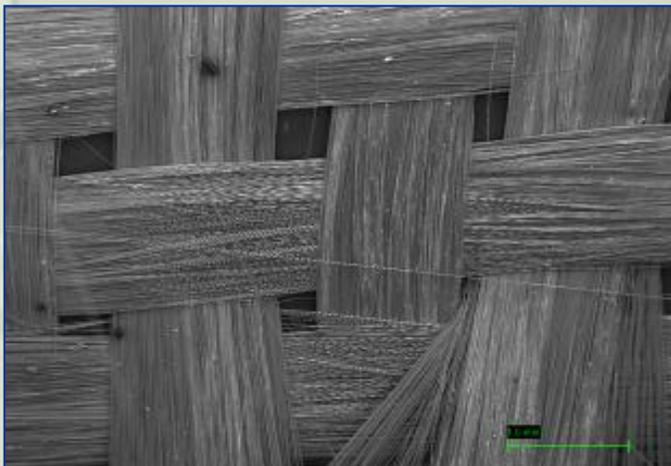
Materie prime da fornitori qualificati



Tessuto in C HEXFORCE HEXCEL



Tessuto in SiC TYRANNO SA UBE



	Vantaggi	Svantaggi
CVI	<ul style="list-style-type: none"> • Compositi con le migliori caratteristiche • Matrice con microstruttura controllata • Interfase di spessore omogeneo 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenza di porosità chiusa • Costi elevati • Gestione del processo difficoltosa
PIP	<ul style="list-style-type: none"> • Anche componenti di geometrie complesse • Meno costoso • Di più facile gestione 	<ul style="list-style-type: none"> • Per ottenere matrici con alta densità si deve ripetere più volte il processo, visto che una parte consistente del polimero evacua sotto forma di oligomeri • Per ottenere un CMC con densità elevata la preforma di partenza deve avere un'alta compattezza

TECNICA IBRIDA CVI-PIP (ottimizza costo/prestazioni)

Viene prodotta l'interfase attraverso il processo CVI

Densificazione attraverso la metodologia PIP



Progetto 1.3.1 Parte B – Caratterizzazione di materiali ceramici compositi da impiegare in reattori nucleari di nuova generazione con qualifiche dei metodi e delle apparecchiature impiegate

Questa attività aveva il duplice scopo di caratterizzare i materiali compositi a matrice ceramica sviluppati e di redigere un protocollo di prove e procedure per la qualifica dei materiali stessi, delle apparecchiature impiegate per la loro realizzazione e caratterizzazione e del personale addetto.

A seguito di una iniziale ricerca bibliografica circa lo stato dell'arte normativo in materia di caratterizzazione di materiali compositi (nello specifico per l'impiego nucleare) e della redazione dei documenti di assicurazione qualità conformemente alla ISO 9001: 2008 (piano di qualità, piano di fabbricazione e controllo, piano di qualifica) relativi all'attività di ricerca da svolgere, sono state definite le prove (fisico-meccanico-strutturali e termiche) cui sottoporre i campioni ottenuti nell'Ob. A.

Sono stati definiti i piani di taglio per l'ottenimento del massimo numero di provini e sono state sperimentate tecniche di taglio di tipo diverso (mole diamantate, elettroerosione a filo, laser). I provini ottenuti sono stati sottoposti alla caratterizzazione prevista secondo le normative individuate e le procedure di laboratorio qualificate.

Le caratteristiche riscontrate sui provini analizzati portano a concludere che la tecnica ibrida di realizzazione CVI+PIP (Chemical Vapour Infiltration + Polymer Infiltration Pyrolysis) è molto interessante, tenendo anche conto della sua maggiore economicità rispetto al solo trattamento di CVI.



Preparazione pre-forme

Taglio tele e pre-impregnazione con resine

Definizione trattamento in autoclave

Preparazione dei sacchi a vuoto

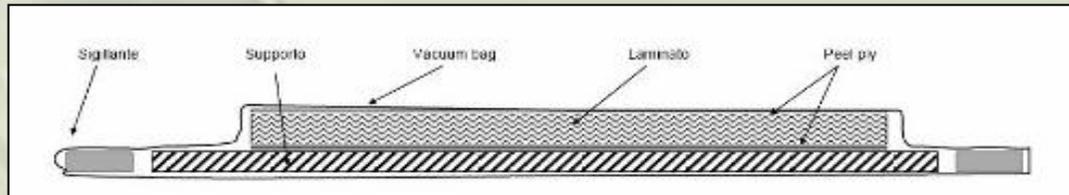
Trattamento in autoclave

Ciclo di pirolisi ad alta T in ITEM

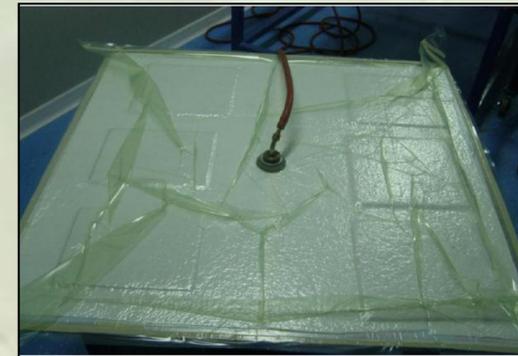
Permette di compattare le tele senza riempire gli spazi necessari alle successive infiltrazioni



Es. di tele impilate (15 per C/C e 17 per SiC/SiC) e pre-impregnate



Schema del sacco per il vuoto



Particolare del tiro del sacco



CARATTERIZZAZIONE presso FN



Macchina universale Instron
Mod. 4507, cella da 150 kN

Controlli metrologici

Dimensionali

Planarità

Rugosità superficiale

Analisi fisiche

Densità Hg , He

Porosimetria Hg

Analisi strutturali

Microscopia SEM (anche
su sup. di frattura)

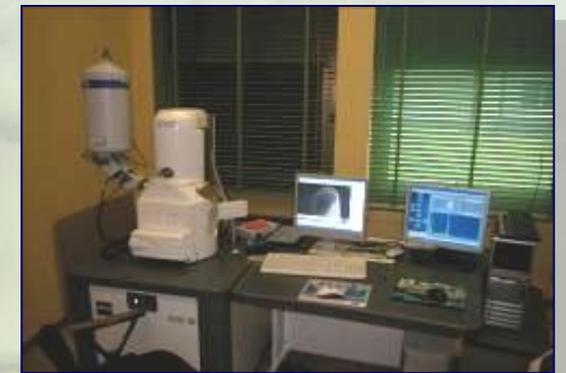
XRD

Prove meccaniche

Trazione

Flessione a 3 punti

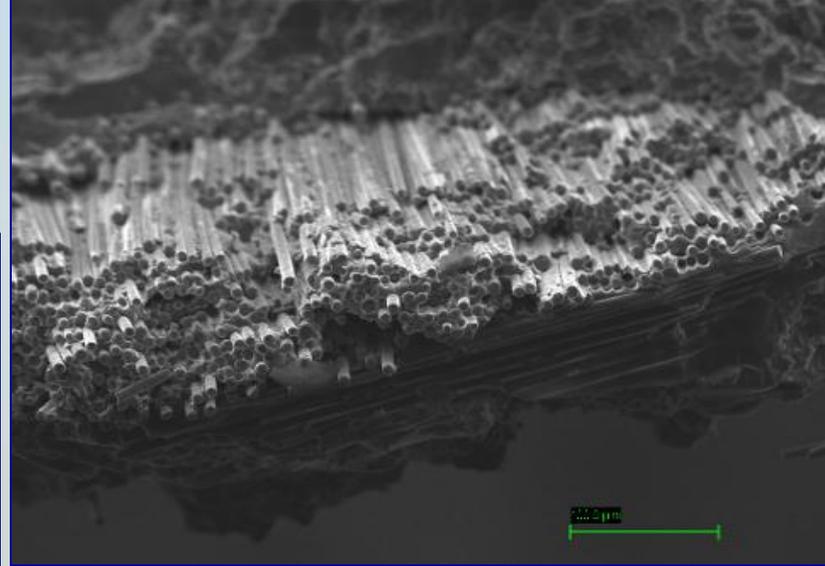
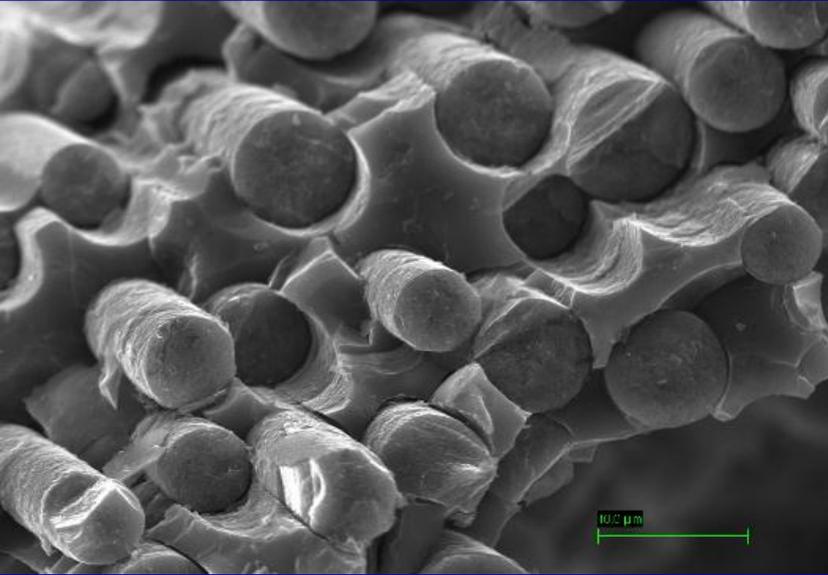
Taglio interlaminare (ILSS)



SEM ZEISS



Analisi microstrutturale su superficie di frattura



Prova di trazione su compositi



Piano di taglio



Risultati della caratterizzazione

Caratteristica	Unità di misura	C _f /C mediante CVI+PIP	C _f /C mediante CVI (*)	SiC _f /SiC mediante CVI+PIP	SiC _f /SiC mediante CVI (**)
Densità ad He	g/cm ³	1.614 ± 0.009	1.616 ± 0.011	2.642 ± 0.016	2.645 ± 0.015
Densità geometrica	g/cm ³	1.284 ± 0.009	1.240 ± 0.002	2.160 ± 0.003	1.950 ± 0.020
Densità a Hg	g/cm ³	1.320 ± 0.020	1.308 ± 0.020	2.174 ± 0.049	1.970 ± 0.030
Percentuale porosità aperta calcolata	%	18.5	19	17	26
Resistenza a trazione	MPa	142.43 ± 9.52	158.59 ± 12.57	247.10 ± 12.50	143.28 ± 6.89
Resistenza a flessione a 3 punti	MPa	156.02 ± 26.19	117.06 ± 9.56	358.51 ± 26.72	219.40 ± 31.57
Resistenza a taglio interlaminare (ILSS)	MPa	10.08 ± 0.98	7.38 ± 0.55	23.51 ± 1.20	13.82 ± 0.90

* Densificazione quasi completa , ** Densificazione al 70%

Il processo CVI+PIP rappresenta una valida alternativa al CVI e permette di ottenere compositi dalle proprietà interessanti, sebbene con i limiti intrinseci della stessa tecnica.

Il processo CVI ha confermato la possibilità di ottenere compositi dalla struttura molto più omogenea.

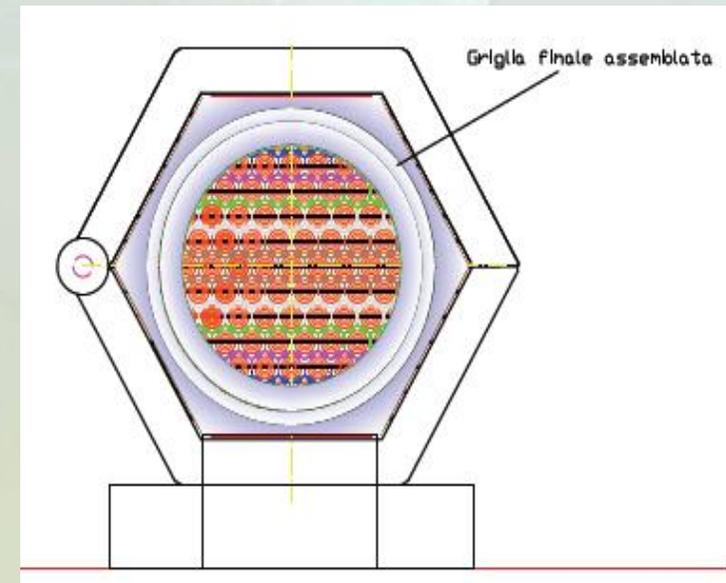


“Prove di fabbricabilità per lo sviluppo dell’elemento di combustibile LFR”

Ob. A – Valutazione preliminare circa il montaggio di elementi di combustibile esagonali chiusi

Grazie all’esperienza maturata nel proprio passato nucleare, FN ha individuato la migliore sequenza per il montaggio di elementi di combustibile esagonali chiusi (tipo ALFRED). Tale sequenza consiste nei seguenti passi:

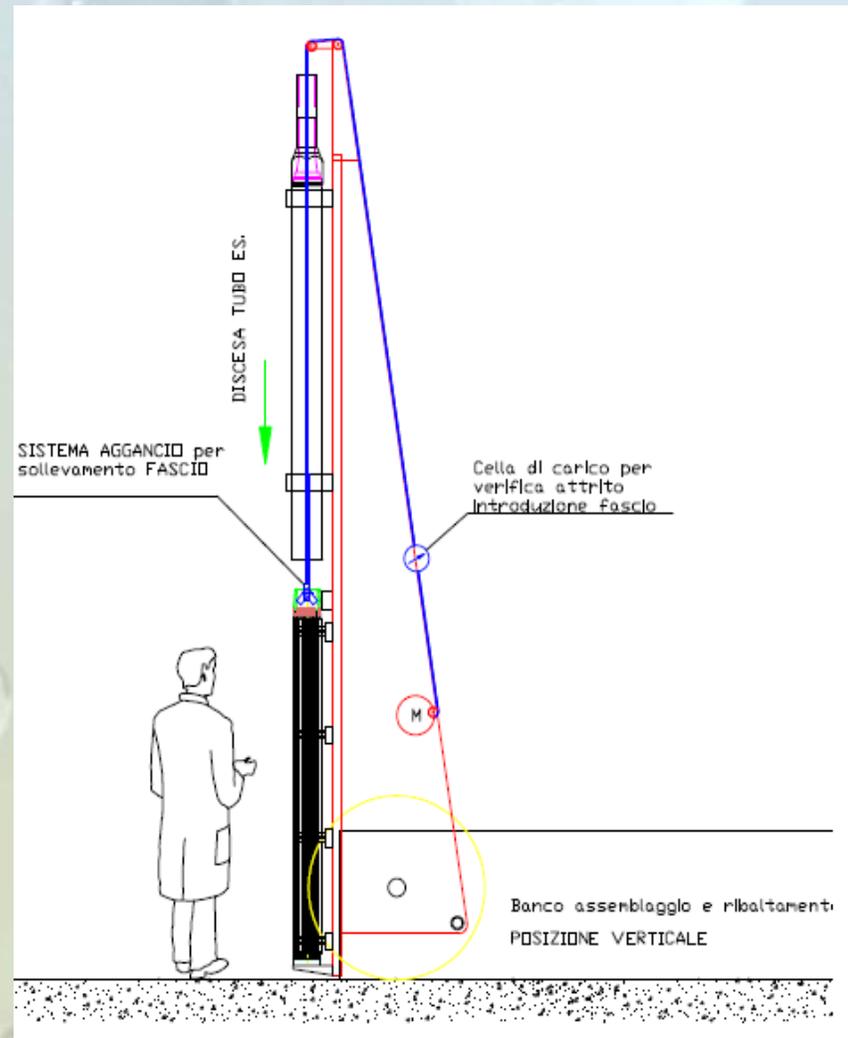
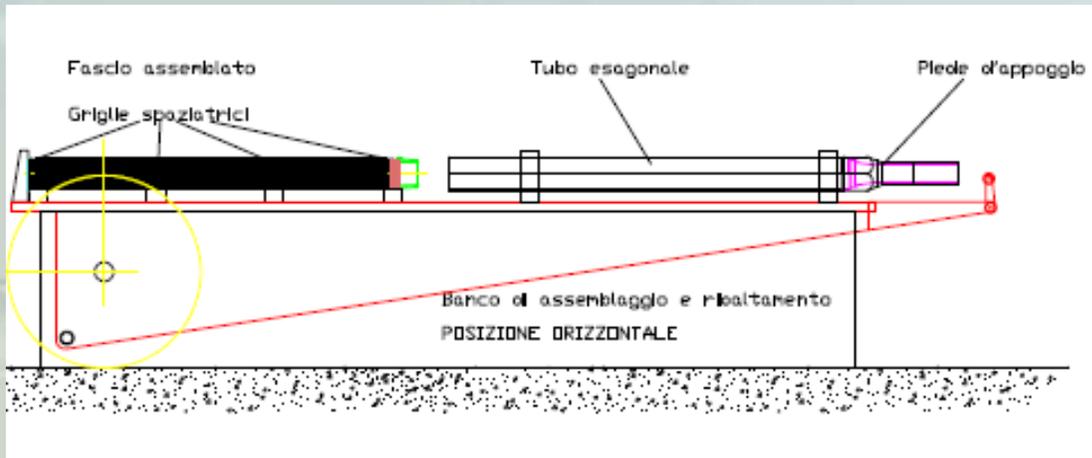
1. Composizione del fascio dotato di griglie spaziatrici; questa operazione viene effettuata su un banco di assemblaggio progettato appositamente, in grado di essere ribaltato in posizione verticale. L’assemblaggio del fascio consiste nella sovrapposizione di strati di barrette adagiati su apposite griglie all’interno di un supporto esagonale rimovibile in fase di inserimento entro il condotto esagonale.
2. Dopo la realizzazione del fascio, il condotto esagonale viene posto sul banco in assetto orizzontale in asse con il fascio;
3. L’assemblaggio del fascio entro il condotto esagonale viene effettuato ribaltando il banco in assetto verticale.



Vista del fascio completo posto sul banco in posizione orizzontale



Ob. A – Valutazione preliminare circa il montaggio di elementi di combustibile esagonali chiusi



Schema del banco di assemblaggio in posizione orizzontale (in alto) ed in posizione verticale in fase di inserimento del fascio entro il condotto esagonale (a lato)

FN ha emesso una specifica tecnica preliminare per la realizzazione di tale banco.

I dettagli dell'attività sono descritti nel deliverable LP3-B3.b (LAM 070 R 381 rev.0) consegnato ad ENEA.



Ob. B – Prove di fabbricabilità relative al collegamento barretta/supporto elementi quadrati aperti “vented”

FN aveva il compito di progettare ed effettuare prove di fabbricabilità al fine di definire la migliore tecnica da seguire per realizzare il collegamento fra gli elementi a geometria quadrata aperta “vented” e la loro griglia di supporto. Partendo dalle indicazioni di massima ricevute da ENEA e tenendo conto delle condizioni di lavoro molto restrittive e delle criticità (barrette “calde”, tolleranze e spazi molto stretti, necessità di una giunzione di qualità resistente a transitori termici e ad irraggiamento neutronico) sono state individuate e sperimentate tre possibili tecniche:

- microsaldatura laser
- giunzione di tipo meccanico (tipo “imbutitura”)
- con filettatura e guarnizione.

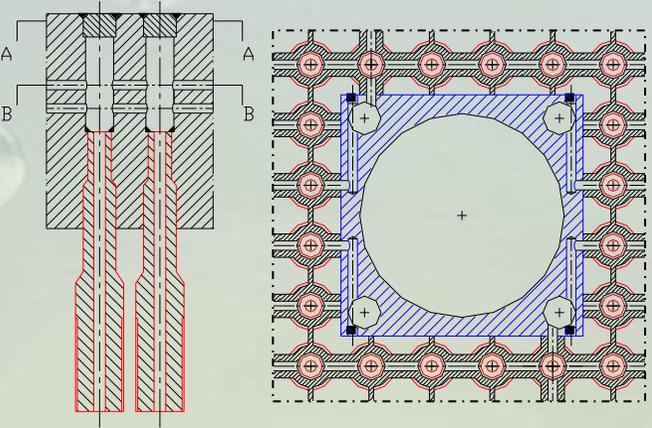
Per ciascuna tecnica:

- sono stati realizzati i disegni esecutivi di provini singoli e in stringa da 4 fori;
- con l'acciaio Z10 CNDT 15 - 15 B, sono stati realizzati i provini singoli ed in griglia da 4 fori;
- i provini sono stati testati in prove di tenuta in He;
- fra i provini singoli quelli che hanno dato il miglior risultato in prove di tenuta sono stati ottenuti per microsaldatura laser, mentre per il gruppo da 4 la miglior performance è stata raggiunta con filettatura e guarnizione.

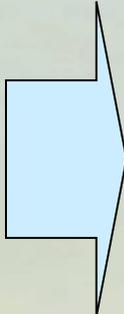
Le attività svolte sono descritte nella relazione per ENEA LAM 070 R 379 rev.0 e nel deliverable LAM 070 R 381 rev.0 (LAM 070 R 381 rev.0) consegnati ad ENEA.



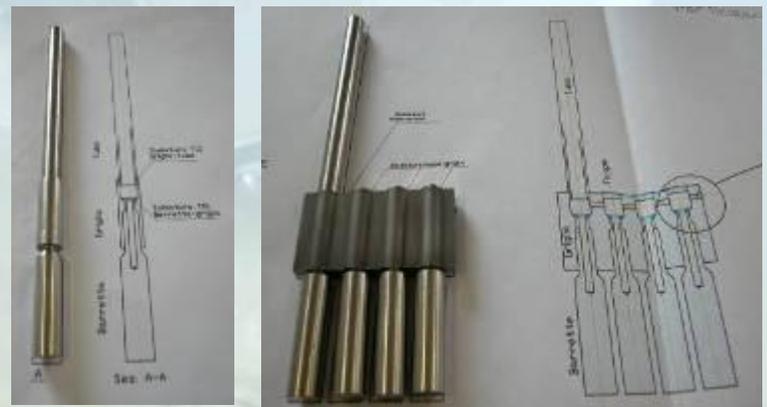
Ob. B – Prove di fabbricabilità relative al collegamento barretta/supporto elementi quadrati aperti “vented”



Prime indicazioni progettuali da parte ENEA



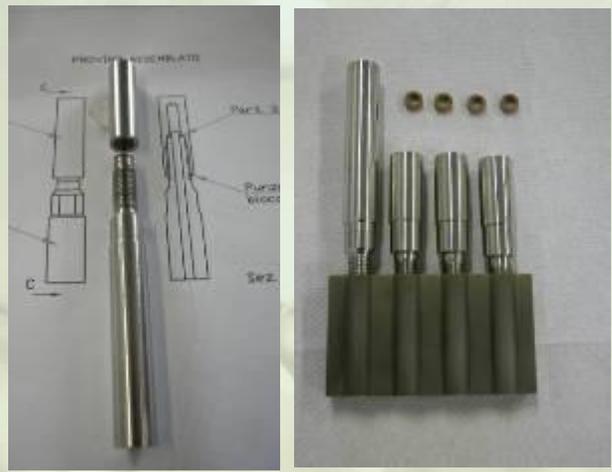
Provini realizzati per la tecnica di microsaldatura laser



Provini per la tecnica di “imbutitura”



Provini per la tecnica di filettatura con guarnizione



Piano triennale sulla Ricerca di Sistema Elettrico 2012-14

Possibili attività prima annualità

Progetto 1.3.1 “Nuovo nucleare da fissione: collaborazioni internazionali e sviluppo competenze in materia nucleare

B.8 Prove di fabbricabilità per sviluppo elemento di combustibile LFR

In continuità con quanto sviluppato nel precedente piano annuale di realizzazione, si procederà con gli studi di fabbricazione relativi agli elementi di combustibile innovativi progettati da ENEA per sistemi LFR.

La progettazione meccanica dell'elemento di combustibile di un sistema LFR presenta infatti problematiche progettuali, legate alla spinta di galleggiamento, al corretto distanziamento tra pin, agli effetti di fretting, ai rischi di ostruzione e soprattutto alla necessità di garantire il raffreddamento dell'elemento anche in caso di arresto della macchina di refuelling, che necessitano di studi ad hoc per verificare la fattibilità delle soluzioni progettuali proposte.

Le prove di fabbricazione, secondo le specifiche tecniche fornite da ENEA, saranno condotte impiegando elettroerosione, tecniche di saldatura individuate, banchi di assemblaggio da implementare in funzione della specificità dell'impiego, nonché le macchine d'officina convenzionali.



Progetto 2.1.2

“Studi sulla produzione elettrica locale da biomasse e scarti”

Individuazione di materiali e processi più idonei per la **realizzazione di membrane ceramiche** per la separazione della CO₂ e **implementazione del processo di formatura in plastico di elettrodi di celle MCFC** alimentate da gas da biomasse.

A *“Analisi dello stato dell’arte dei processi di rimozione della CO₂ da biogas”*

B *“ Individuazione dei materiali e dei processi produttivi più idonei per lo sviluppo di membrane ceramiche”*

C *“Implementazione del processo di formatura in plastico per la realizzazione di elettrodi per celle a combustibile a carbonati fusi alimentate da gas da biomasse o rifiuti, con fabbricazione di campionature significative da sottoporre a caratterizzazione”*

C1 – *Studio sullo stato dell’arte delle tecniche di trattamento termico alternative alle tradizionali*

C2 – *Realizzazione di campionature di elettrodi per caratterizzazione interna FN*

C3 – *Realizzazione campioni finali*



Progetto 2.1.2 A – “Analisi dello stato dell’arte dei processi di rimozione della CO₂ da biogas”

E’ stato effettuato uno studio approfondito sul panorama normativo e tecnologico delle attività svolte a livello internazionale per lo sfruttamento a scopi energetici delle biomasse.

Più in particolare si è focalizzata l’attenzione sui **diversi approcci in Italia e sul territorio (Regione Piemonte) alle problematiche di depurazione del biogas e rimozione della CO₂.**

Dallo studio è emerso che, a seconda dell’utilizzo finale del biogas e quindi del grado di purezza o arricchimento desiderati, possono essere adottate diverse **soluzioni tecnologiche** ed impiantistiche delle quali alcune sono da ritenersi consolidate a livello industriale ed altre **innovative**.

Indubbiamente le membrane polimeriche sono quelle più largamente utilizzate e sulle quali i produttori leader del mercato sono già da tempo orientati all’implementazione per ottimizzarne l’efficienza. Ciononostante si concorda sull’interesse, nell’ambito delle soluzioni più innovative, alle nuove tecnologie **a membrana ceramica**.



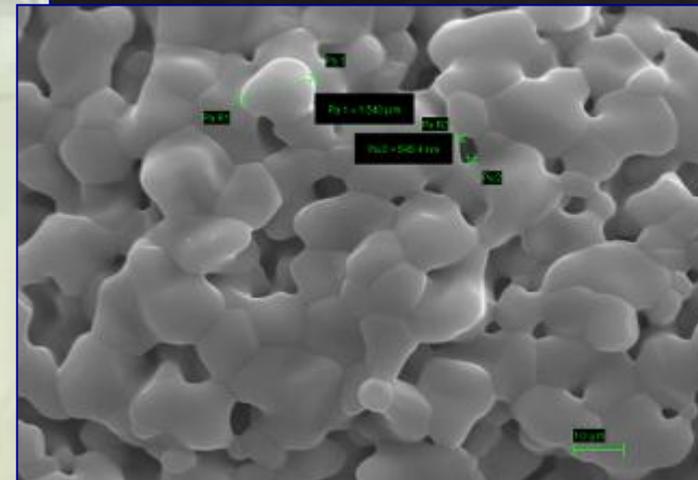
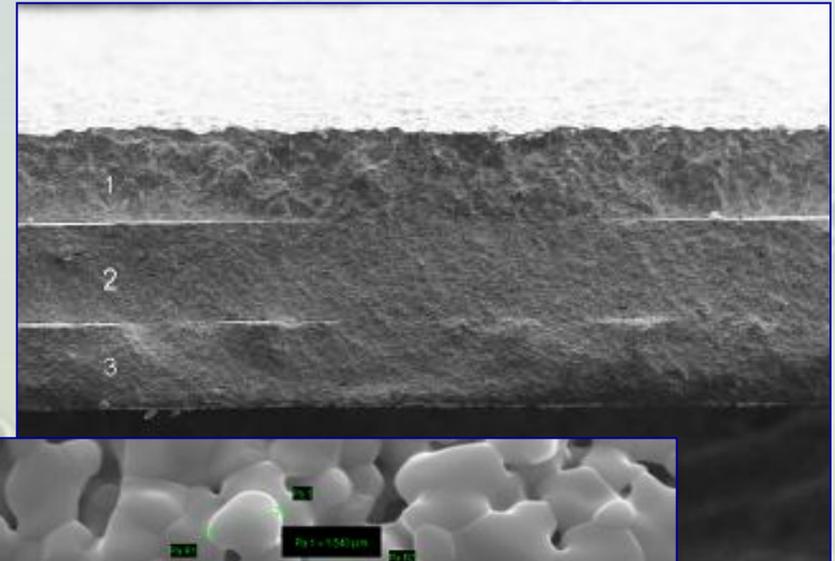
Progetto 2.1.2 B – “ Individuazione dei materiali e dei processi produttivi più idonei per lo sviluppo di membrane ceramiche”

Con il supporto del C.R. ENEA Brindisi che ha fornito le indicazioni per la progettazione dei prototipi e ha effettuato i test sulle membrane, FN ha potuto avviare lo sviluppo di **supporti ceramici multistrato per membrane inorganiche realizzati tramite tape casting**



I prototipi FN sono stati sviluppati inizialmente nella forma più porosa e infine in una densa.

Su questi ultimi ENEA Brindisi ha effettuato prove di tenuta ai gas e permeazione H_2 . L'indicazione è di replicare il processo di fabbricazione nel senso di una riduzione della densità



Esempio di microstruttura e di membrane ceramiche realizzate

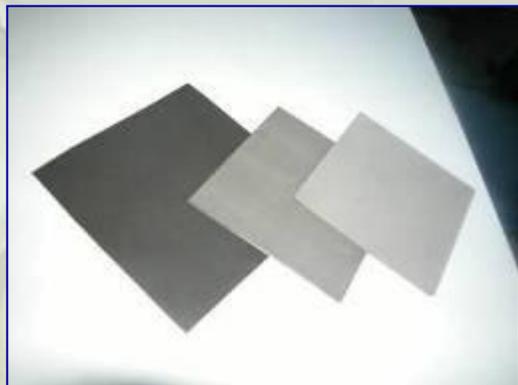


Progetto 2.1.2 C “Implementazione del processo di formatura in plastico per la realizzazione di elettrodi per MCFC alimentate da gas da biomasse o rifiuti, con fabbricazione di campionature significative da sottoporre a caratterizzazione”

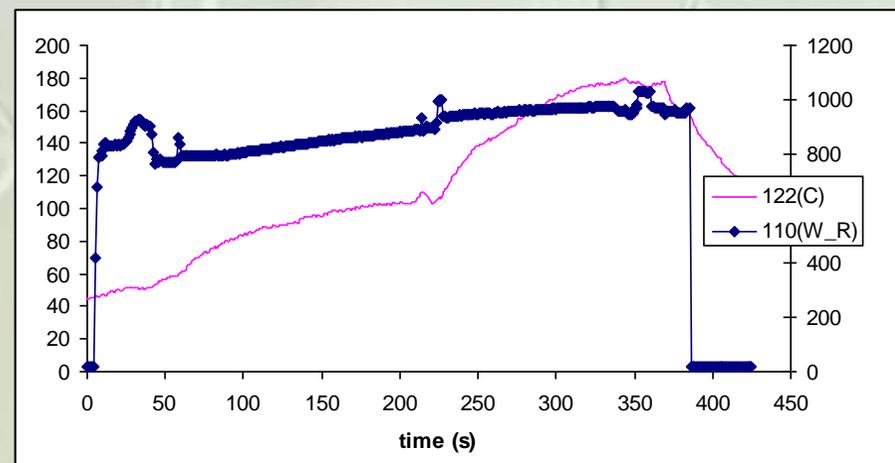
Sulla base della sperimentazione condotta sugli elettrodi ottenuti in plastico nel secondo anno dell'Accordo di Programma, si è visto come la fase più critica ancora da migliorare fosse quella relativa ai trattamenti termici, in particolare la deceratura.

Allo scopo è stata effettuata una ricerca bibliografica sullo stato dell'arte dei trattamenti alternativi ai convenzionali e si è approfondita l'analisi sull'impiego delle microonde.

Sono stati quindi effettuati dei trattamenti a microonde su campionature di elettrodi realizzati in plastico. Tali prove non hanno prodotto risultati soddisfacenti e quindi si è approfondita la ricerca sui trattamenti termici convenzionali.

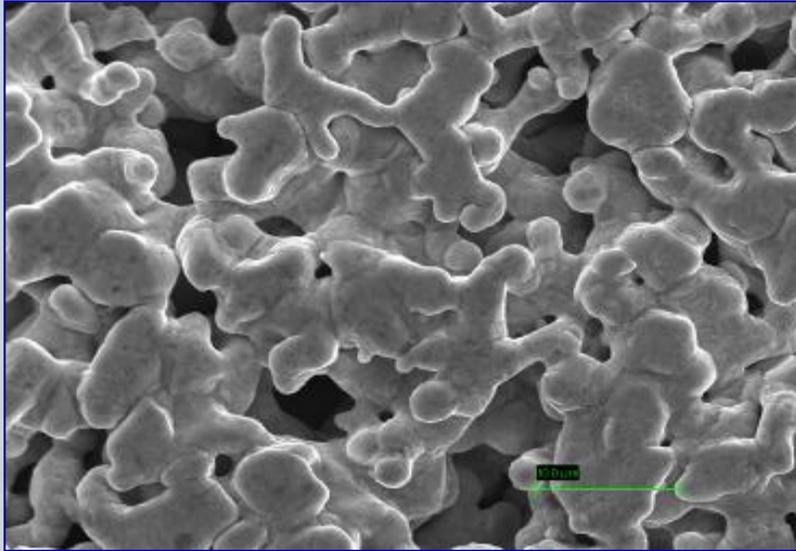


Elettrodi: a sinistra elettrodo allo stato “green”, al centro e a destra elettrodi dopo sinterizzazione; nell'altra fig. es. di ciclo a microonde

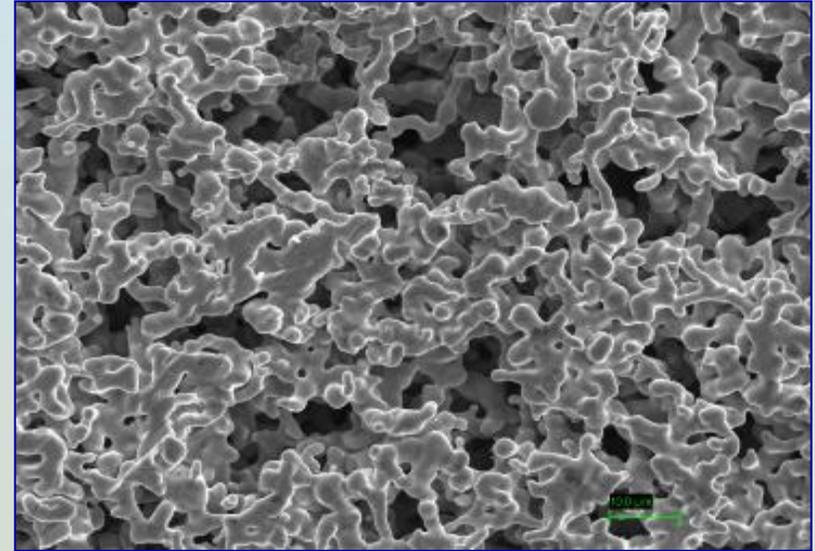


Sono state effettuate ulteriori modifiche ai parametri di processo ed è stata realizzata una campionatura di elettrodi MCFC (anodi e catodi) consegnata ad ENEA per prove.

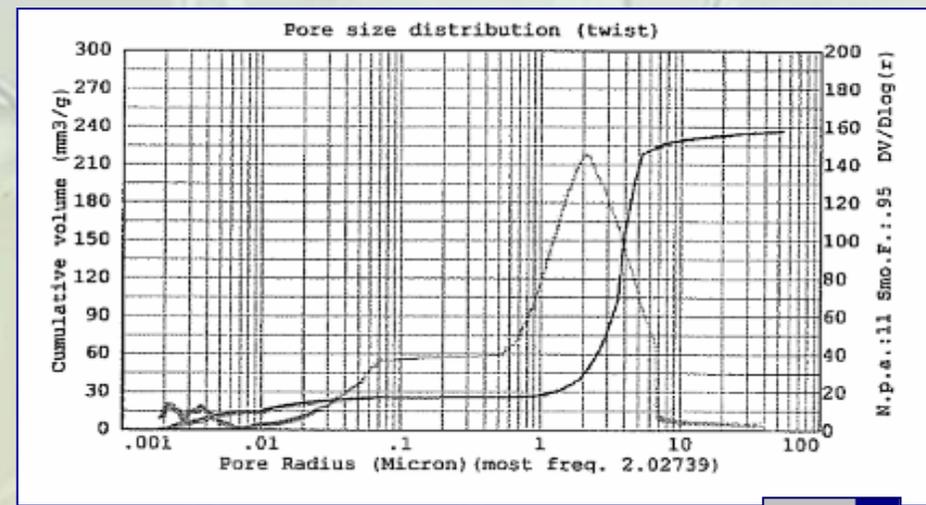
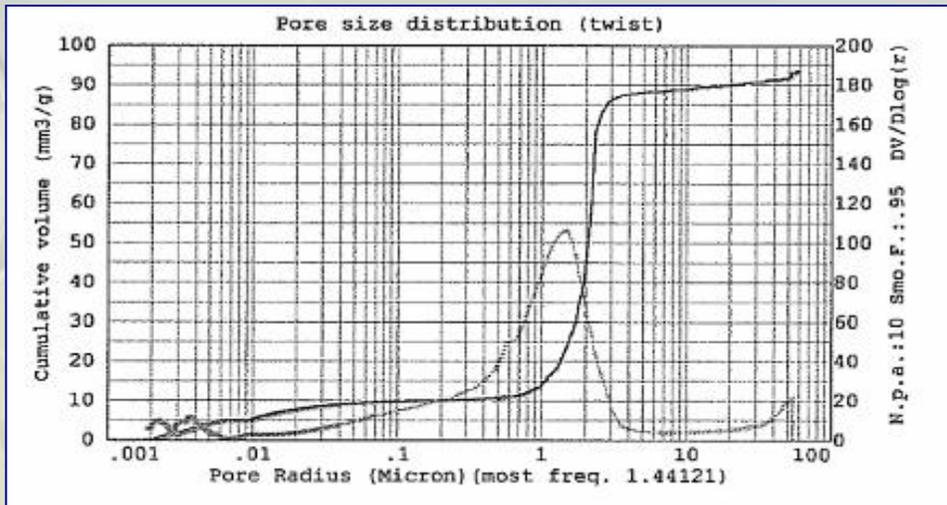




Anodo



Catodo



Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti” PAR 2011

“Sviluppo e caratterizzazione di membrane ceramiche e studio di supporti ceramici per l’abbattimento degli inquinanti nei fumi di combustione della biomassa solida lignocellulosica”

Fase A “Ottimizzazione di un processo per la formatura di supporti ceramici microporosi per **membrane inorganiche selettive**”

Fase B “**Stato dell’arte dei supporti utilizzati nei dispositivi catalitici di abbattimento degli inquinanti nei fumi di impianti di combustione a biomassa, realizzazione di campioni preliminari di supporti ceramici**”



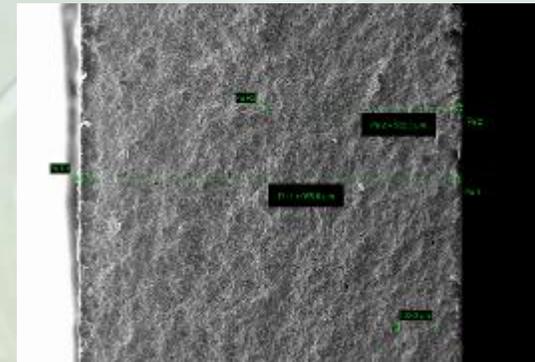
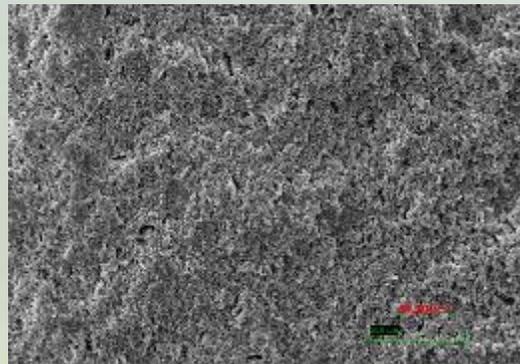
Fase C “Messa a punto del processo di formatura per la **realizzazione di supporti ceramici** per un dispositivo di abbattimento degli inquinanti nei fumi di impianti di combustione a biomassa e realizzazione di campioni da testare presso il C.R. ENEA di Saluggia”



Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti” PAR 2011

Fase A – Supporti ceramici per membrane selettive verso la CO₂ nel biogas

Con il supporto del C.R. ENEA Brindisi che ha fornito le indicazioni per la progettazione dei prototipi e ha effettuato i test sui supporti, FN ha potuto sviluppare un prototipo di **supporto ceramico bi-strato per membrane inorganiche realizzato tramite tape casting e co-sintering** di Allumina



In parallelo è stato messo a punto il processo di fabbricazione del **prototipo tubolare (mono- e bi-strato)** fino alla L di 15 cm con \varnothing 10 mm.



Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti” PAR 2011

Fase B – Analisi dello stato dell’arte dei supporti utilizzati nei dispositivi catalitici di abbattimento

E’ stato effettuato uno studio approfondito sul panorama tecnologico dei dispositivi che impiegano materiali catalitici per depurare i gas negli impianti di cogenerazione basati su biomasse.

Sono state approfondite le problematiche di una completa e corretta caratterizzazione chimico fisica dei fumi (ceneri sottili, tar, idrocarburi IPA e PCB, monossido di carbonio)

A conclusione delle prime attività sperimentali FN ha dimostrato di poter realizzare manufatti cilindrici multistrato, di diversi spessori e lunghezze, da poter testare nel dispositivo di prova che ENEA costruirà per lo scopo.

Ciascun anello/cilindretto, poiché presenta all’interno delle pareti una microstruttura porosa che aumenta di molto (rispetto ad un tubo monolitico ceramico commerciale) l’area della superficie lambita dai fumi di combustione da filtrare/depurare, potrà essere impregnato o rivestito con un catalizzatore che possa conferire al supporto la specifica funzione di “abbattimento”.



Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti” PAR 2011

Fase C – Fabbricazione dei supporti per il dispositivo catalitico di abbattimento degli inquinanti nei fumi di combustione dell’impianto a biomasse di Saluggia

Per le attività sperimentali, su indicazione del gruppo di lavoro ENEA Saluggia, si è preso a “modello” la struttura a nido d’ape di un comune filtro catalitico per fumi di combustione e si è deciso di simulare la configurazione geometrica “ a canali” a pareti sottili.

FN ed ENEA hanno quindi stabilito di:

- fabbricare una serie di cilindri di lunghezza 35 mm, diametro esterno dell’ordine di 5 mm e spessore di parete di circa 1-2 mm, che possano essere inseriti disponendoli “a fascio” all’interno del dispositivo ENEA per la filtrazione;
- testare la capacità filtrante di tali supporti, in termini di filtro-barriera, a diverse temperature (misure della perdita di carico e monitoraggio di alcuni gas di combustione);
- testare la rigenerabilità dei filtri in funzione del tasso di intasamento attraverso cicli di pulizia post-test (lavaggi acidi, calcinazione in aria).



Supporti consegnati per il test sui fumi



Piano triennale sulla Ricerca di Sistema Elettrico 2012-14

Possibili attività prima annualità

Progetto 2.1.2 “Studi sulla produzione locale di energia da biomasse e scarti”

Linea A Componenti ceramici per depurazione di syngas.

Le attività consistono nello studio di fattibilità per la fabbricazione su scala semindustriale, a partire da polveri con la tecnica di estrusione/stampaggio di materiali plasto-ceramici fortemente caricati seguita da sinterizzazione, di supporti tubolari in materiale ceramico utilizzabili da ENEA per la depurazione in temperatura del Syngas.

Linea B Componenti ceramici per dispositivi di trattamento catalitico dei fumi di combustione di biomassa solida lignocellulosica.

B1 - Studio di fattibilità e prime prove sperimentali per la fabbricazione, sia a partire da polveri con la tecnica di estrusione/stampaggio sia a partire da tessuti in fibra di carbonio/carburo di silicio con la tecnica di densificazione PIP e/o CVI, di supporti ceramici a nido d'ape e tubolari per l'abbattimento degli inquinanti nei fumi di combustione della biomassa.

Progetto 2.1.4

“Ricerche su celle fotovoltaiche innovative”

Obiettivo D – “Sviluppo di materiali e celle a film sottili policristallini a base di Cu ed elementi II-IV-VI”

Accordo di collaborazione con ENEA per :

“ Caratterizzazione chimico-fisica e microstrutturale di celle fotovoltaiche basate su semiconduttori Cu₂-II-IV-VI₄”

Collaborazione con Laboratorio TER/ENE-FORI di ENEA -Casaccia

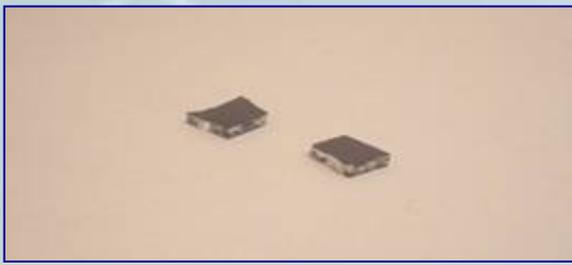
FN ha svolto analisi SEM-EDS su campioni, prodotti da ENEA ed inviati ad FN, al fine di controllarne la composizione e la stechiometria.

Le analisi sono state effettuate lungo la sezione di varie tipologie di campione:

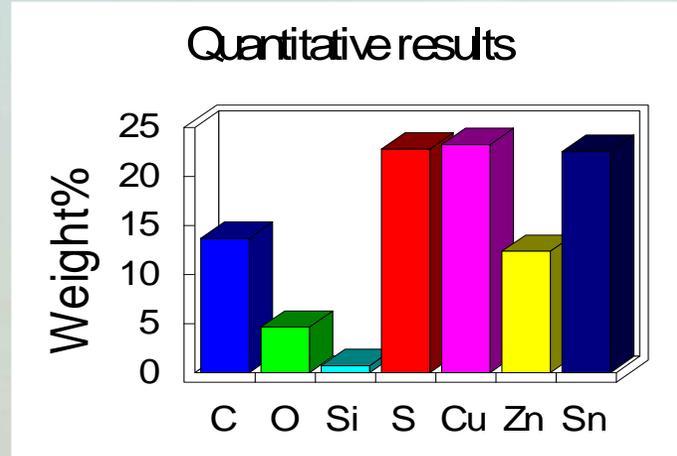
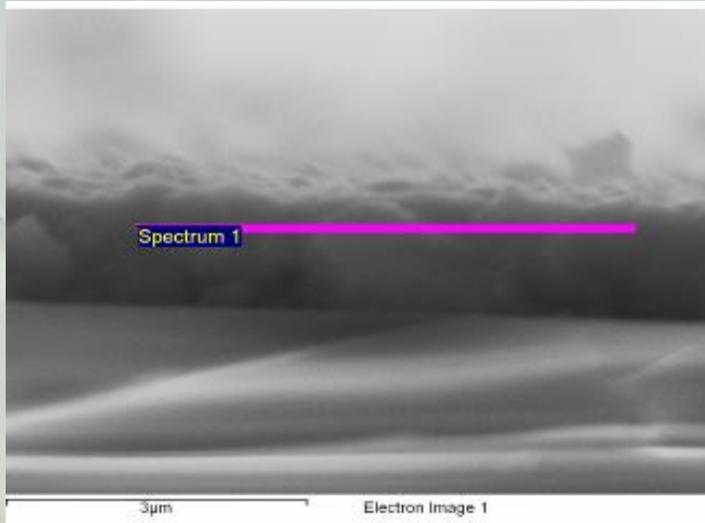
- Vetrini di supporto**
- Precursori**
- Kesteriti**
- Celle solari**

descrivendo la composizione chimica rilevata ed eventuali scostamenti dalla stechiometria stessa, con particolare attenzione al film kesteritico.





TIPOLOGIA DI CAMPIONI Denominati CZTS - $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$



Element	Weight%	Atomic%
C K	13.71	39.19
O K	4.63	9.95
Si K	0.71	0.87
S K	22.79	24.41
Cu K	23.25	12.56
Zn K	12.36	6.49
Sn L	22.55	6.53
Totals	100.00	

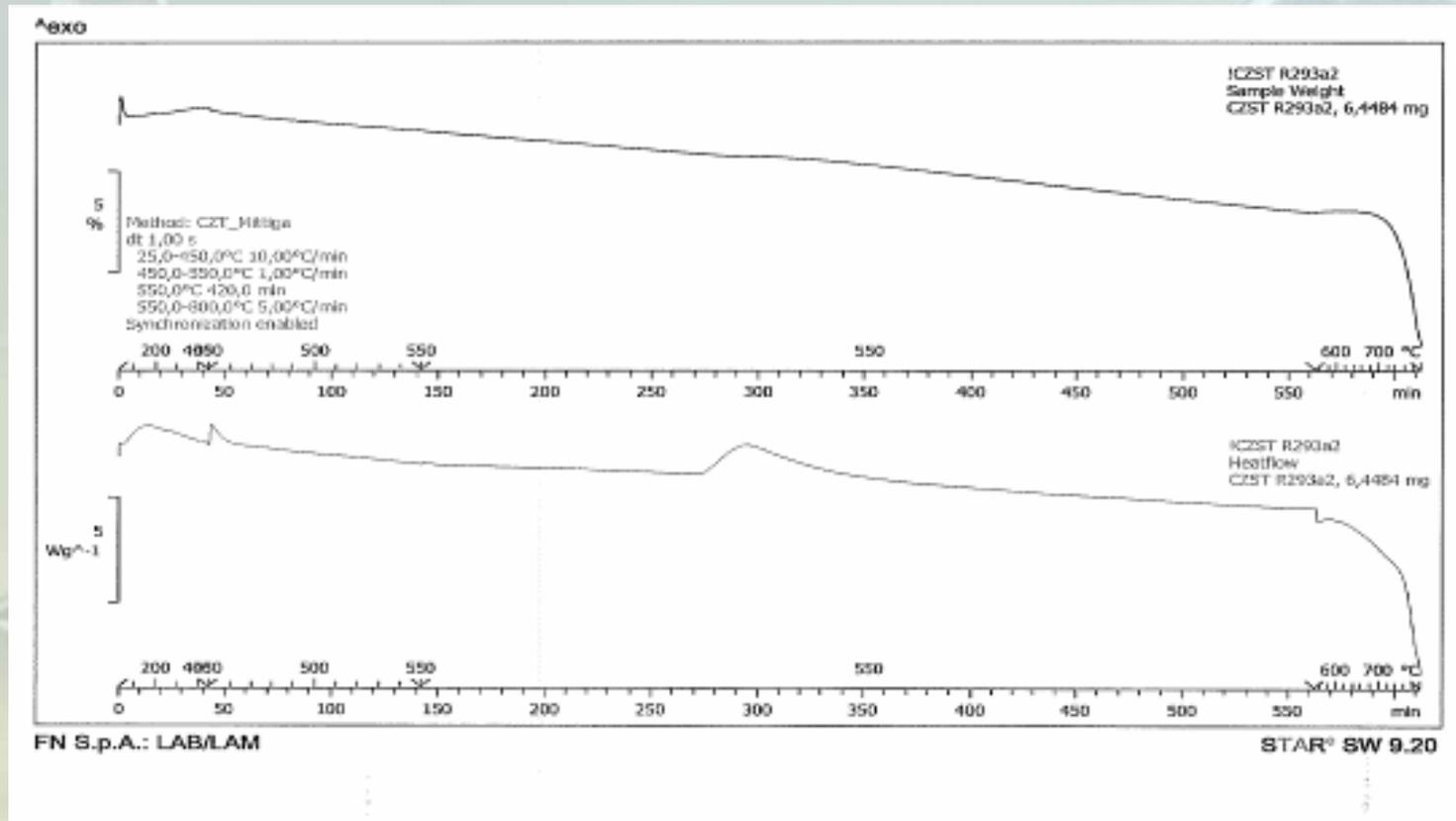
Le % atomiche rilevate di Cu \approx 12.5%; Zn \approx 6.5%; Sn \approx 6.5%; S \approx 24% rispettano la stechiometria del composto secondo la proporzione Cu: Zn: Sn: S=2:1:1:4

I film semiconduttori vengono realizzati in ENEA a partire da precursori contenenti gli elementi nelle corrette proporzioni e sono ottenuti depositando sequenzialmente per evaporazione ZnS, Sn e Cu. Il film precursore viene poi sottoposto ad un annealing con impiego di polvere di zolfo per ottenere la cristallizzazione del $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$.



“Caratterizzazione chimica, fisica e microstrutturale di film sottili per celle fotovoltaiche a base di semiconduttori Cu₂-II-IV-VI₄”

FN ha svolto misure TGA su campioni di CZTS per investigare eventuali perdite di materiale dal film kesteritico alle varie temperature



Dalle misure si è potuto osservare l'evaporazione di diversi composti in differenti momenti del processo termico a partire da 450°C circa. Intorno ai 550°C la perdita di massa è inferiore a 0.4%



Tematica di Ricerca: Energia Nucleare PAR 2010

Progetto 1.3.2.b

“Attività di fisica e tecnologia della fusione complementari ad ITER, denominate “Broader Approach”

Ob. C: Sviluppo e caratterizzazione di materiali compositi ceramici in matrice e fibra di carburo di silicio

Accordo di collaborazione con ENEA

Messa a punto del processo per la realizzazione di pannelli in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche ed in litio liquido.

Fornitura pannelli e provini per caratterizzazione fisico-meccanica a temperatura ambiente, prove di irraggiamento neutronico ed in litio liquido

Studio di fattibilità crogiolo in C/SiC per contenimento litio liquido



Pannelli in SiC_f/SiC

Studio e sviluppo di compositi a matrice ceramica a fibra lunga del tipo SiC_f/SiC: ottimizzazione della tecnologia di densificazione CVI, per ottenere le migliori caratteristiche, e realizzazione di pannelli da cui ricavare provini per caratterizzazione.

Specifiche richieste

- Densità minima: 2,5 g/cm³
- Resistenza a flessione ≥500 MPa
- Conducibilità termica ≥ 25 W/m^{°K}



Materiale: Tyranno SA (UBE)

Tessuto Plane Weave

Tecnologia: Chemical Vapour Infiltration (CVI)



Realizzazione pannelli in SiC_f/SiC



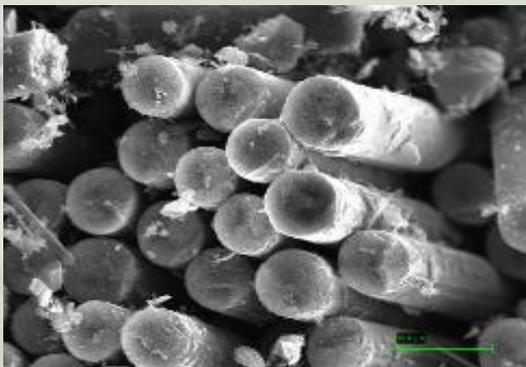
Impianto CVI in FN

Sono state realizzate le preforme: ciclo di cura della resina in autoclave e successiva pirolisi a 1200 °C per eliminare i residui.

Sono stati effettuati i cicli per la deposizione dell'interfase di carbonio (caratterizzazione al SEM)

Sono stati effettuati cicli di densificazione di SiC dei pannelli.

La tecnologia CVI permette di ottenere, grazie alla deposizione di una microstruttura controllata, compositi con le migliori caratteristiche ma con un notevole numero di cicli di densificazione.



Interfase di carbonio



Pannello in SiC-SiC



Crogiolo in C/SiC

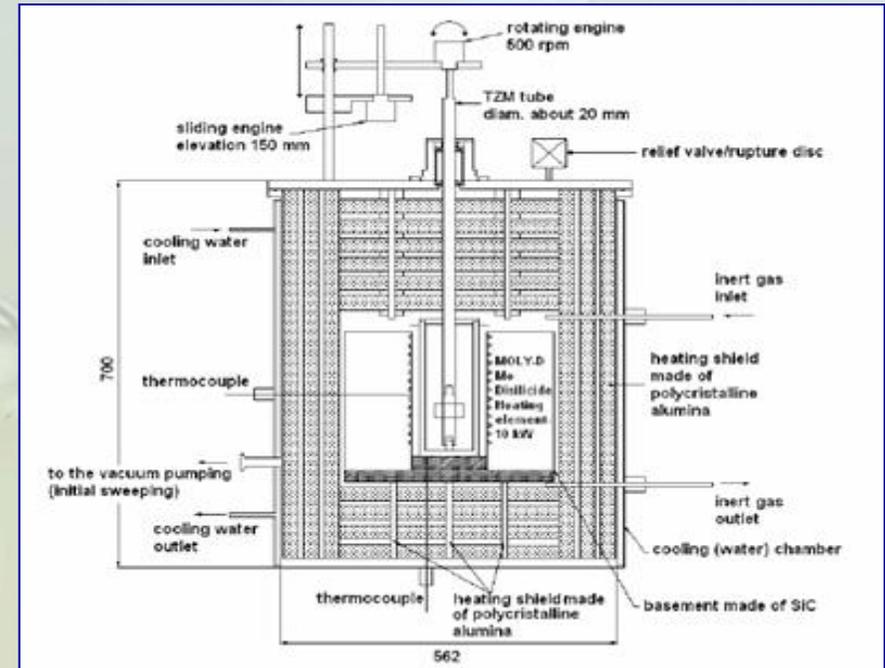
Studio di fattibilità per la realizzazione di un crogiolo, con coperchio, per il contenimento del litio fuso in un apparato per prove di caratterizzazione di erosione-corrosione.

Non sono richieste particolari specifiche meccaniche, ma completa tenuta

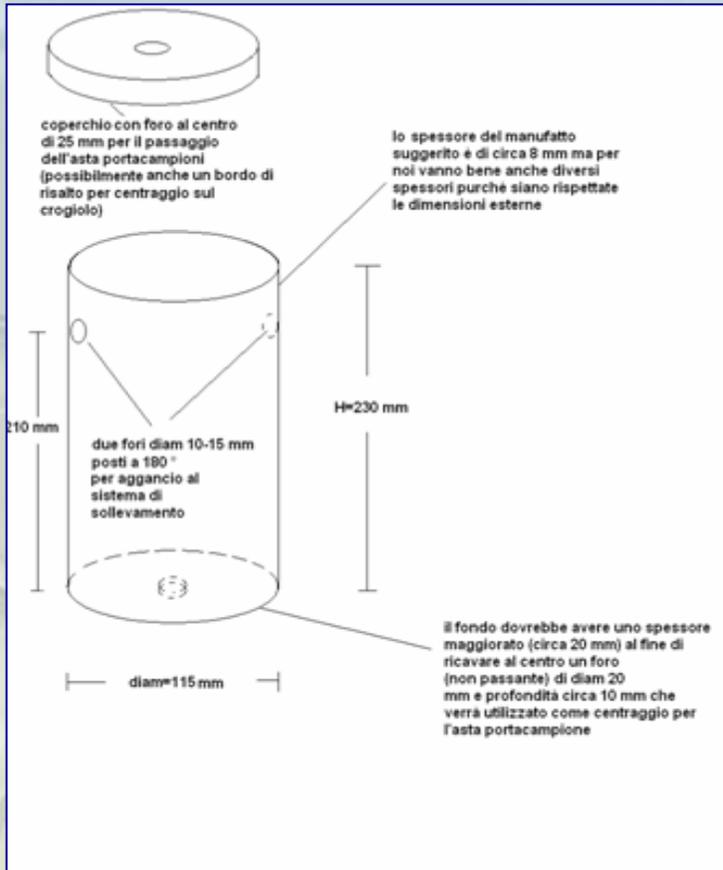
Materiale: fibre Carbonio (Hexcel)

Matrice: SiC

Tecnologia: Polymer Infiltration and Pyrolysis (PIP)



Crogiolo in C/SiC



Disegno fornito da ENEA

Studio e Progettazione

Realizzazione di due parti separate (tubo e fondo) e successivo assemblaggio

Prove sperimentali di fattibilità

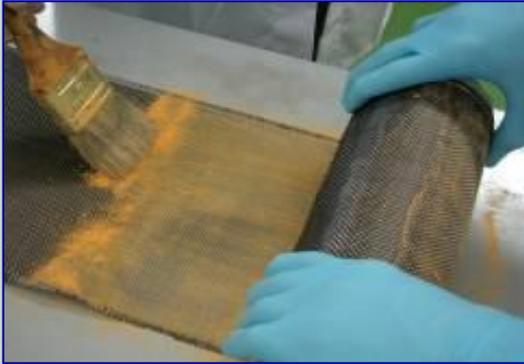
Densificazione del prototipo tramite tecnologia PIP



Impianto PIP in FN



Realizzazione Prototipo Crogiolo in C/SiC



Tubo



Assemblaggio

Fondo



“Messa a punto del processo per la realizzazione di pannelli in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche ed in litio liquido”.

Pannelli

Sono stati realizzati pannelli di spessore 3 mm densificati con tecnologia CVI.

È stata effettuata una caratterizzazione intermedia, chimica-fisica e meccanica, presso i laboratori di FN.

Sono stati inviati ad ENEA provini per caratterizzazione meccanica e diffusività termica.



Crogiolo

È stato progettato, realizzato e lavorato meccanicamente in FN un prototipo di crogiolo per il contenimento ed il riscaldamento del litio in prove di caratterizzazione di erosione/corrosione in litio fuso.

Il crogiolo è stato realizzato con fibre di carbonio e densificato tramite tecnologia Polymer Infiltration and Pyrolysis

**Progetto 1.3.2 “Fusione Nucleare: Attività di fisica della fusione
complementari ad ITER” PAR 2011**

**“Realizzazione di pannelli e campioni in SiCf/SiC per
caratterizzazioni fisico- meccaniche in temperatura, dopo
irraggiamento neutronico e ionico ed in litio liquido”**

**A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni
fisico-meccaniche**

**B – Realizzazione di infiltrazioni sugli yarns componenti il tessuto plane
weave per caratterizzazioni fisico-meccaniche .**



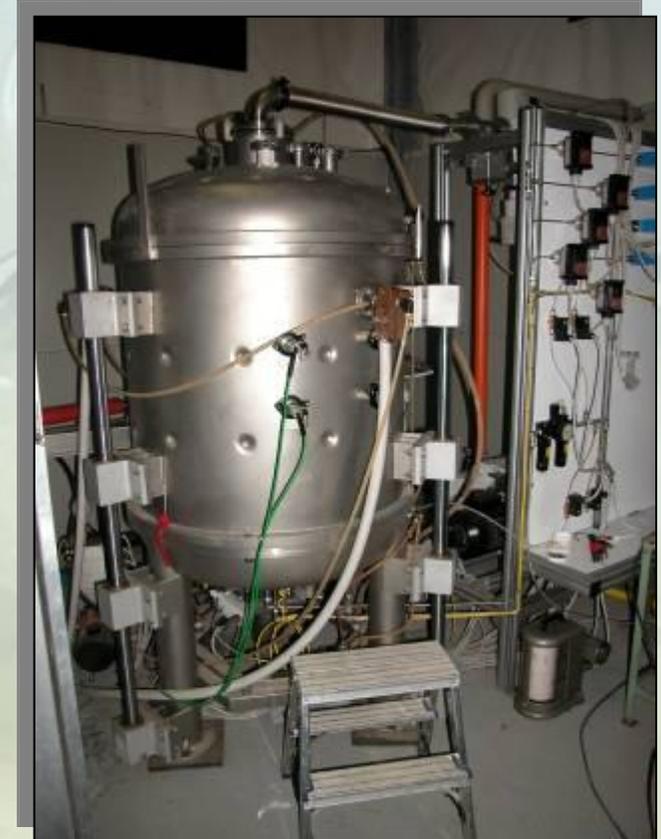
Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche - PAR 2011

Specifiche richieste

- Densità minima: 2,5 g/cm³
- Resistenza a flessione ≥ 500 MPa
- Conducibilità termica ≥ 25 W/m^{°K}

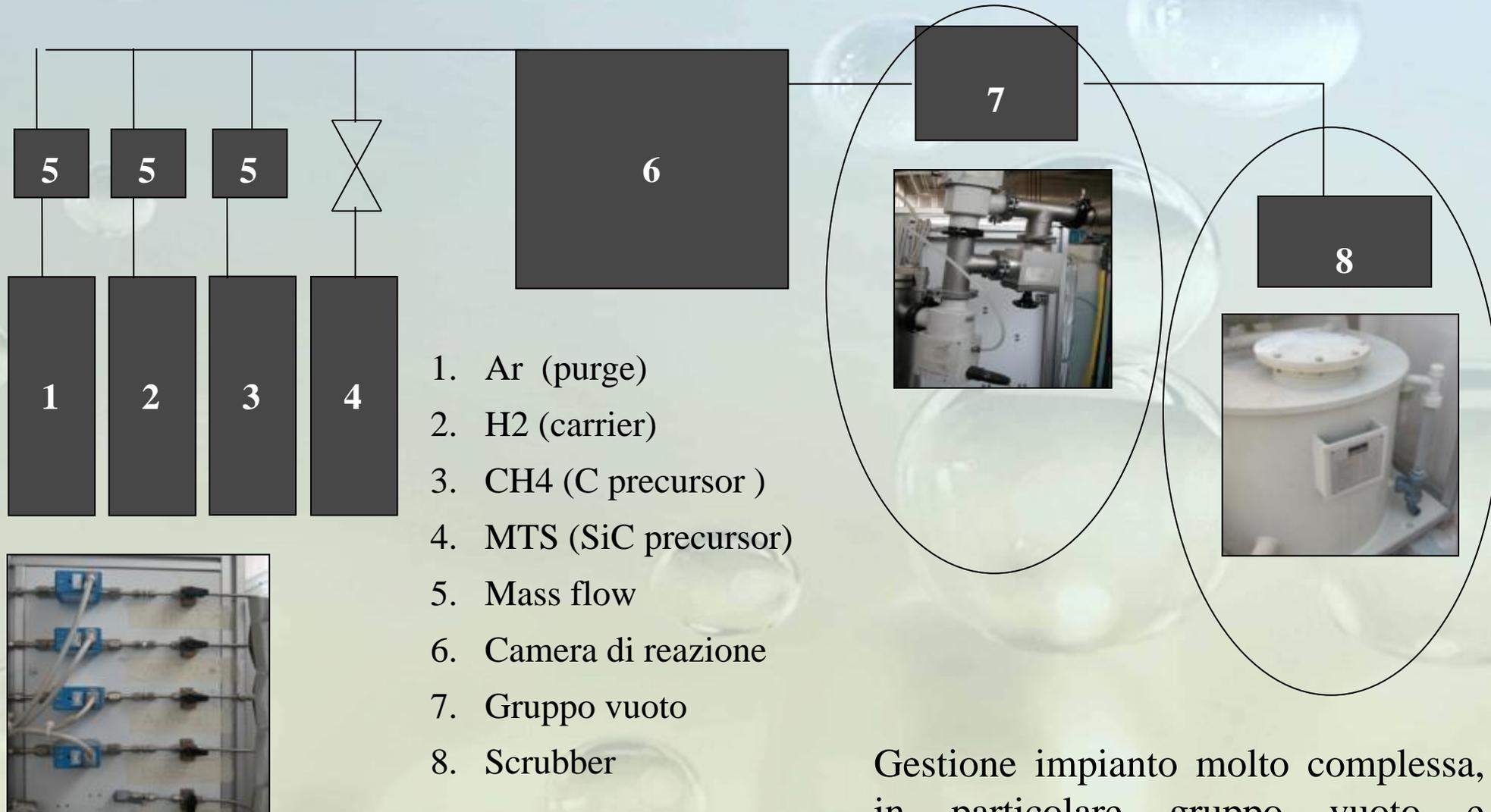


- Materiale: Tyranno SA (UBE)
 - Tessuto Plane Weave
- Tecnologia: Chemical Vapour Infiltration (CVI)



FN SpA CVI plant





Impianto CHEMICAL VAPOUR INFILTRATION (CVI)

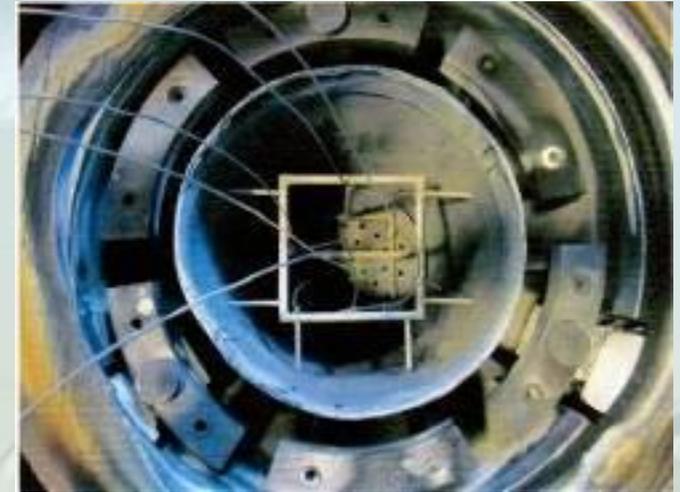
Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche PAR 2011

Al fine di valutare l'efficienza e l'omogeneità di temperatura, parametro fondamentale per i cicli di CVI, è stata effettuata sull'impianto una certificazione dal Laboratorio certificato LTTS s.r.l. secondo la normativa AMS 2750 D - Pirometry.

Sono state analizzate le temperature di processo per entrambi i cicli di infiltrazione SiC e C.

La differenza di temperatura in fase di riscaldamento tra le diverse zone è, ad entrambe le temperature di processo di $\pm 6^\circ\text{C}$;
la stabilità di ogni zona in 60 minuti è $\pm 1,5^\circ\text{C}$ per il ciclo di infiltrazione di SiC e $\pm 0,6^\circ\text{C}$ per il ciclo di infiltrazione di C.

Il forno CVI risulta quindi essere in classe 2 secondo quanto indicato dalla normativa AMS 2750D.



Particolare telaio acciaio con sensori temperatura

LTTS s.r.l.
Laboratorio di analisi strumentazione di misura
Genova - Via S. Andrea, 10 - 16121 Arezzo (AR) - Tel. 0575/444444 - Fax 0575/444444

RAPPORTO DI TARATURA		N° VV555577	04 mag 2012
APPARATO:	FORNO PER INFILTRAZIONE CVI	MODELLO:	CRD 21
MARCA:	TECHNICAL LABOR TECHNOLOGY	MARCA:	CR - CVI 21
USCITA:	Ø 200 mm e H Ø 600 mm (CERAMIC CHAMBER)	USCITA:	Ø 200 mm
ISTALLAZIONE:	PROGRIAMMATORI/REGOLAZIONE PIU'	USCITA:	TRAC
MARCA:	EPROTHERM	MARCA:	VIS. M. SUPERVISION
MODELLO:	TS	MODELLO:	TS 100 S
USCITA:	CR 21	USCITA:	16 marzo 2012
N° ORDINE:	1212	DATA:	16 marzo 2012

DESCRIZIONE DELLA PROVA

Le misure di precisione e stabilità sono state eseguite utilizzando il tipo specifico del Cliente (vedi pag. 2) e assicurando l'esatta calibrazione delle resistenze di ogni zona e il tempo completamente esaurito.
Il tempo di ciclo, considerando il tempo di riscaldamento e di raffreddamento, è stato scelto in modo da ottenere il massimo della temperatura per ogni zona rispettando i limiti di carico e di esercizio definiti in ogni caso.
I dati relativi alla stabilità e alla precisione sono riportati nei documenti allegati nelle tabelle di cui è formato il presente rapporto.
L'accuratezza della determinazione delle temperature di misura è riferita ad una condizione di copertura del 50% corrispondente ad un valore di copertura di 40.

VALUTAZIONE DEI RISULTATI

La verifica di precisione è stata fatta alle temperature di 500°C e 1200°C almeno 200. I risultati sono di classe 2 (secondo la norma AMS 2750D) e sono riferiti nella tabella di cui è formato il presente rapporto.
Per ottenere al meglio la temperatura richiesta per l'infusione del forno è necessario rispettare il periodo di riscaldamento in modo opportuno in funzione della temperatura di misura e riferita ad una condizione di copertura di 50%.
La stabilità è riferita in ogni zona, di 60 minuti a $\pm 1,5^\circ\text{C}$ a 500°C e a $\pm 0,6^\circ\text{C}$ a 1200°C.



Il Cliente: _____ Il Responsabile Tecnico: _____

LTTS s.r.l.
Via S. Andrea, 10 - 16121 Arezzo (AR) - Tel. 0575/444444 - Fax 0575/444444
E-mail: info@ltts.it



Progetto 1.3.2 B – Realizzazione di infiltrazioni sugli yarns componenti il tessuto plane weave per caratterizzazioni fisico-meccaniche . PAR 2011



Studio di fattibilità per la densificazione degli yarns per poter fornire all'ENEA i campioni necessari alla determinazione di parametri per una progettazione multiscala.

Sono stati prelevati gli yarn dal tessuto plain weave Tyranno SA.

FN ha realizzato nella propria officina interna un supporto di grafite per sostenere gli yarns nei cicli di infiltrazione tramite tecnologia CVI, mantenendoli “tesi” ma senza dare loro sollecitazioni meccaniche.



Progetto 1.3.2 B – Realizzazione di infiltrazioni sugli yarns componenti il tessuto plane weave per caratterizzazioni fisico-meccaniche . PAR 2011



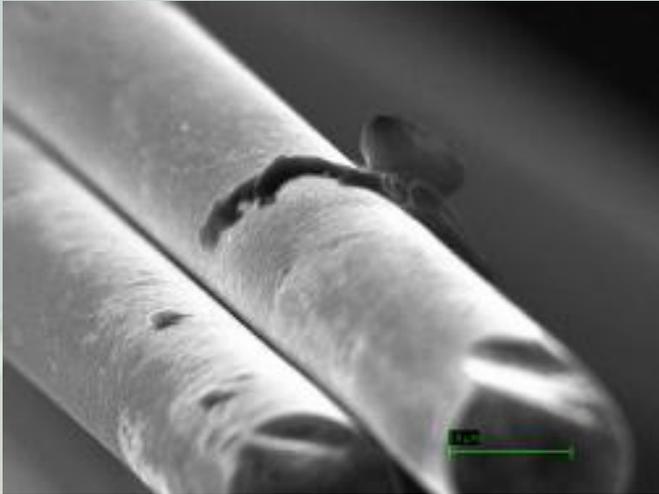
Gli yarns sono risultati troppo delicati con tendenza alla rottura con l'applicazione di una minima forza.

Inoltre il singolo yarn non rimane “unito” ma i filamenti che lo costituiscono tendono a separarsi e non si ha certezza che gli yarns contengano il numero originale di filamenti.

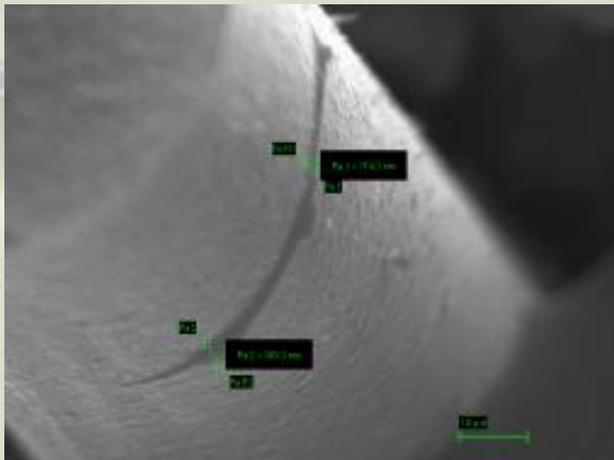
Sono stati effettuati cicli di infiltrazione di carbonio CVI per la creazione dell'interfase.



Progetto 1.3.2 B – Realizzazione di infiltrazioni sugli yarns componenti il tessuto plane weave per caratterizzazioni fisico-meccaniche . PAR 2011



Ingrandimento 10.000X



Su un campione è stata effettuata un'analisi al SEM dove si può notare un'avvenuta deposizione dell'interfase di Carbonio anche se non uniforme

È stato ripetuto un ulteriore ciclo di CVI e ripetuta l'analisi al SEM e non si sono riscontrate differenze sostanziali.

Non è possibile densificare yarns prelevati dal tessuto plain weave per le difficoltà riscontrate a causa della loro fragilità.

Nelle prossime annualità si valuterà la possibilità di acquisire dal fornitore del tessuto, direttamente i singoli yarn, eventualmente pretrattati, in modo da renderli maneggiabili.

Ingrandimento 30.000X



Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche PAR 2011

Sono state tagliate le tele e impregnate con resina fenolica in polvere.

Il ciclo di cura in autoclave è stato realizzato presso la società CBS compositi avanzati.

Al fine di valutare la performance di densificazione dell'impianto CVI si è deciso in accordo con ENEA di realizzare spessori dei pannelli differenti e maggiori di quelli realizzati nella precedente annualità dell'accordo di programma.

Sono stati realizzati:

- N°1 pannello 200x300 mm e spessore 3 mm
- N°2 pannelli 200x300 mm e spessore 4 mm
- N°1 pannello 200x300 mm e spessore 5 mm



Preforme pannelli



Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche PAR 2011

Le preforme dei tubi sono state realizzate interamente in FN come supporto per i campioni di SiC/SiC per le prove di erosione/corrosione in litio piombo fuso.

È stata utilizzata un'anima di allumina come supporto su cui arrotolare la tela.

Il pacchetto ottenuto è stato rivestito esternamente con un film retraibile per aumentare la compattezza della preforma

I tubi realizzati hanno le seguenti dimensioni:

- diametro interno = 6,3 mm
- diametro esterno = 12,7 mm
- lunghezza = 220 mm

Il ciclo di cura della resina è stato effettuato in FN nell'impianto ITEM.



Preforme tubi



Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche PAR 2011

Ciclo Interfase di carbonio

Precursore Metano



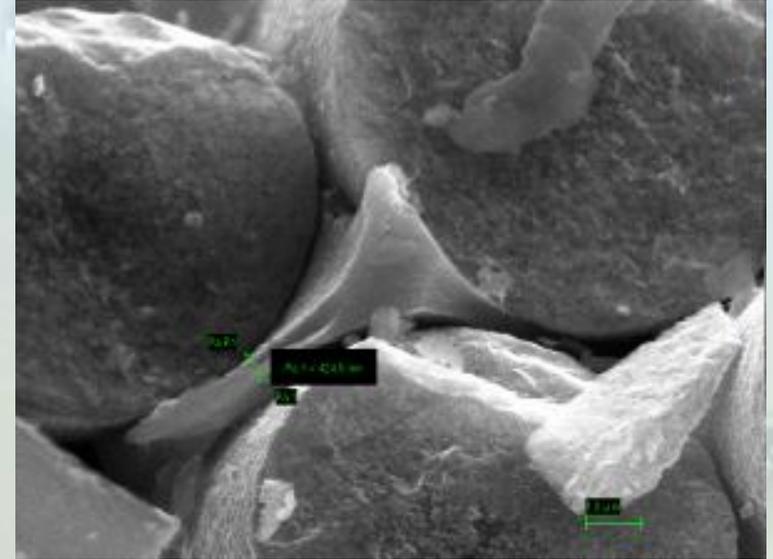
Parametri di processo

Temperatura : 1150 - 1300°C

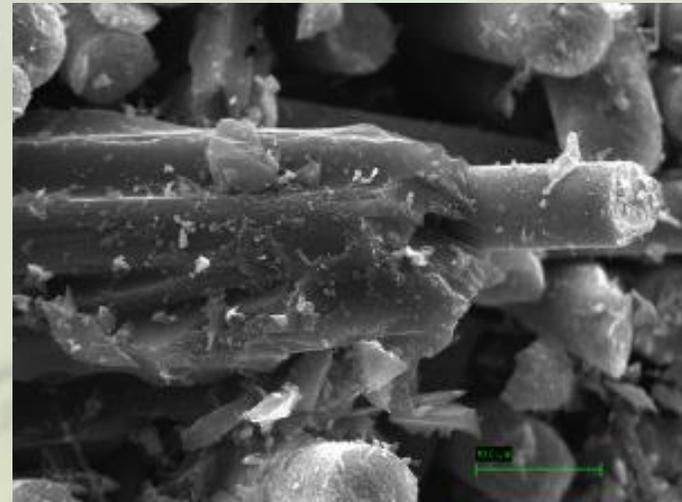
Pressione : 1 – 20 mbar

Il CVI è l'unico processo che permette di ottenere uno spessore omogeneo con qualità controllata.

Nelle immagini è riportata l'analisi al SEM su un campione prelevato da uno dei pannelli da 4 mm. Lo spessore dell'interfase è circa 0,3-0,4 μ



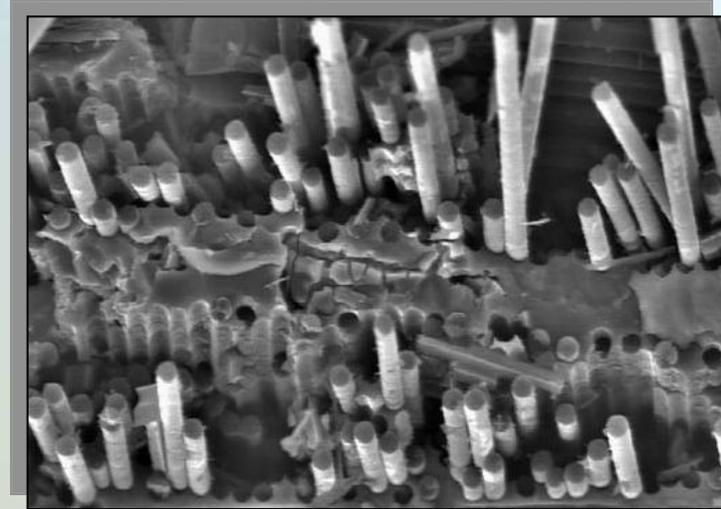
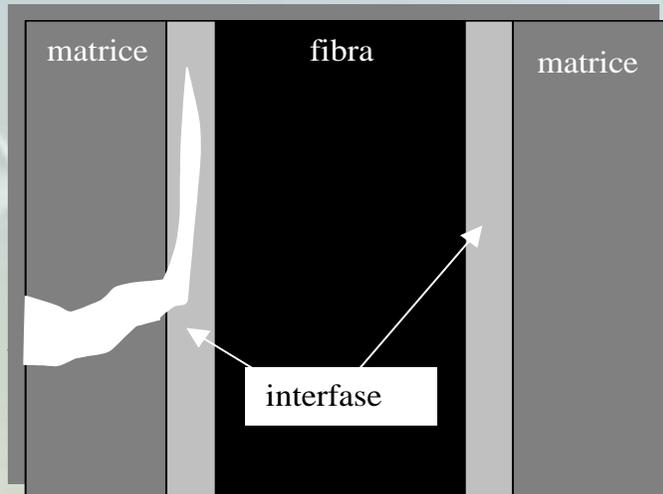
Ingrandimento 10.000X



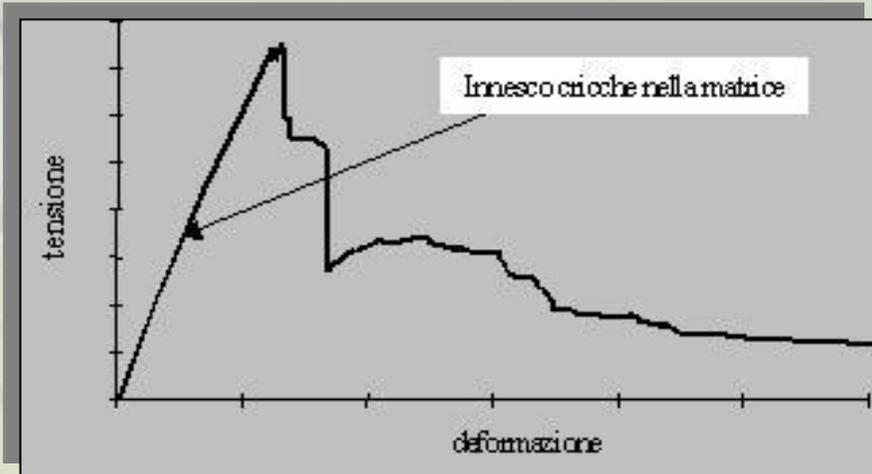
Ingrandimento 10.000X



Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche PAR 2011



Propagazione di una cricca nell'interfase e foto SEM di fibre dopo pull-out



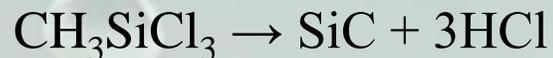
CMC' stress – strain curve during bending test

Fiber pullout
↓
Dissipazione di energia
↓
Comportamento meccanico pseudo-plastico



Progetto 1.3.2 A – Realizzazione di pannelli e tubi in SiCf/SiC per caratterizzazioni fisico-meccaniche PAR 2011

Infiltrazione di Carburo di Silicio



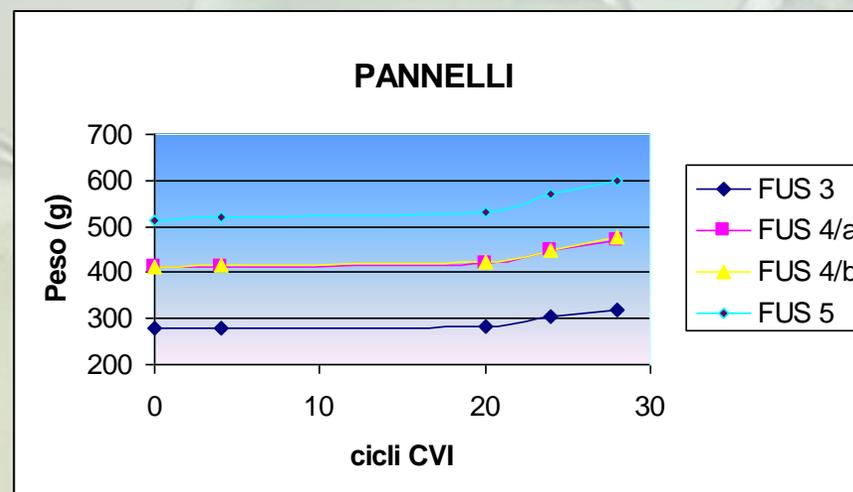
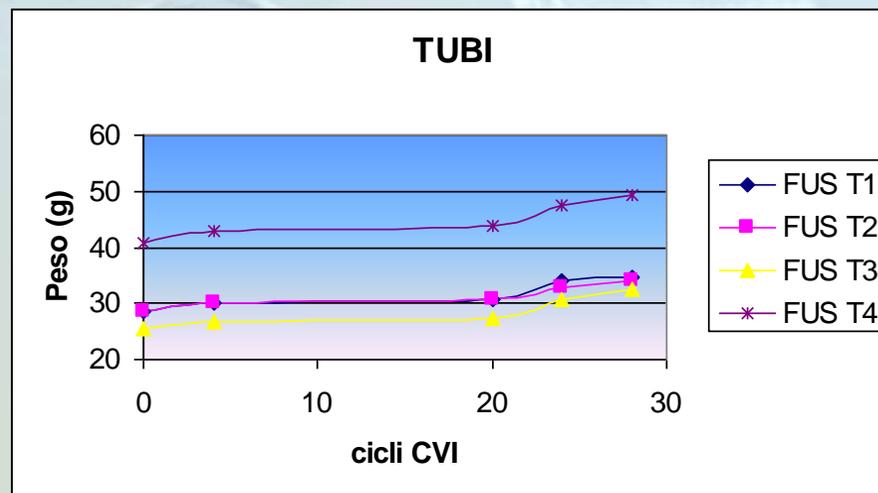
Parametri di processo

Temperatura : 900 – 1100°C

Pressione : 1 -20 mbar

Il CVI permette di ottenere una matrice omogenea e di qualità controllata.

È un processo molto lungo e dopo numerosi cicli di densificazione si può notare come la pendenza delle variazioni di peso, sia nel caso dei tubi che dei pannelli non abbiano ancora raggiunto una zona stazionaria, di variazione nulla.



Piano triennale sulla Ricerca di Sistema Elettrico 2012-14

Possibili attività prima annualità

Progetto 1.3.2 “Fusione Nucleare: Attività di fisica della fusione complementari ad ITER”

In continuità con quanto realizzato e messo a punto nelle precedenti annualità FN continuerà nella produzione di campioni SiC/SiC ottenuti tramite tecnologia CVI.

Inoltre da questi materiali saranno ricavati particolari meccanici da utilizzare su apparati funzionali, in particolare sul forno per le prove in litio piombo.

FN dovrà realizzare componenti in SiC/SiC plane weave, particolari in acciaio inossidabile e un tubo in carburo di silicio monolitico.

Studio di fattibilità di geometrie complesse e spessori elevati (fino a 10 mm):

- “Tubi pieni” di diametro inferiore ai 10 mm
- Profilati cavi a sezione quadrata

