SVILUPPO ED INGEGNERIZZAZIONE DI SOLUZIONI TECNOLOGICHE BASATE SU CERAMICI AVANZATI E COMPOSITI

Dr. Claudio Mingazzini, PhD
ENEA SSPT-PROMAS-TEMAF

A cosa i ceramici avanzati e compositi possono servire?

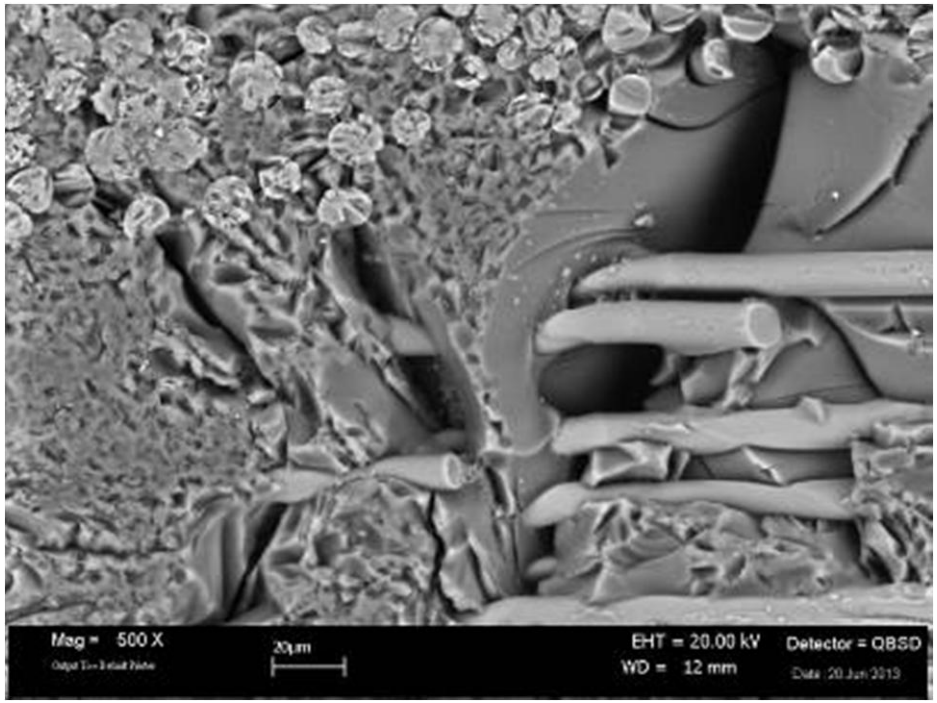
Le specificità dei materiali ceramici:

- consentono **aumentare performance e funzionalità**
- generalmente comportano **alti costi** di produzione

Come sfruttare le potenzialità dei ceramici avanzati?

Core business ENEA Faenza:

- lo sviluppo mirato di Materiali Ceramici Avanzati e Compositi
- lo studio di **processi produttivi** nella scala e nelle forme di interesse



Potenzialità e principali applicazioni dei ceramici

Ceramici avanzati e compositi: classificazione per uso

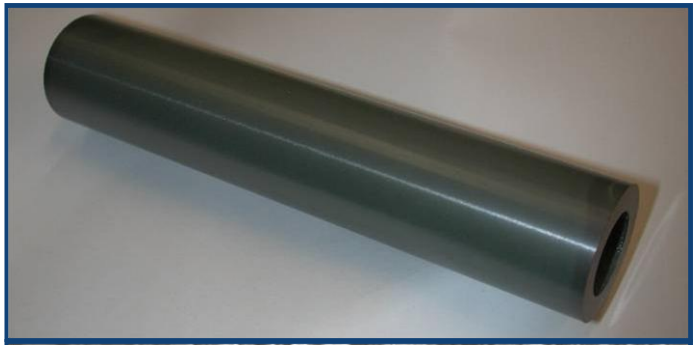
MATERIALI STRUTTURALI	Termo-Strutturali	Es: scambiatori di calore, refrattari, liner, paracolaore, pale di turbina, anime
	Strutturali + funzionali	Es: guide filo, cuscinetti, tenute, dischi freno, materiali per l'antibalistica e l'industria chimica
	Biomateriali	Es: Protesi ossee e dentali; slow release
MATERIALI FUNZIONALI	Film Sottili funzionali	Es: Coating antiriflesso UV-Vis-NIR, Coating IR-riflettenti, Coating fotocatalitici, idrofilici, oleofobici
	Coating protettivi	Es: Coating anticorrosione, antiossidazione, antigraffio, sacrificali
	Componenti per elettronica	Es: Isolatori elettrici, ferriti ecc
	Ceramici trasparenti	Es: laser di potenza, finestre ottiche speciali per aeronautica o alte T
	Device elettronici miniaturizzati	Es: display, OLED/OLET
	Fertilizzanti ed anticrittogamici	Es: fissaggio e slow release fertilizzanti, polveri ad alta area supericiale

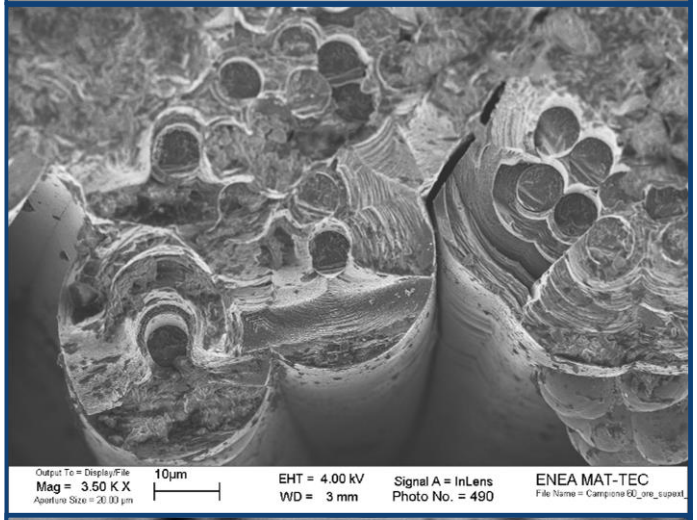
Tipologie e peculiarità dei ceramici avanzati

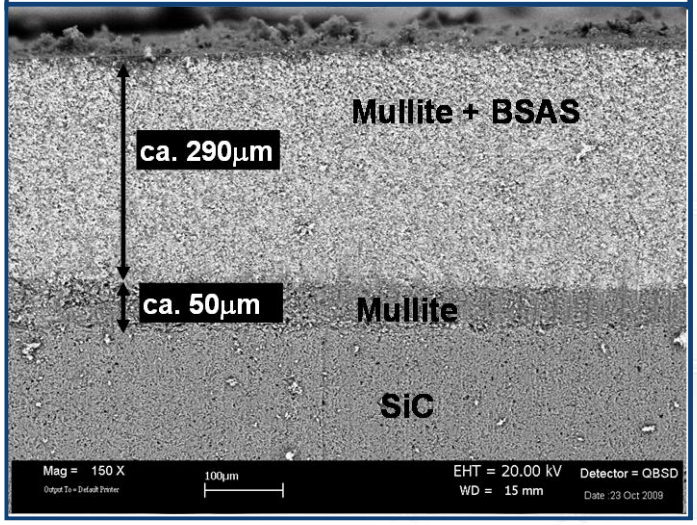
ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Ceramici: classificazione per natura chimica

MONOLITICI	OSSIDICI	ZrO_2, Al_2O_3, $3Al_5O_{12}$, (YAG), Mullite, ZTA, SiO_2, Y_2O_3, etc.
MONOLITICI	NON OSSIDICI	SiC, ZrC, SiC/AlN, AlN, Si_3N_4, $MoSi_2$, Mo_5Si_3
COMPOSITI	FIBRO RINFORZATI	C_f/C, SiC_f/SiC, $Basalt_f/SiCO$
RIVESTIMENTI	FILM SPESSI (1-800 µm)	Mullite, BSAS, Al_2O_3, SiC-$MoSiO_2$, SiC, C
RIVESTIMENTI	FILM SOTTILI (30-1000 nm)	SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, TCO (Transparent Conductive Oxide), SiC, C







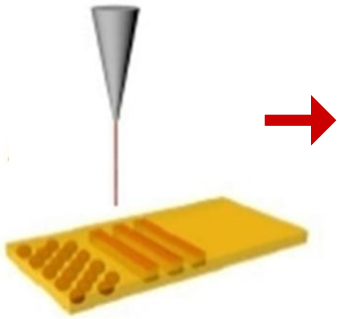
Materiali e applicazioni ibride e non convenzionali

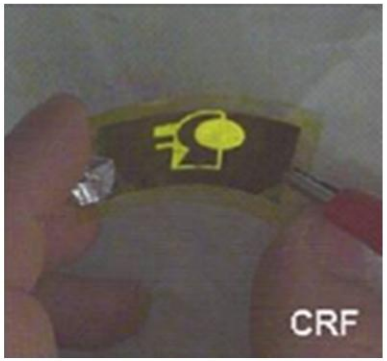
ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

MATERIALI IBRIDI ORGANICI-INORGANICI

COATINGS & FILM SOTTILI

FILM SPESSI (1-800 µm)	**ORMOCER, ORMOSIL, rivestimenti caricati**
FILM SOTTILI (30-1000 nm)	**Produzione di nanoparticalle per trattamenti laser; biosensori**

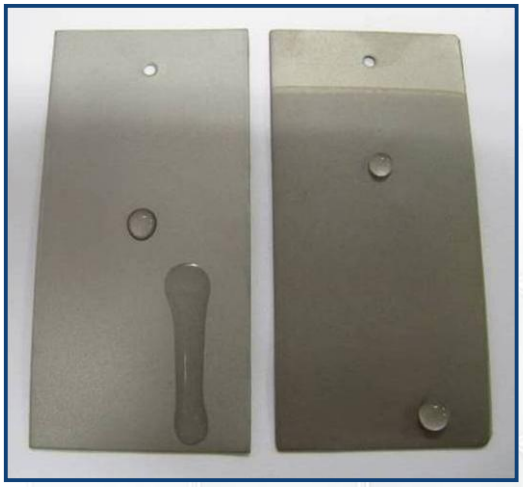




TECNOLOGIE CERAMICHE E MATERIALI BIOBASED

RICICLO E MATERIALI BIOBASED

PIROLISI DI RIFIUTI (per energia e materie prime seconde)	**Es: pirolisi di biomasse o pneumatici e compositi a fine vita; associabile anche a manifatturiero energivoro**
FERTILIZZANTI SPECIALI E RIUTILIZZO	**Es: da pollina: -fertilizzanti a rilascio lento di azoto; -materiali funzionali per la lavorazione della pelle**
BIO-REMEDIATION	**Tailored compost**



Acciaio non trattato Acciaio trattato

Preparazione ceramici avanzati monolitici

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Si usano polveri si sintesi, miscelate e additivate per la formatura

FORMATURA

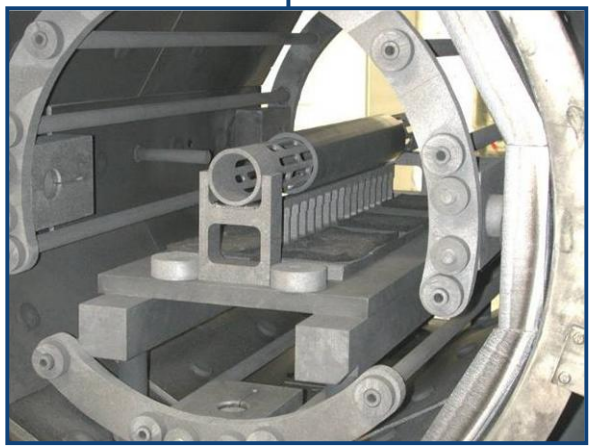
- Pressatura
- Slip casting
- Iniezione

LAVORAZIONE

- Prima o dopo sintering

SINTERIZZAZIONE

- Consolidamento termico
- Densificazione e ritiro
- Con o senza pressione



Preparazione ceramici compositi (fibrorinforzati)

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Si usano gas e polimeri per infiltrare le fibre di una matrice ceramica

PROCESSO CVI

PROCESSO PIP

LAMINAZIONE DI PREPREG PRECERAMICI

Preparazione di rivestimenti ceramici

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Si prediligono le tecniche che non richiedono grossi investimenti iniziali

- Sol-gel/slurry coating (dip, spin, spray)
- Chemical Vapour Deposition
- Pack cementation
- deposizione elettroforetica

Prototipazione rapida degli stampi

Tramite la tecnica della laminazione dei prepreg preceramici permette di produrre ceramici compositi ottimizzando costi e tempi

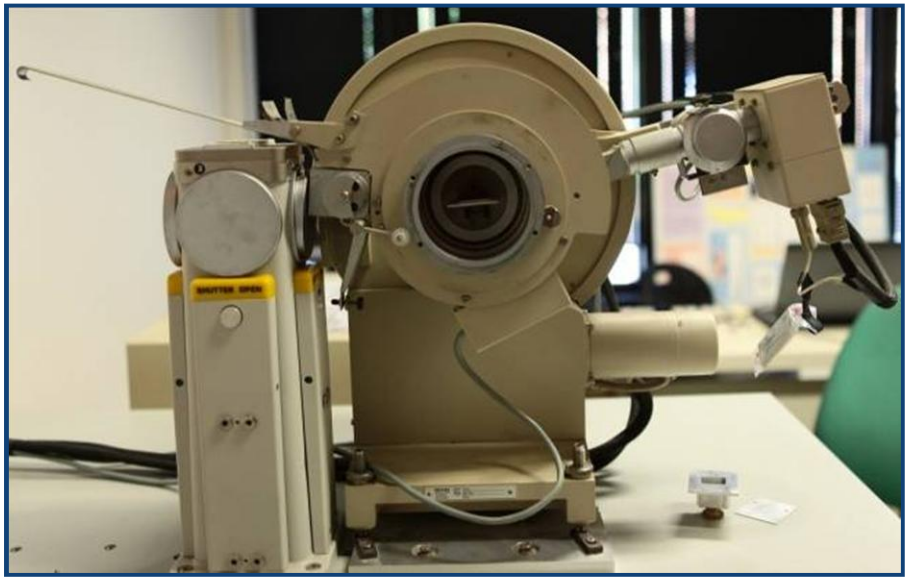
Laser sintering di poli-ammide: autoclavabile a 170-180°C, certificata per uso in sala operatoria, fino a 1 metro lineare

Caratterizzazione chimico-fisica e microstrutturale

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Fondamentale perchè permette di associare i parametri di processo alle caratteristiche microscopiche, che a loro volta daterminano quelle macroscopiche e funzionali

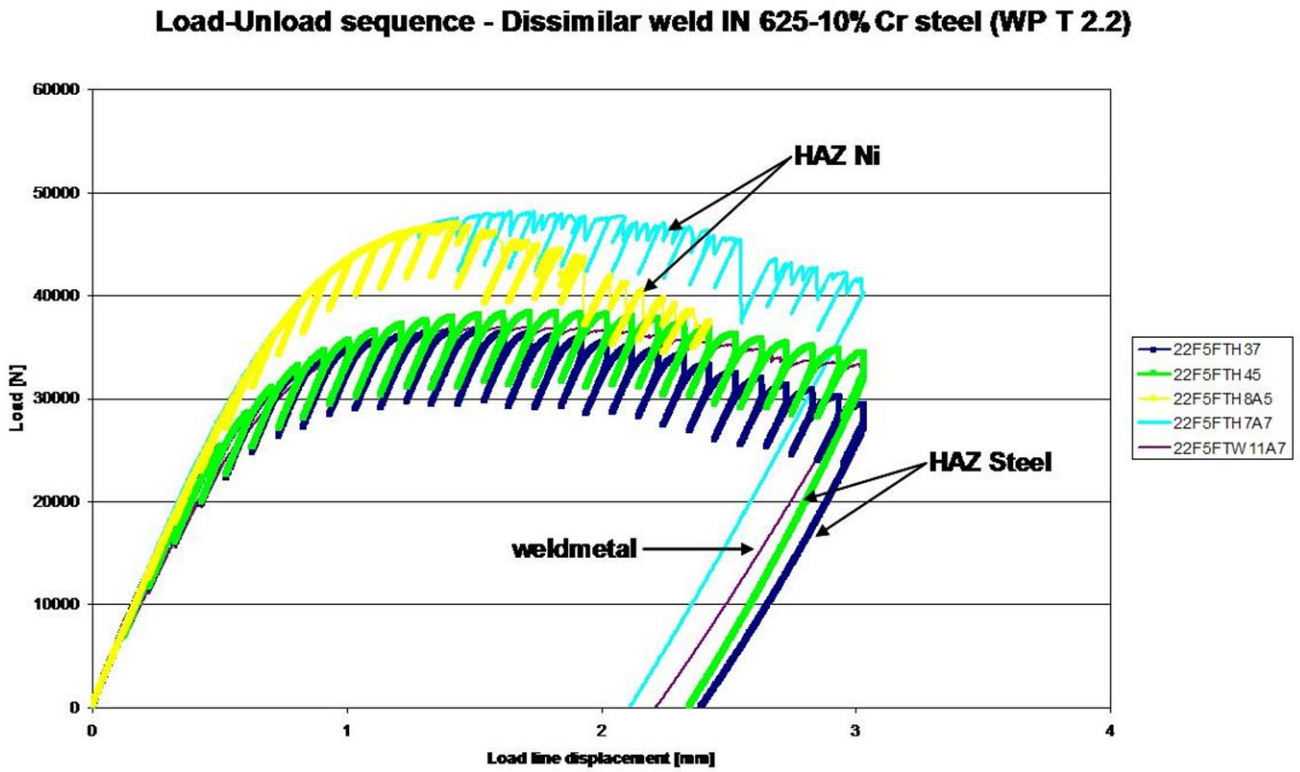
- XRD di polveri
- TG-DTA fino a 1650°C
- Microscopia ottica ed elettronica
- Spettrofotometro UV-Vis con sfera int.



Qualificazione meccanica e termomeccanica

Competenze

- Test termomeccanici ed elaborazione statistica dei risultati
- Prove in **condizioni simulanti l'esercizio** e sviluppo nuovi standard
- Analisi FEM (Finite Element Method)
- **Valutazioni affidabilistiche** sui componenti (reliability)

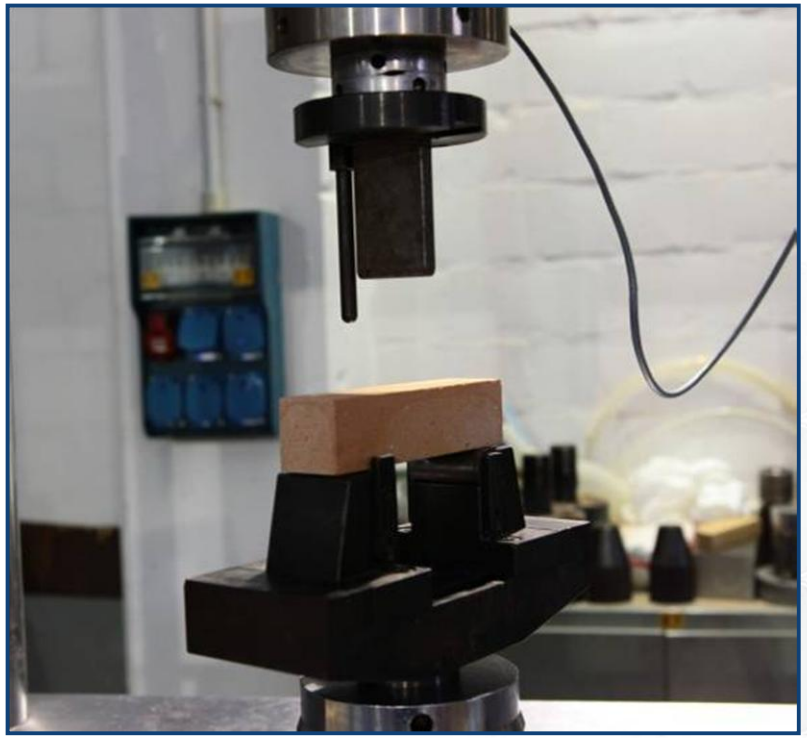


Qualificazione meccanica e termomeccanica

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Strumentazione

- Tre macchine per test statici e dinamici fino a 500 kN e 1500°C
- Dieci macchine per creep a trazione fino a 1000°C, tre per creep a flessione fino a 1500°C
- Test di pressurizzazione fino a 200 bar
- Test di fatica basati su flessione rotazionale
- Frequency analysis con metodo della risonanza
- Impact tests

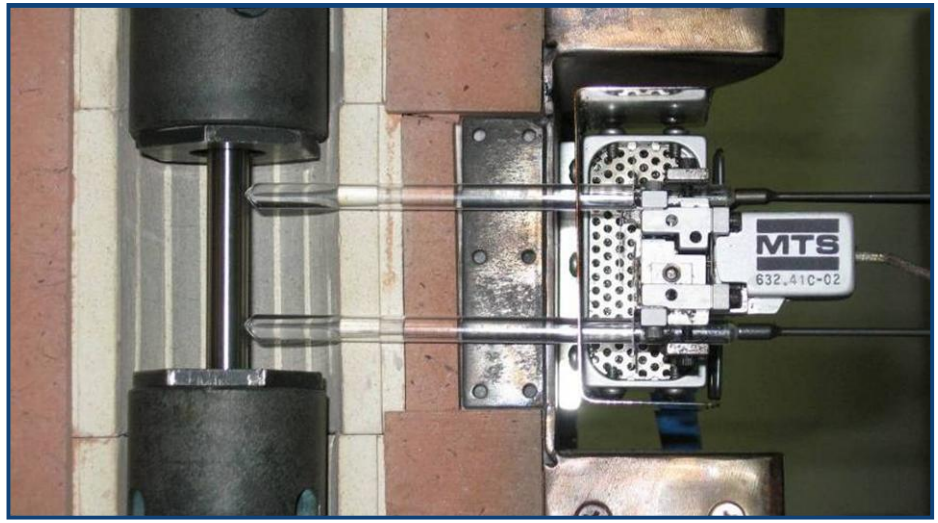


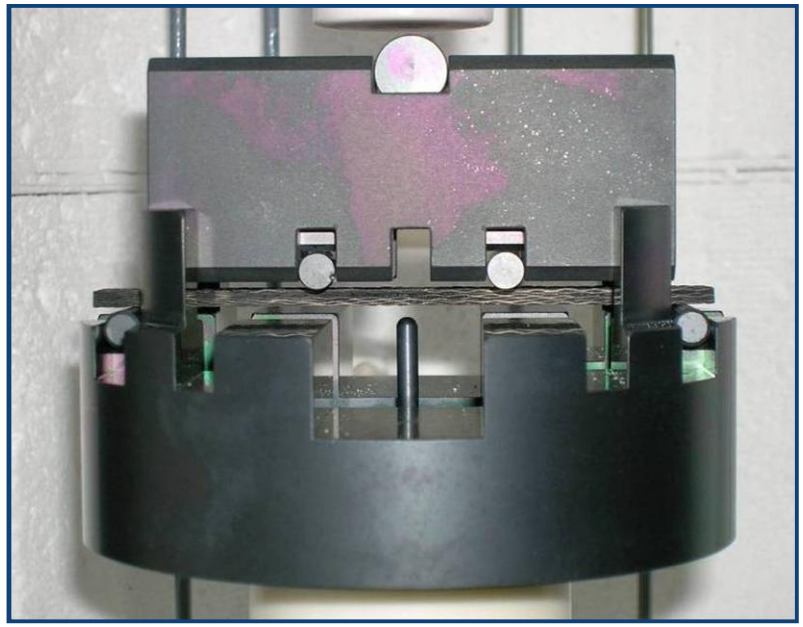
Qualificazione meccanica e termomeccanica

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Materiali

- Ceramici avanzati e refrattari
- Metalli
- Compositi polimerici (PMC)
- Compositi ceramici (CMC)
- Materiali da costruzione
- Polimeri termoplastici e termoindurenti
- Pannelli sandwich





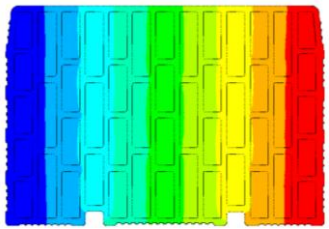
Qualificazione nel settore di edilizia e costruzioni

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Certimac
certificazione materiali per costruzioni

ENEA ISTEC

www.certimac.it



Opera prevalentemente sui materiali da costruzione finanziandosi attraverso certificazione industriale (es: marcatura CE e analisi termiche) e sviluppo nuove soluzioni

COMPETENZE E SETTORI DI INTERESSE

- Risparmio energetico negli edifici
- Nuovi materiali per l'involucro
- Soluzioni per il Social Housing
- Smart buildings
- Caratterizzazione meccanica, chimico-fisica, termofisica e test di invecchiamento accelerato sui materiali da costruzione

Compositi ceramici: vantaggi e difficoltà produttive

Materiali **"giovani"** ovvero dopo lo sviluppo delle **fibre ceramiche**

In sigle: **Continuous Fiber Ceramic Composites (CFCC)**

Ceramic Matrix Composites (CMC)

Tutti vantaggi dei ceramici SENZA difetto della **fragilità**

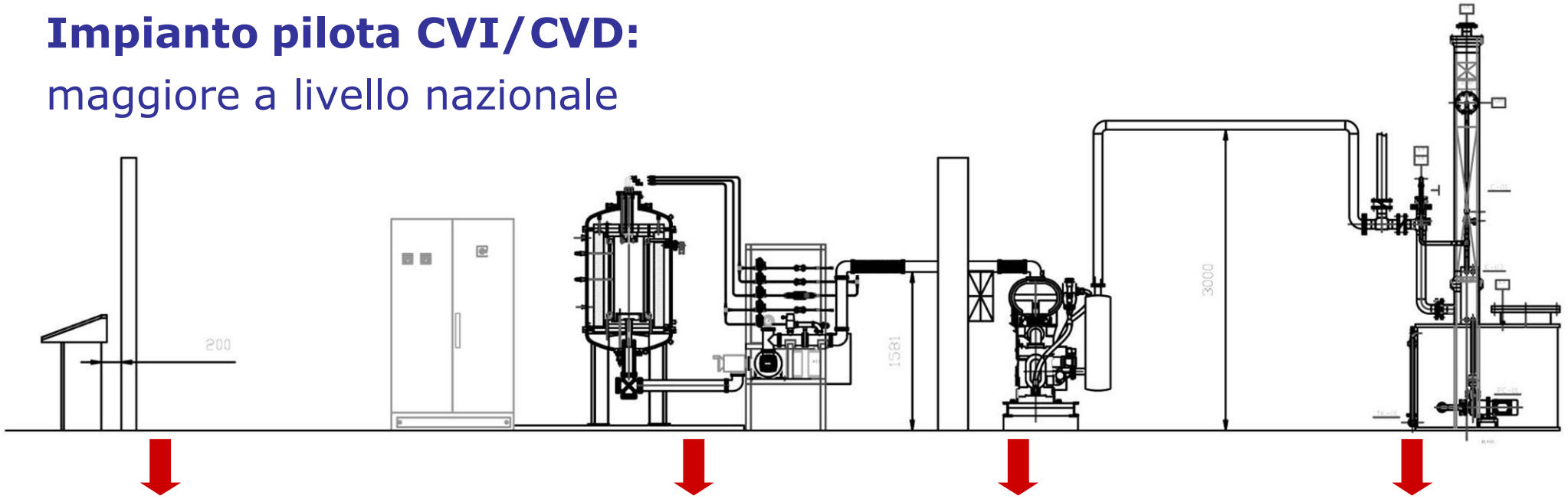
- **rottura pseudoplastica**
- **maggiore resistenza meccanica** (strength & toughness, resistenza a creep, agli shock ed ai gradienti termici)
- **maggiore affidabilità** (reliability)
- processi produttivi in **forma finita** (near net shape)

Compositi ceramici: Chemical Vapor Infiltration (CVI)

ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Impianto pilota CVI/CVD:

maggiore a livello nazionale



Control room | Fornace CVI | Pompe da vuoto | Scrubber

- **Forno di grafite (fino a 1600°C)**
- **Camera in Avesta**
- **Predisposto per la deposizione di SiC and Py-C (AlN nel 2017)**
- **Processo automatizzabile e scalabile ma con tempi lunghi**

Compositi ceramici: Chemical Vapor Infiltration (CVI)

- **T_{MAX} = 1600°C**
- Vuoto massimo: 0.1 mbar
- Volume utile:
  - **H = 700mm**
  - **Φ = 300mm**
- Internal liner (Sigratherm)
- Linee gas già operative: CH_4, H_2, Argon, Metil-triclorosilano: CH_3SiCl_3

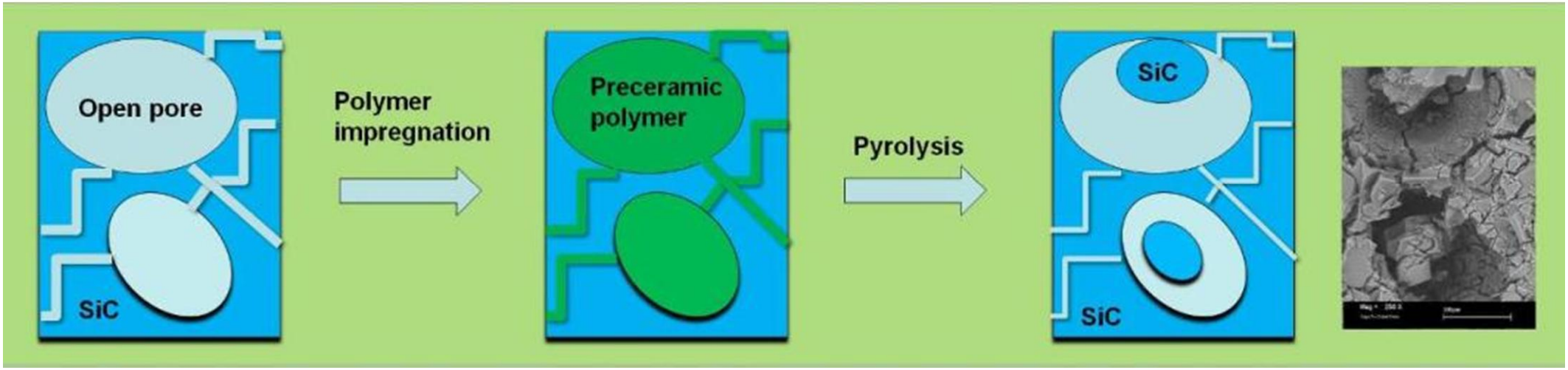
ALTI COSTI e quindi:

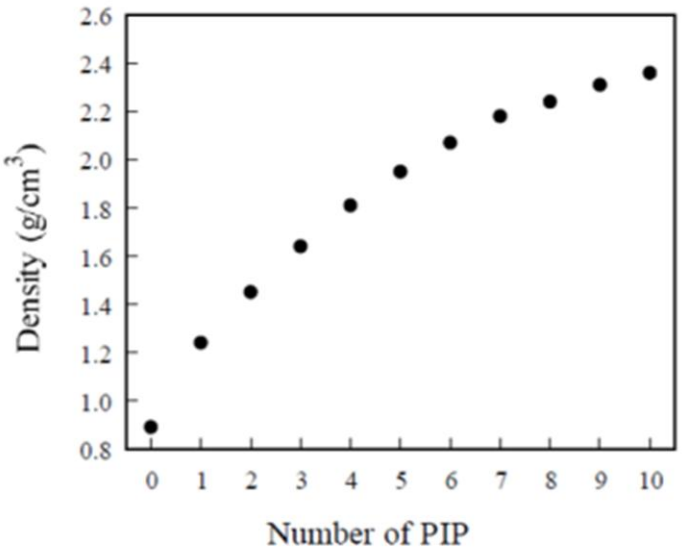
- applicazioni nucleari, aeronautiche, militari
- filtrazione
- coating, interfacce

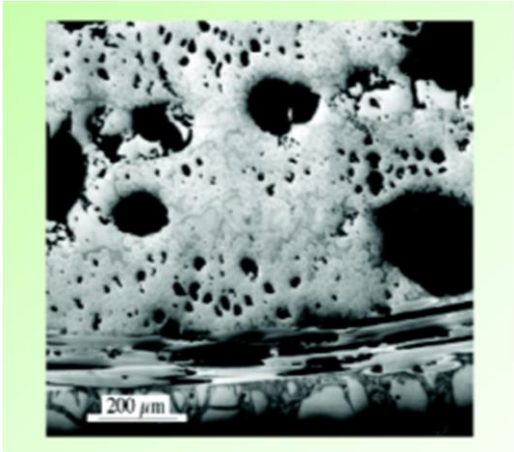
Compositi ceramici basalto rinforzati da pirolisi

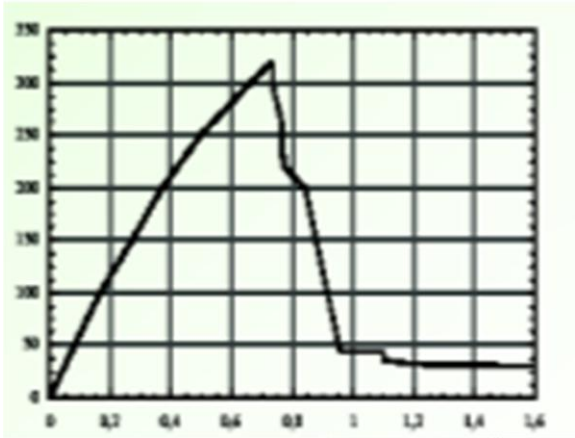
ENEA
ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

PROCESSO PIP (Impregnazione e Pirolisi di Polimeri preceramici)









IMPIANTO PILOTA DI PIROLISI

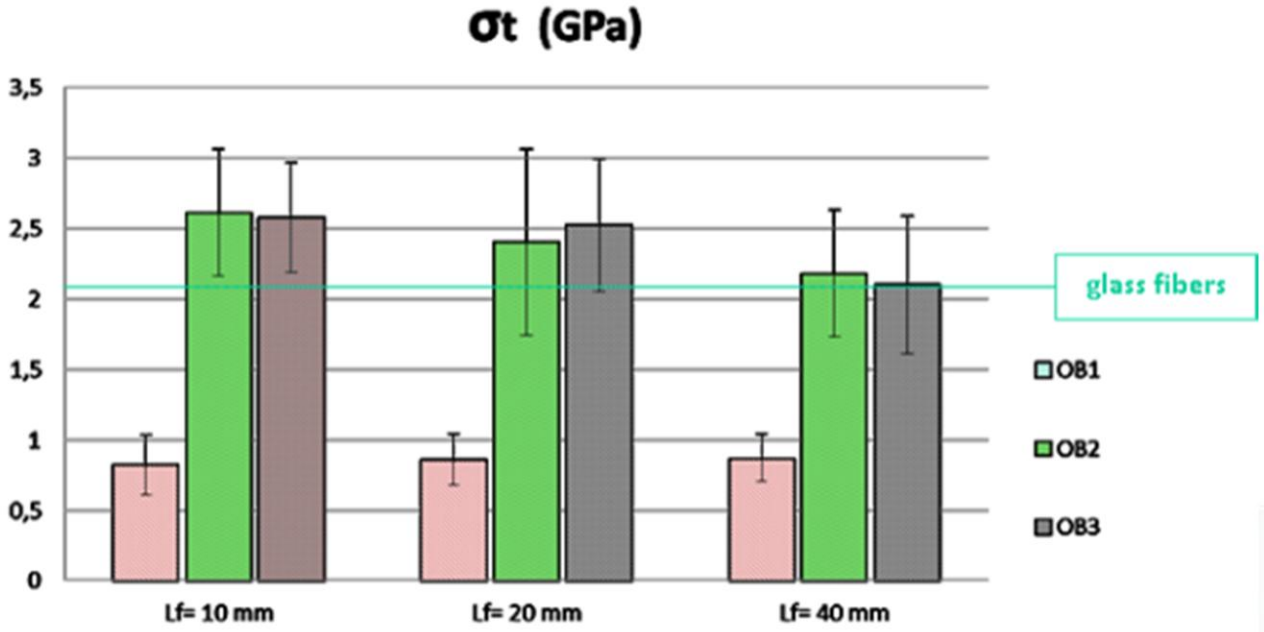
Opera in aria, vuoto e N_2 fino a 930-950˚C

Camera in AISI 310S
Φ = 40 cm; L = 75 cm

Compositi ceramici basalto rinforzati: perché il basalto?

Le fibre di basalto sono le fibre di più elevato interesse per applicazione termostrutturale fino a 600-800˚C perché:

- costo poco superiore al vetro, ma maggiore resistenza chimica e alla temperatura
- atossiche, non cancerogene (diam > 5 μm)
- materie prime inesauribili e riciclabili



Compositi ceramici da Prepreg Preceramici

Domande di brevetto: **RM2014000725** e **RM 2014000726** (16/12/14)

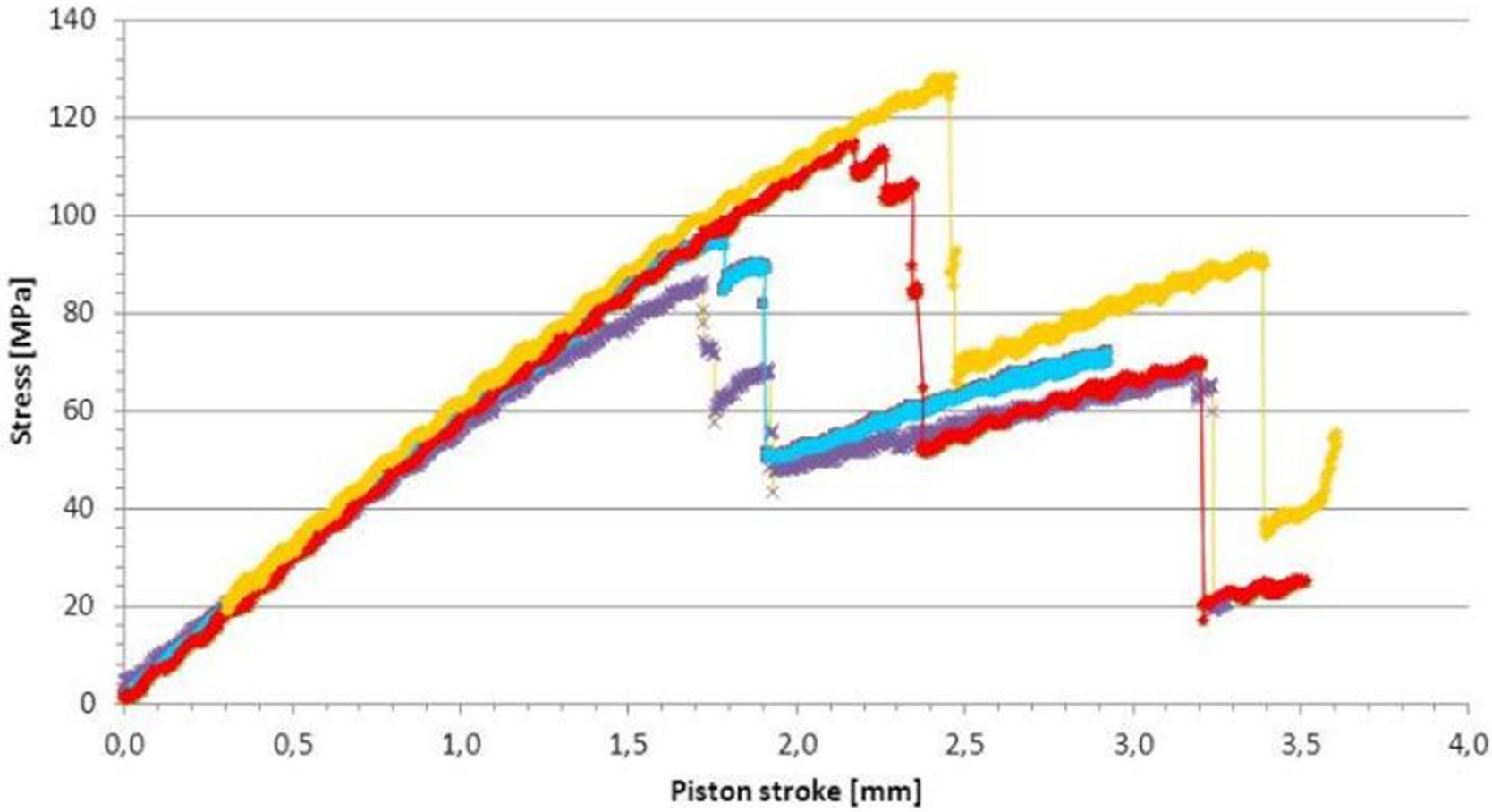
Vantaggi: si riducono tempi di produzione e consumo di polimero

Applicabile a sistemi low-cost (basalto) e non (C, SiC, ecc)

Dimostrata la possibilità di produrre in **Forma Finita**

BasKer: composito ceramico fibrorinforzato con basalto

Basalto / SiCOx da Prepreg preceramici
Resistenza meccanica a flessione a 400˚C



BasKer: composito ceramico fibrorinforzato con basalto

- Resistenza meccanica a **400˚C** intorno a **150 MPa** applicando formatura come per PMC + una pirolisi
- Capacità di isolamento termica: **0.35-0.40 W/mK** (modulabile fino a **0.035 W/mK** combinando feltri di basalto)
- Produzione in **Forma Finita**:
  - con stampi in acciaio, filament winding
  - laminazione di prepreg preceramici
- Possibili applicazioni del **BasKer**:
  - per componenti termostruttrali per l'automotive
  - multimateriali BasKer+PMC
  - per pannellatura antifuoco (navi/treni/costruzioni)
  - per inserti funzionali in leghe leggere

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!!

e-mail: claudio.mingazzini@enea.it
Tel. 0546 678570

ENEA-TEMAF
Via Ravegnana, 186
48018 - Faenza (RA)

http://www.enea.it/it/uttmatf