

# I ruolo della metallurgia nello sviluppo di polveri metalliche per sistemi di Additive manufacturing a letto di polvere -

*D. Pucci, O. Tassa (Centro Sviluppo Materiali)*

Torino, 10 Marzo 2016



**PROGETTIAMO ADDITIVO! ASPETTI DI PRODOTTO, PROCESSO E GESTIONE  
PER LE TECNOLOGIE ADDITIVE**

# L'approccio di sistema

Il governo dei sistemi di AM consente un reale vantaggio competitivo se vengono gestite:

- **l'intera filiera tecnologica** - dall'elaborazione delle leghe madri, alla fabbricazione di polveri fino alle lavorazioni e trattamenti finali
- le necessarie competenze riassumibili in una **metallurgia di processo/prodotto delle tecnologie additive**



## Il ruolo strategico dei materiali

# Aree di intervento sui materiali

Alloy design e fabbricazione polveri

Metallurgia di processo

Messa a punto di trattamenti post processo

Caratterizzazione meccanica-microstrutturale

# Alloy design

## Obiettivo

- Supportare la progettazione di composizioni innovative per AM, mediante un approccio modellistico che prevede l'utilizzo di codici di calcolo termodinamico e cinetico.
- L'obiettivo è quello di definire composizioni processabili per AM tali da assicurare caratteristiche meccaniche, di resistenza a corrosione/ossidazione e più in generale di garantire prestazioni ingegneristiche idonee all'impiego individuato

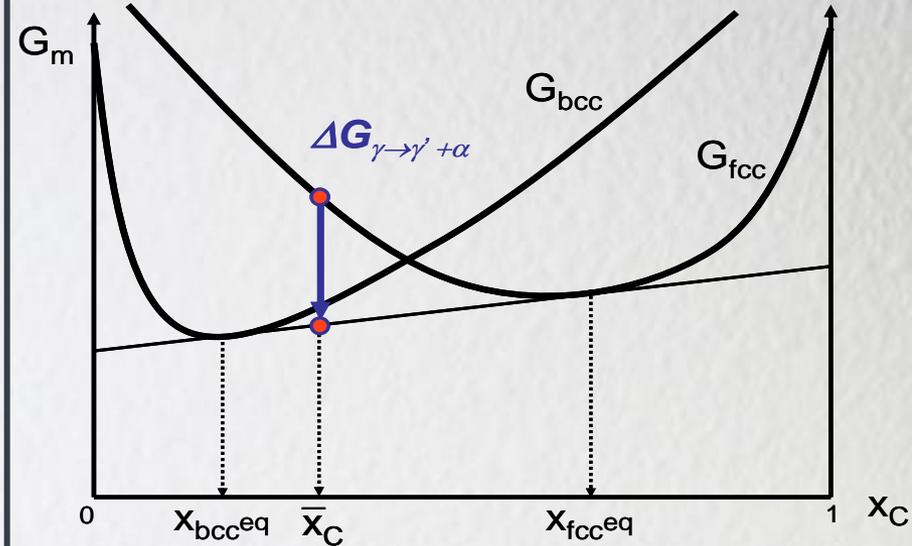
**Modelli termodinamici (Thermocalc) e cinetici (JMatPro, MatCalc) per ottimizzare la microstruttura e la distribuzione di fasi in relazione alle proprietà di impiego**

# Software termodinamici

- Calcolano la frazione delle fasi *all'equilibrio* e la loro composizione a partire da:
  - composizione chimica del sistema
  - temperatura e pressione
- Si basano sul metodo CALPHAD (descrizione delle fasi in termini di curve di energia libera e minimizzazione dell'energia libera totale del sistema con algoritmi di ottimizzazione);
- Richiedono un database specifico per ogni sistema (p.es. acciaio, leghe a base Ni, **leghe a base di Al**, etc.);
- L'accuratezza del database sono fondamentali per la qualità del risultato finale.

# Minimizzazione dell'energia libera

- L'algoritmo di minimizzazione dell'energia totale del sistema si basa sulla ricerca dell'iperpiano tangente ai paraboloidi di energia libera di tutte le fasi stabili.
- Questa condizione corrisponde a quella dell'equilibrio chimico in cui si realizza l'uguaglianza dei potenziali chimici dei vari componenti in tutte le fasi.
- I punti di tangenza rappresentano le composizioni di equilibrio delle diverse fasi.
- Nel caso di un sistema a 2 componenti il problema si riduce alla ricerca della tangente comune alle curve di energia libera.

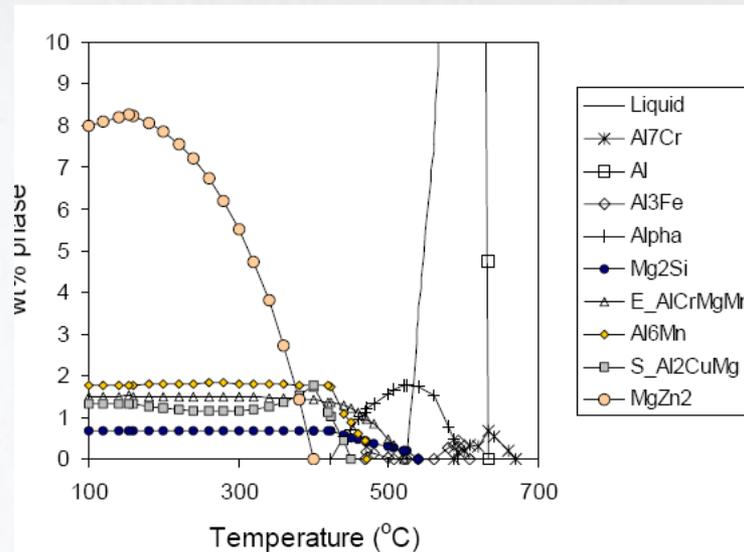


# Pacchetti individuati

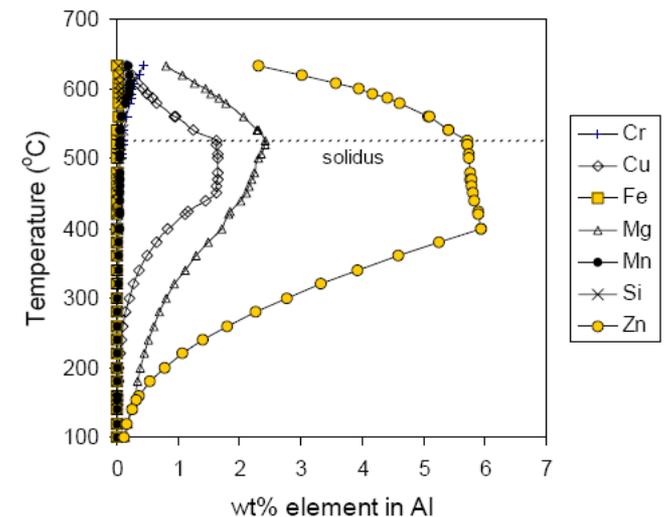
- Disponibili presso il CSM
  - ThermoCalc (Thermo-Calc software AB, Stockholm, SW)
  - JMat Pro (Sente Software ltd., UK): anche calcoli cinetici
  - MatCalc (TU Wien, A)
- JMat Pro: CCT, TTT, proprietà termofisiche, stima di proprietà meccaniche
- MatCalc (TU Wien, A): cinetiche di precipitazione/trasformazione di fase

# Alloy design

Modelli termodinamici (Thermocalc) e cinetici (JMatPro, MatCalc) per ottimizzare la microstruttura e la distribuzione di fasi in relazione alle proprietà di impiego



Frazione di fase (%) calcolata vs. temperatura per la lega AA7075



Solubilità in Al calcolata per gli elementi di lega nella lega AA7075

# Alloy design

Modelli termodinamici (Thermocalc, JmatPro) per ottimizzare la microstruttura e la distribuzione di fasi in relazione alle proprietà di impiego

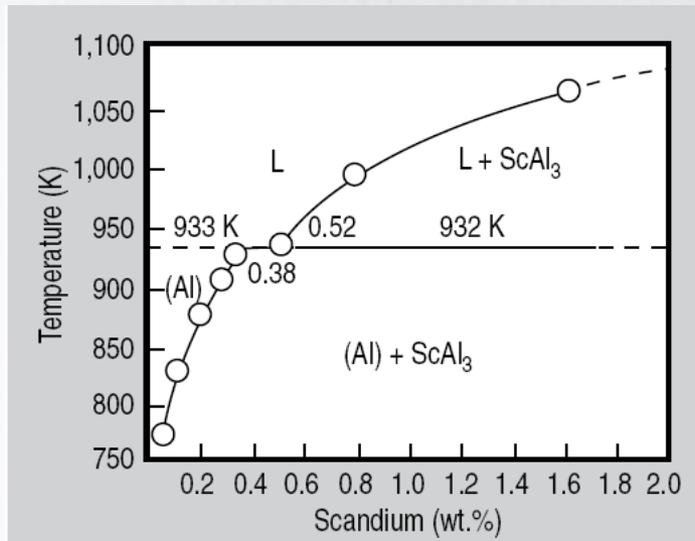
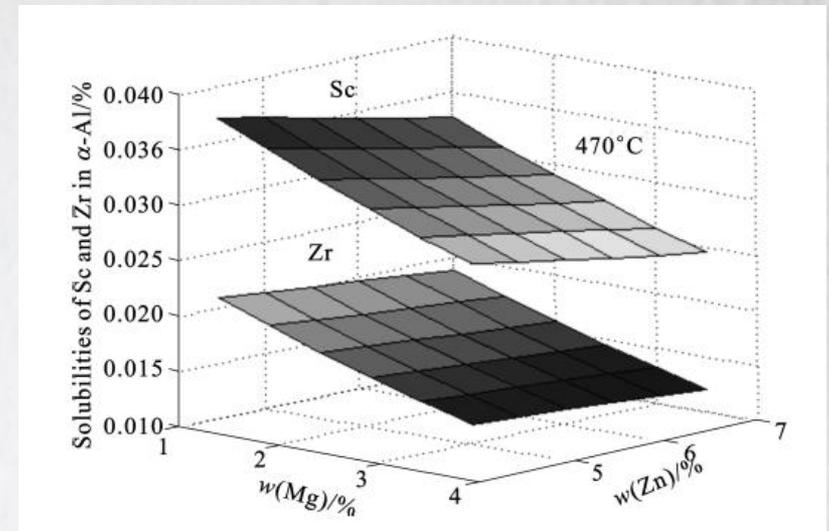


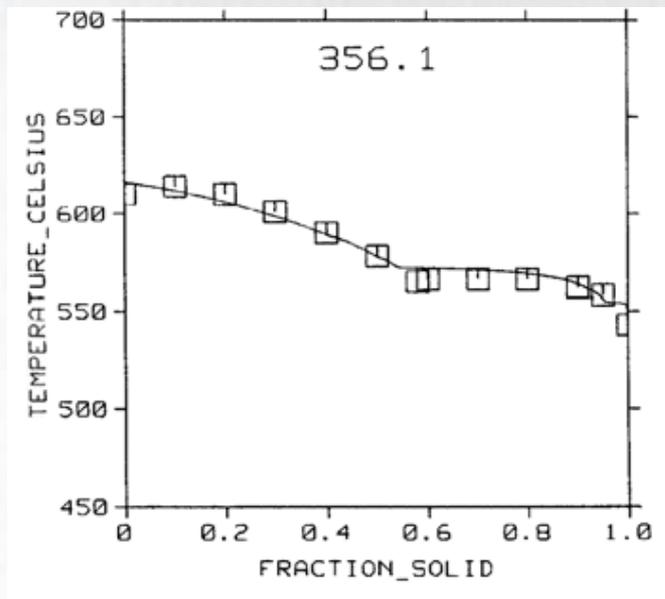
Diagramma di fase binario Al-Sc



Effetto degli elementi di lega (Mg, Zn), sulla solubilità di Sc e Zr in Al

# Alloy design

Modelli cinetici (JMatPro) per ottimizzare la microstruttura e la distribuzione di fasi in relazione alle proprietà di impiego



Solidificazione: frazione di solido calcolato per la lega A356

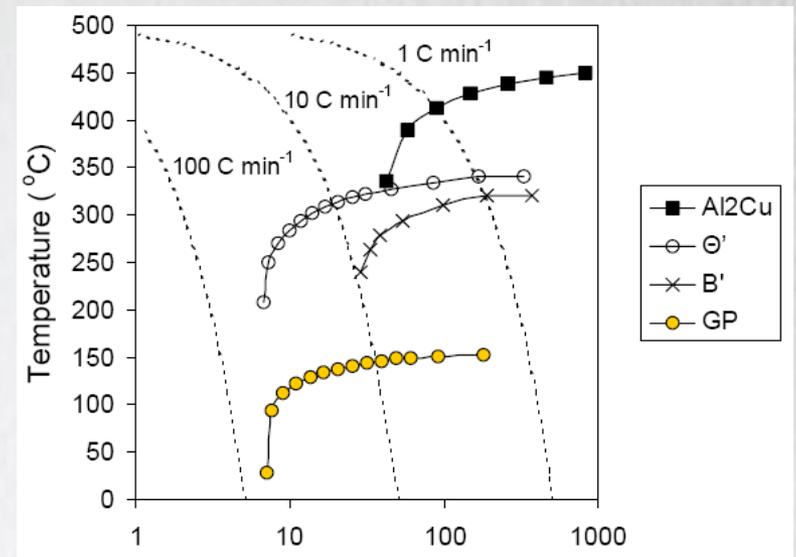
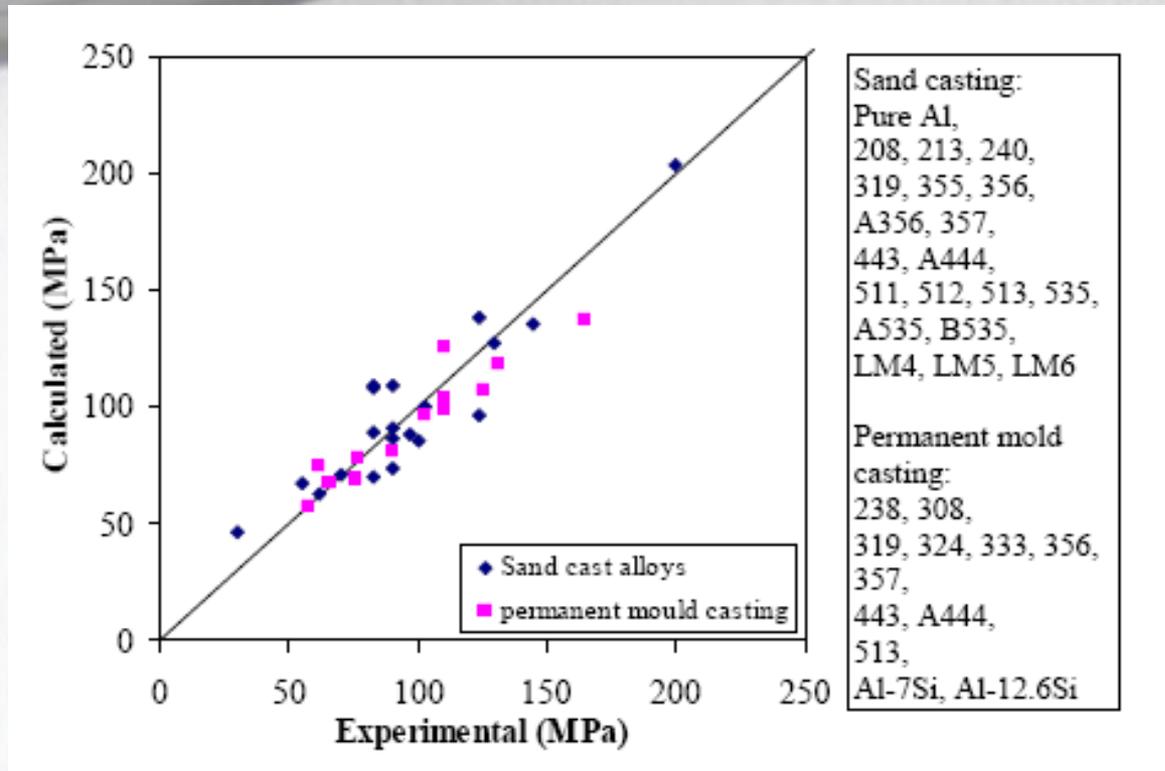


Diagramma TTT calcolato per la lega A319

# Alloy design

Modelli cinetici (JMatPro) per ottimizzare le proprietà di impiego



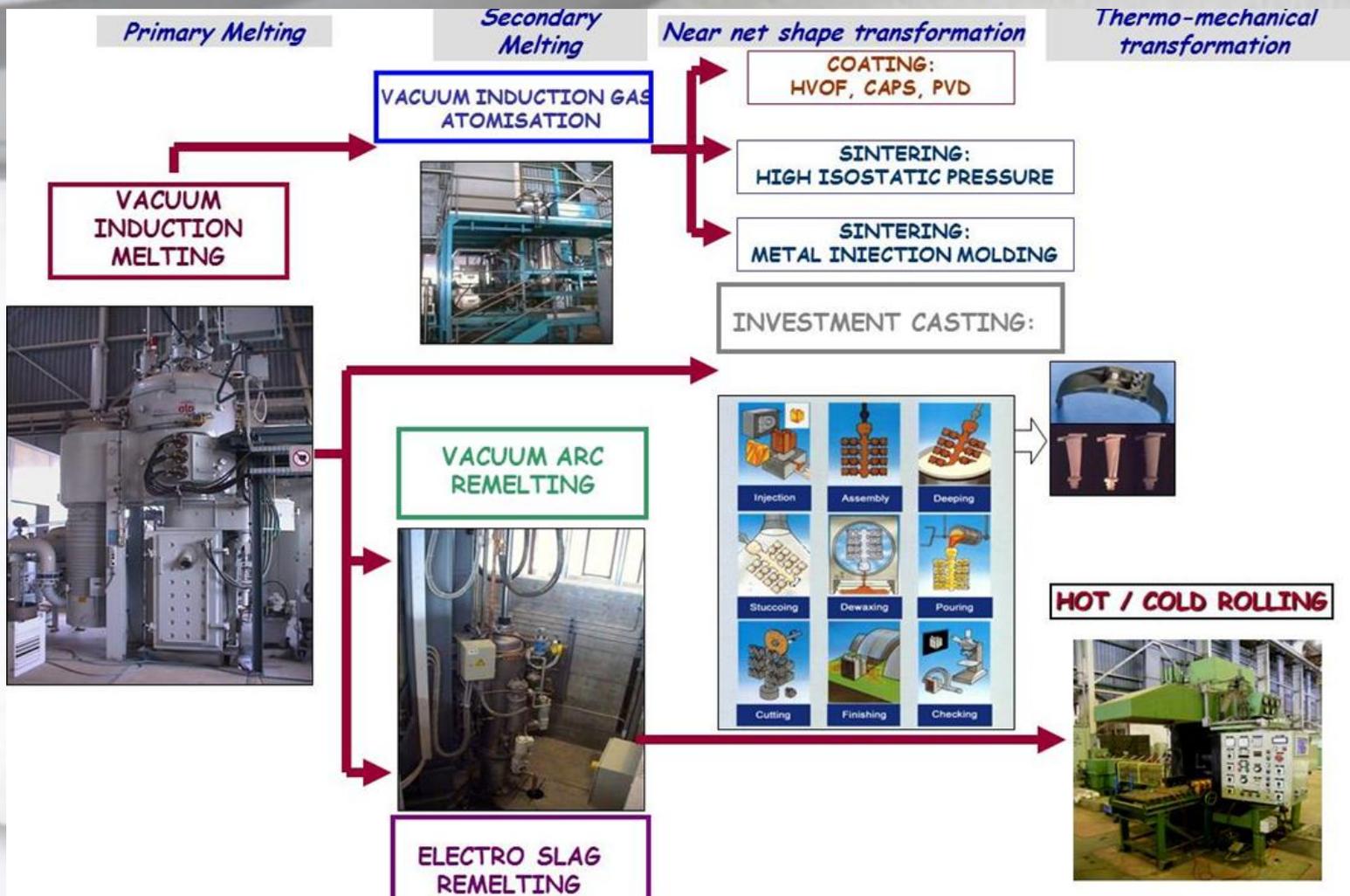
Comparazione tra carico di snervamento  
calcolato e sperimentale

# Il contributo della modellistica di solidificazione

- Tecnologie basate su un fascio laser (Selective Laser Melting, SLM) o elettronico (Electron Beam Melting, EBM) → modalità di solidificazione rapida della polveri metalliche.
- La solidificazione rapida → formazione di strutture metastabili e molto segregate, che possono essere intrinsecamente fragili.
- Le velocità di solidificazione tipicamente raggiunte con questo tipo di processi sono simili a quelle ottenute nei processi di saldatura ( $\sim 10^3$ - $10^8$ K/s).

**Modellistica della solidificazione rapida per ottimizzare le condizioni di processo e limitare la difettosità: modelli proprietari CSM**

# Fabbricazione polveri



## Vacuum Induction Gas Atomizer (VIGA)

The HERMIGA 100/10VI is a pilot plant for the production of high quality metal powder from different master alloys.

Heating of gas stream during the atomisation process make it more energy and is helpfully to obtain particle size less than 20  $\mu\text{m}$ .  
Material grades: Al alloys , Cu alloys, Special Steel, Nickel based alloys, Cobalt based alloys

Melting chamber atmosphere: Vacuum, Inert gas  
Atomisation chamber atmosphere: Nitrogen, Argon  
Melting capacities: 1-2 dm<sup>3</sup>  
Atomisation gas pressure: 30- 60 bar  
Atomization gas temperature: 5-500 °C  
Particle size: 5- 120  $\mu\text{m}$

# Messa a punto dei trattamenti di post processo: es. leghe intermetalliche base Ti

## Electron beam melting of Ti-48Al-2Cr-2Nb alloy: Microstructure and mechanical properties investigation

S. Biamino a,\* , A. Penna a, U. Ackelid b, S. Sabbadini c, O. Tassa d, P. Fino a, M. Pavese a, P. Gennaro e, C. Badini a

a *Dipartimento di Scienza dei Materiali ed Ingegneria Chimica, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy*

b *Arcam AB, Krokslatts Fabriker 27A, SE-431 37 Molndal, Sweden*

c *Avio SpA, Via I Maggio 56, Rivalta, 10040 Torino, Italy*

d *Centro Sviluppo Materiali S.p.A, Via di Castel Romano 100, 00128 Roma, Italy*

e *AvioProp, Via Nibbia 4, S. Pietro Mosezzo, 28060 Novara, Italy*

article info

Article history:

Received 18 October 2010

Accepted 15 November 2010

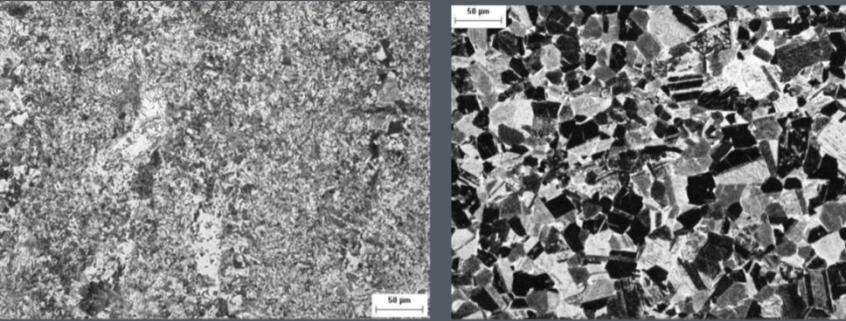
Available online 14 December 2010

Keywords:

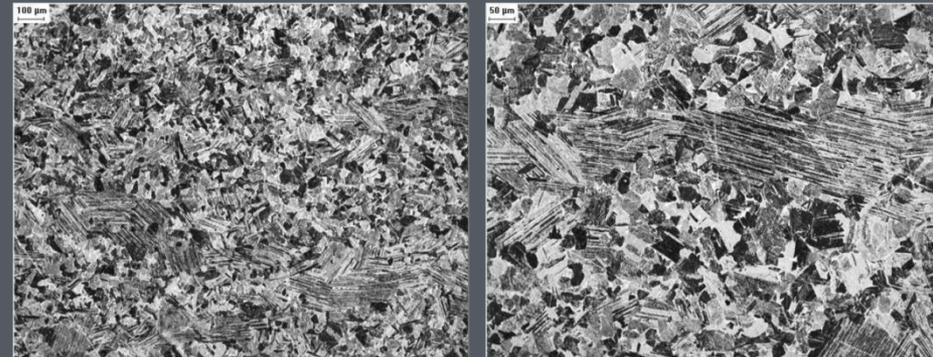
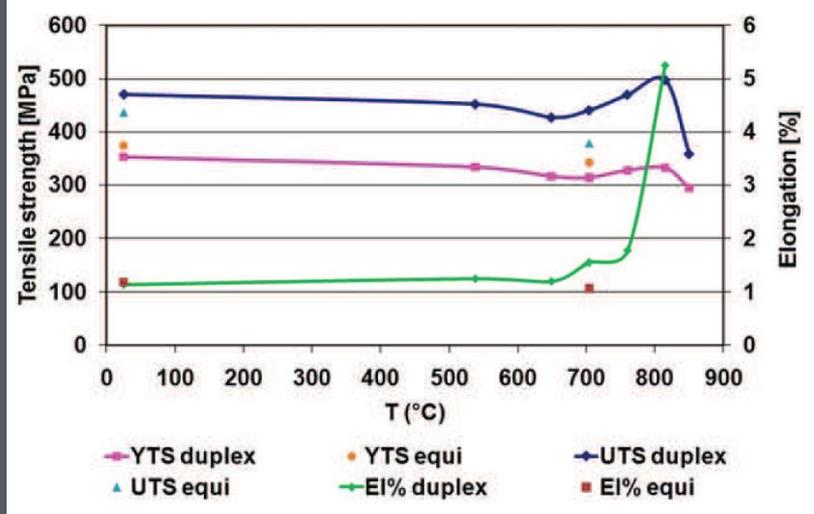
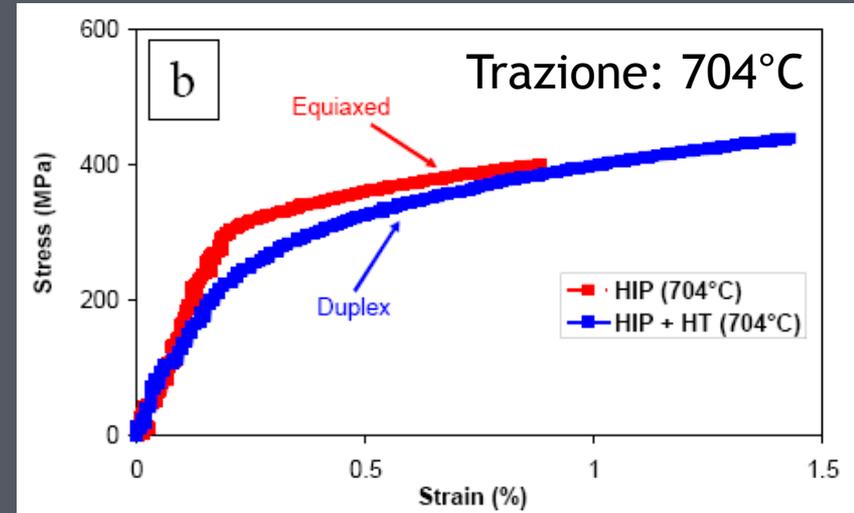
- A. Titanium aluminides, based on TiAl



# Messa a punto dei trattamenti di post processo: es. leghe intermetalliche base Ti



EBM-TiAl microstructure, (a) as-built, (b) after HIP, near GAMMA equiaxed microstructure



Microstructures of heat treated EBM-TiAl: duplex microstructure

# Caratterizzazione di polveri e materiali prodotti mediante tecniche ALM

- Analisi chimica
- NDT: US, RX
- Metallografia: LM, SEM, TEM
- Diffrazione RX
- Tenacità a frattura: impact test (CHARPY-V)
- Trazione (RT -HT)
- Fatica meccanica (HCF, LCF, TMF)
- Proprietà termofisiche (coefficient of Linear Thermal Expansion)
- Failure analysis, frattografia
- Caratterizzazione polveri :
  - SEM
  - Distribuzione dimensionale
  - Forma e densità apparente

# Certificazione di polveri e materiali prodotti mediante tecniche AM

Sulla certificazione CSM si pone con Rina in una veste di certificatore

- **Alcune normative di riferimento:**
  - **ISO/ASTM 52921-13 «Standard Terminology for AM»**
  - **F2971-13 «Standard Practice for Reporting Data for Test Specimens prepared by Additive Manufacturing»**
  - **F3122-14 «Standard Guide for Evaluating Mechanical Properties of Metal Materials Made via Additive Manufacturing Processes»**
  - **F3049-14 Standard Guide for Characterizing properties of metal powders used for AM Processes»**
  - **ASTM F3056 «Specification for Additive Manufacturing Nickel Alloys (UNS N06625) with powder bed fusion»**
- **Copertura integrale del testing di caratterizzazione**
- **Capacità di definire per i clienti caratteristiche customizzate per le polveri in funzione dell'ambito applicativo, addizionali rispetto ai minimum requirements degli standard suddetti.**

