



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



Ingegneria Modena
Dipartimento di Ingegneria
"Enzo Ferrari"

Additive manufacturing di componenti metallici: ripensare la progettazione in funzione della tecnologia produttiva

Prof. Ing. Elena Bassoli

La costruzione di un solido tridimensionale complesso può essere ricondotta alla costruzione delle singole sezioni, una sull'altra

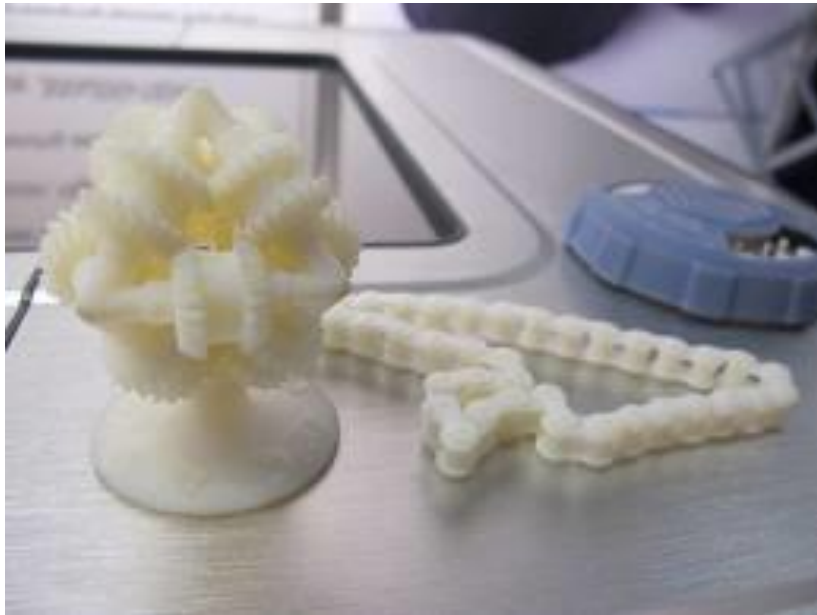


Le tecniche conosciute con il nome divulgativo di «stampa 3D» sono tutte accomunate dal principio della costruzione additiva, come alternativa ai processi sottrattivi tradizionali quali la lavorazione alle MU

ADDITIVE MANUFACTURING

è la denominazione stabilita dalla normativa

Conseguenze di questa concezione innovativa:



Posso costruire oggetti di grande complessità geometrica, anche pre-assemblati



Tempi e costi crescono man mano che aggiungo materiale, quindi un componente con molti vuoti o cavi costa meno di uno pieno

L'oggetto deve essere completamente ripensato e i progettisti necessitano di una formazione specifica

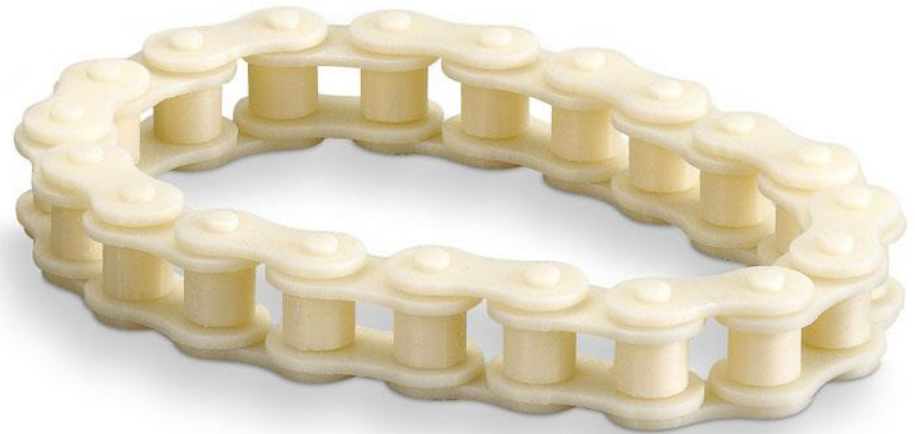
Complessità geometrica



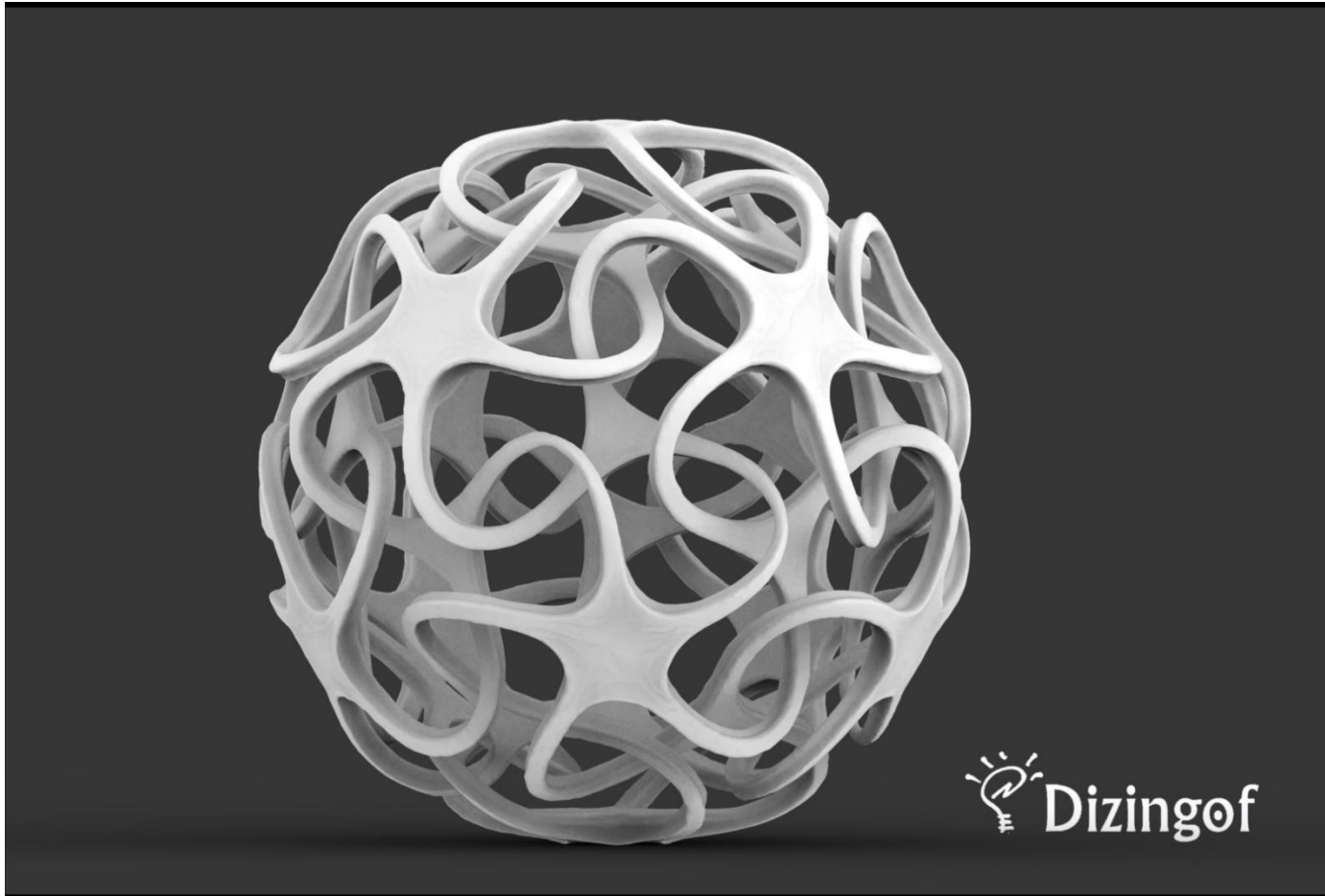
Complessità geometrica



Oggetti pre-assemblati



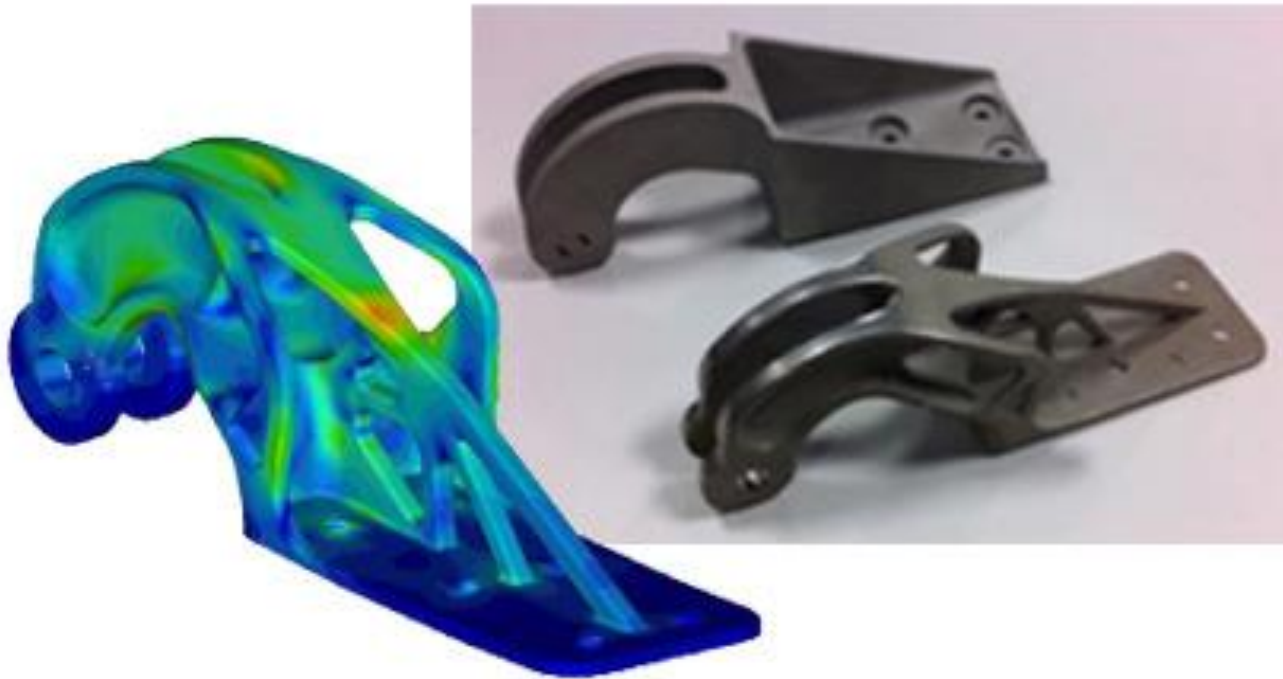
Meglio vuoti che pieni



COSTO ↔ volume, altezza

Meglio vuoti che pieni

EADS



OTTIMIZZAZIONE TOPOLOGICA

AM: potenziali vantaggi

- ❑ Time-to-market ridotti
- ❑ Costi ridotti (funzionalità integrata, no assemblaggio)
- ❑ Libertà progettuale (componenti complessi e leggeri)
- ❑ Personalizzazione

Esempi: automotive

Integrated Cooling Channels Help to Reduce Weight and Increase Performance



Lattice Structure Brake Disk

Application

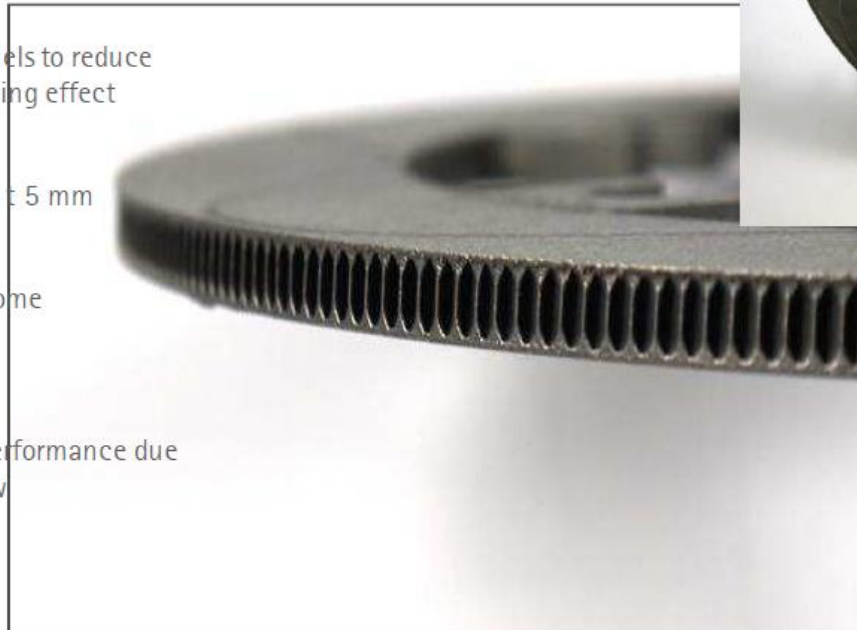
- Conceptual brake disk for formula student race car
- Integrated cooling channels to reduce weight and optimize cooling effect

Product details

- Dimensions: d 230 mm; t 5 mm
- Weight: 390 g
- Material: Cobalt Chrome

Advantages

- Reduced weight by 25%
- Significant increase of performance due to controlled cooling flow



Source: ka.raceing Karlsruhe, EOS



Esempi: automotive



CASO STUDIO – Doppio collettore in AlSi10Mg



Produzione ALM



HIP e trattamento termico

Esempi: automotive



CASO STUDIO – Doppio collettore in AlSi10Mg



Lavorazioni meccaniche

Le flange e le interfacce sono state lavorate di macchina utensile allo scopo di garantire la finitura superficiale e la precisione dimensionale richieste a disegno.



Nota: la radiografia è relativa ad un componente simile.

Controlli non distruttivi, dimensionali e microstrutturali

L'integrità del componente è stata investigata mediante raggi X dai quali è emersa l'assenza di difetti che potessero comprometterla. I controlli dimensionali sono stati condotti nel reparto qualità di Ci-Esse, sia sulle parti finite di macchina utensile, che su quelle grezze di ALM, allo scopo di verificare la conformità con quanto previsto a disegno. Infine, è stato fatto un controllo della densità del materiale mediante analisi d'immagine da microscopia ottica.

TEMPO TOTALE DI
PROCESSO
(esclusi i tempi morti):

34 ORE



Esempi: automotive

Topology Optimized Wheel Suspension with Increased Stiffness of 20% and Reduced Weight of 35%



Wheel Suspension

Application

- Extreme light and stiff wheel suspension
- Topology optimized & customized design
- In cooperation with Within software

Product details

- Weight: Front 435 g/Rear 390 g
- Max. forces: ca. 100 MPa
- Material: Aluminum

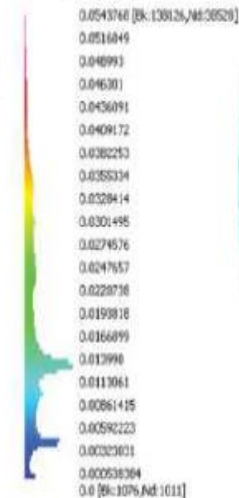
Advantages

- Weight savings 22% (front), 35% (rear) ¹⁾
- Increased stiffness of 20%
- Fast production and high accuracy



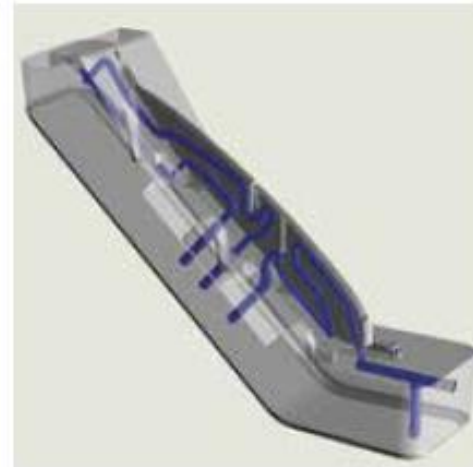
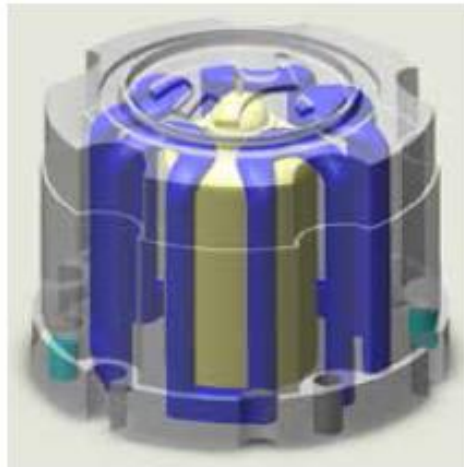
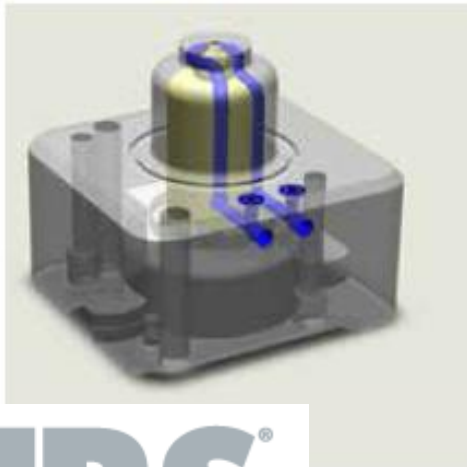
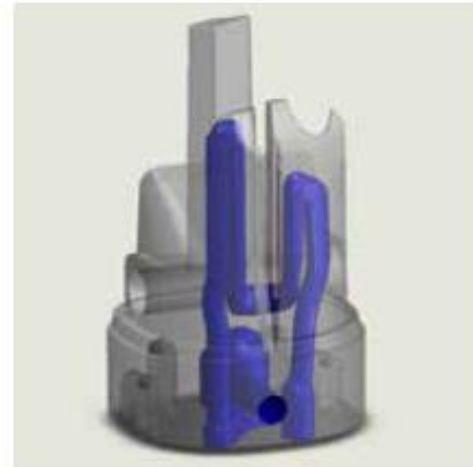
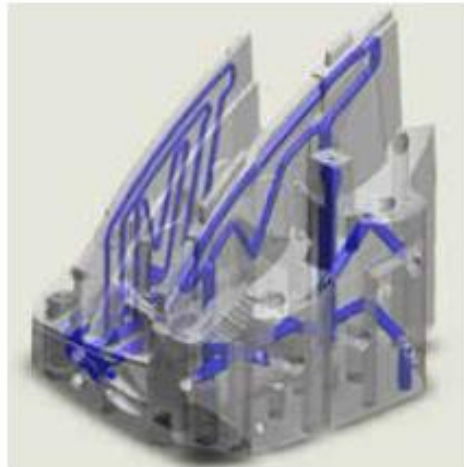
Maximal Front Displacement

Brick Dep CXXYZ (mm)



1) Compared to last seasons wheel suspensions manufactured with investment casting

Esempi: stampi



Esempi: stampi

1



Descrizione: inserto SLM per riflettore
Materiale iniettato: ABS/PC
Peso del pezzo: 410 g
Spessore del pezzo: 2 mm
Obiettivo raggiunto: riduzione tempo ciclo da 73 a 64 sec
Dimensioni: 210 x 200 x 230 (mm)

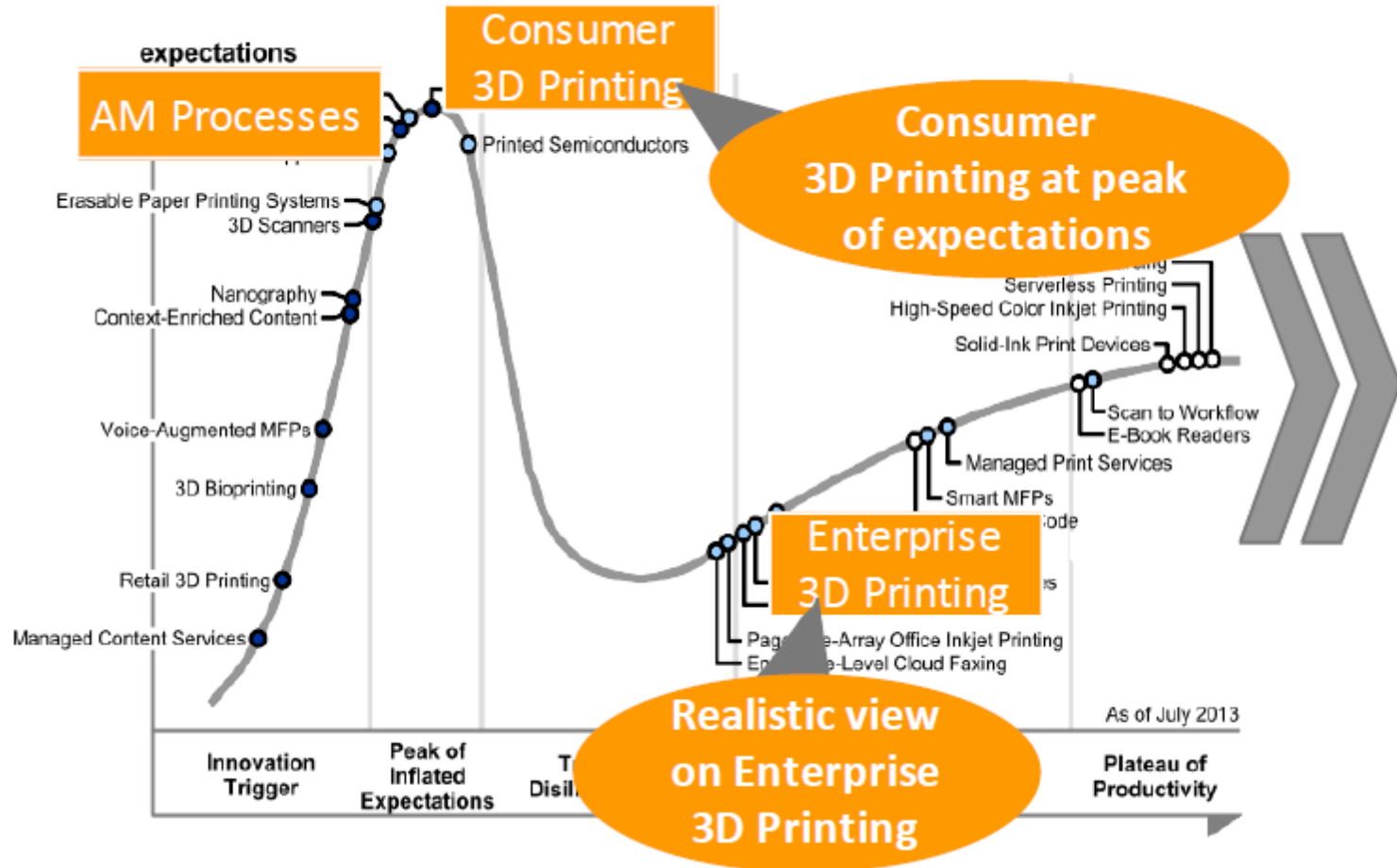
- ✓ Riduzione tempo ciclo
- ✓ Eliminati i problemi di risucchio
- ✓ Riduzione delle tensioni interne del pezzo



AM: rischi

- ❑ Approccio progettazione nuovo
- ❑ Costo materie prime
- ❑ Know-how su processi e materiali
- ❑ Affidabilità

AM: sviluppo



AM: sviluppo

Supply Chain Shift – Direct to Part

From



→ To



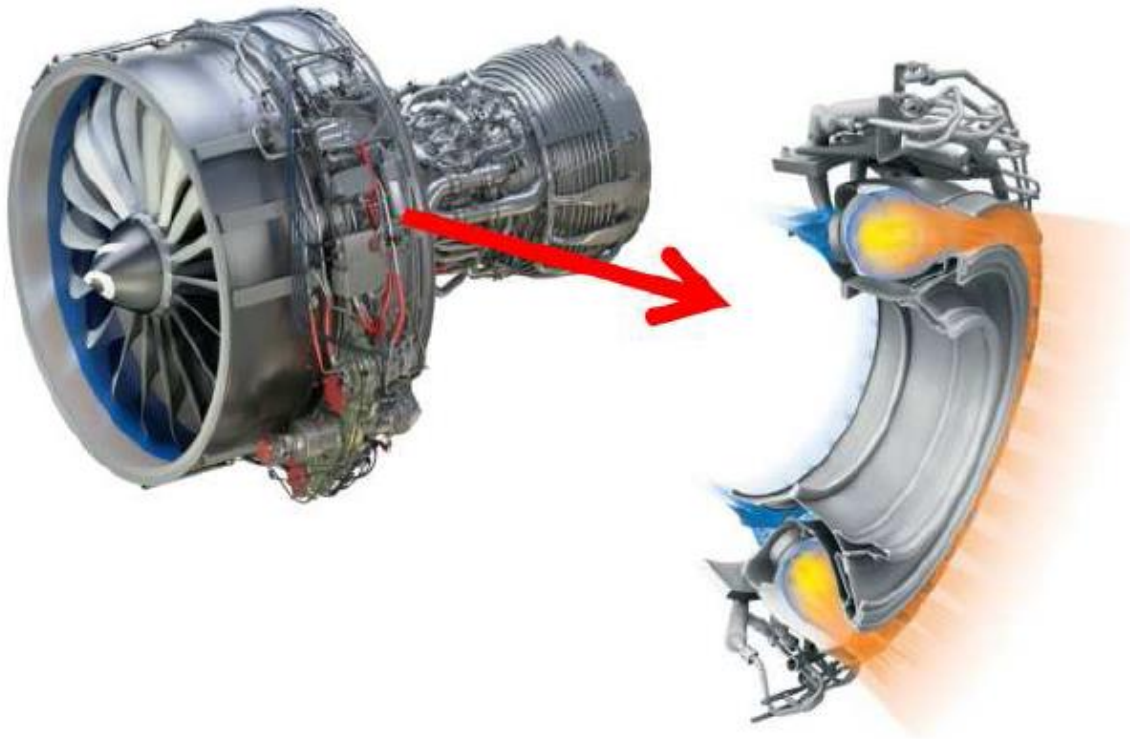
AM: sviluppo



- ❑ alta produttività (10x)
- ❑ mass customization (100 stazioni)
- ❑ piattaforma flessibile di produzione

Esempi: iniettore GE Aviation

LEAP 56 Next Generation Fuel Nozzles



- 40K+ Annual Production
- 5x more durable
- 25% less weight
- 20 pieces to 1



Esempi: GE Aviation

- ❑ ipotizzati 100,000 pezzi da AM entro 2020
- ❑ potenziale riduzione del peso di un motore 454kg
- ❑ più di 300 macchine AM in uso in GE, annunciati investimenti per 50MUSD



Esempi: Boeing



- Riduzione tempi
- Azzeramento magazzino

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**
Koreis

(10) **Pub. No.: US 2015/0064299 A1**

(43) **Pub. Date: Mar. 5, 2015**

(54) **THREE DIMENSIONAL PRINTING OF PARTS**

(71) Applicant: **THE BOEING COMPANY**, Chicago,
IL (US)

(72) Inventor: **Rocke Robert Koreis**, Seattle, WA (US)

(73) Assignee: **THE BOEING COMPANY**, Chicago,
IL (US)

(21) Appl. No.: **14/019,129**

(22) Filed: **Sep. 5, 2013**

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
B29C 67/00 (2006.01)

(52) **U.S. CL.**

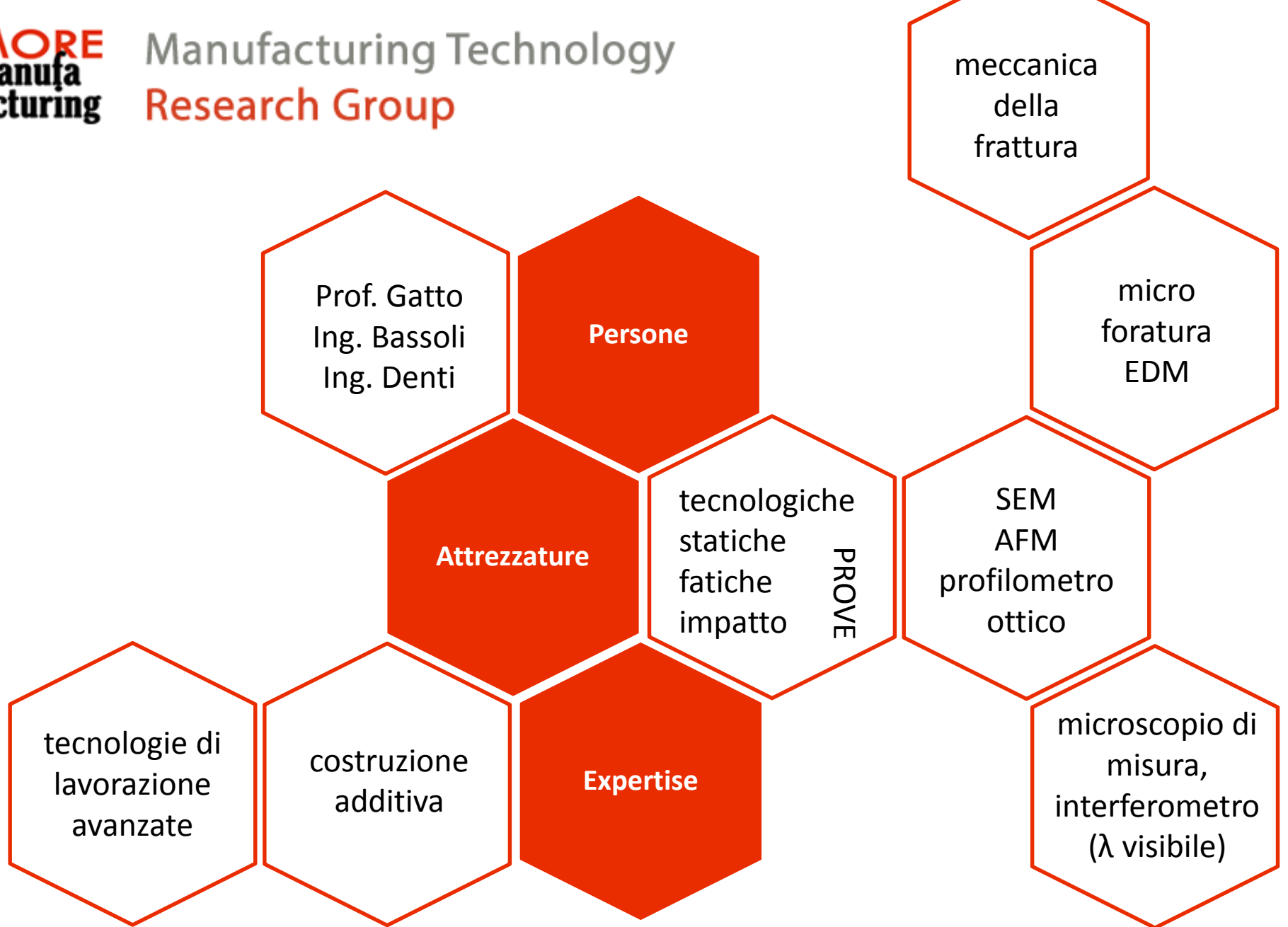
CPC **B29C 67/0088** (2013.01)
USPC **425/375; 707/736; 707/722; 707/687;**
707/609

(57) **ABSTRACT**

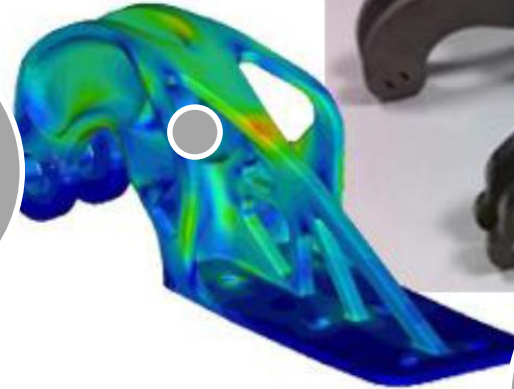
A method and apparatus is presented. The apparatus comprises a parts library, a database, and a parts management system. The parts library is configured to store a plurality of part definition files. The database is configured to store entries identifying a printing of parts using the plurality of part definition files. The parts management system is configured to receive a request for a part definition file in the parts library, identify the part definition file in the plurality of part definition files in the parts library, receive an indication of a printing of a part using the part definition file, and store an entry identifying the printing of the part using the part definition file in the database.

Richiesta di brevettare metodo e attrezzature per ordinare e produrre pezzi di ricambio aeronautici tramite AM

300 codici su 10 velivoli prodotti da AM in polimero → 20,000 parti tot.



PRESTAZIONI



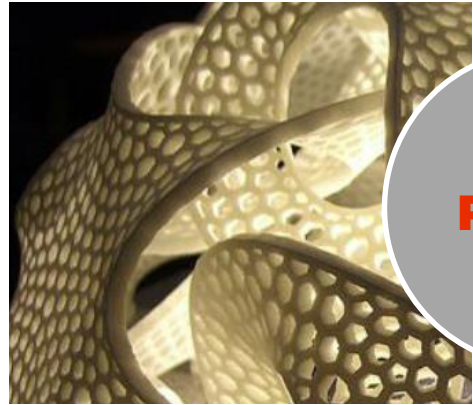
PROTOTIPI

PEZZI FINALI

ADDITIVE MANUFACTURING

RAPID TOOLING

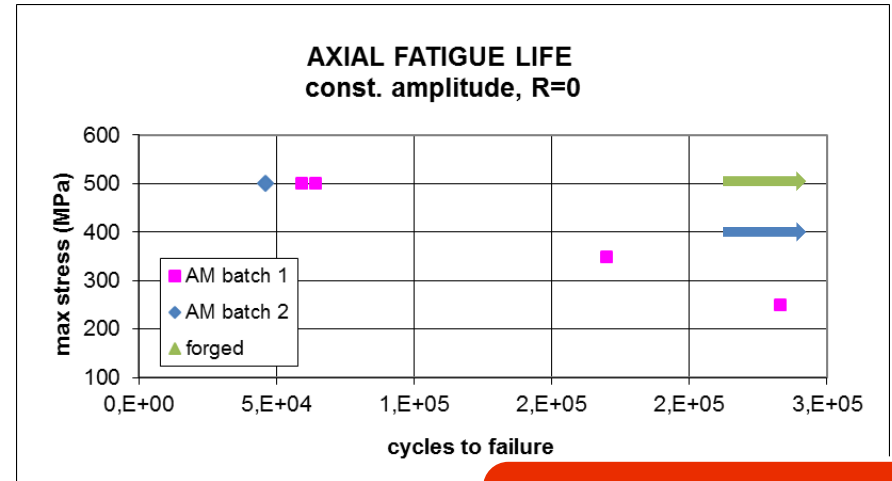
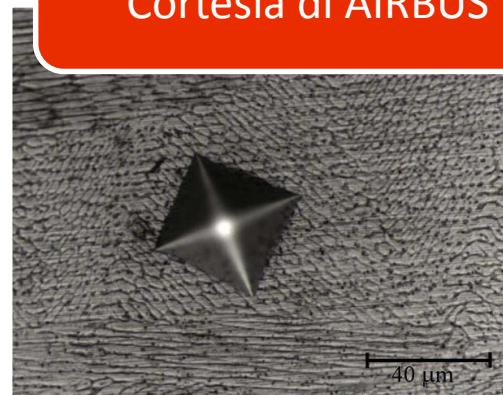
**STUDI
FATTIBILITA'**



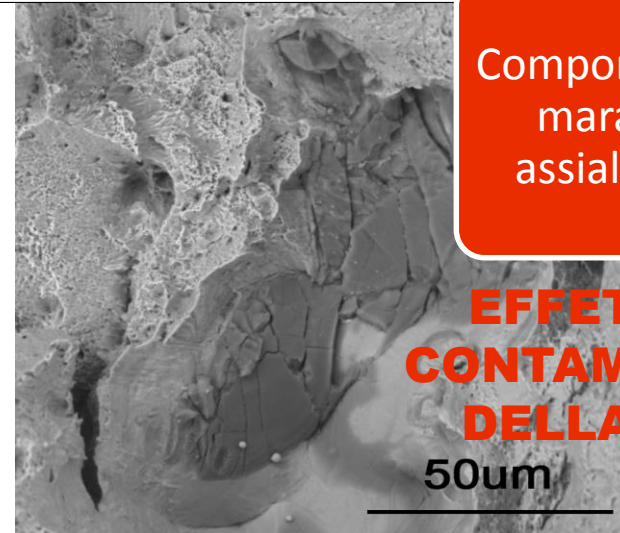
Caratterizzazione di componenti metallici da AM



Componenti in Inconel
progetto EU DAMASCUS
Cortesia di AIRBUS



Componenti in acciaio
maraging: fatica
assiale/flessionale

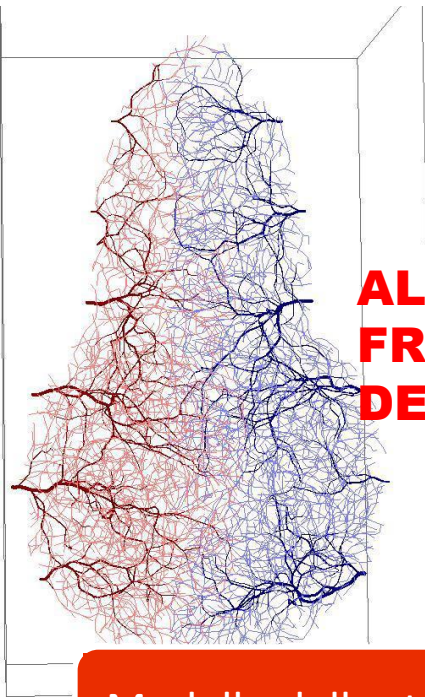


**EFFETTO DELLA
CONTAMINAZIONE
DELLA POLVERE**

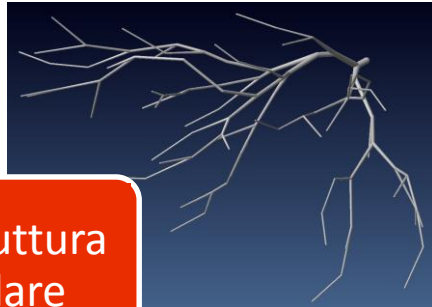
50um

AM di scaffold organomorfi per **ricostruzione di organi**

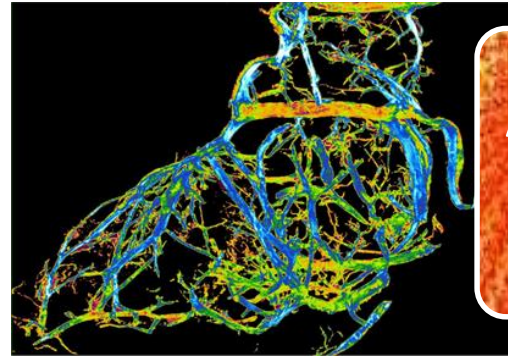
**ALGORITMI
FRATTALI
DETERMINISTICI**



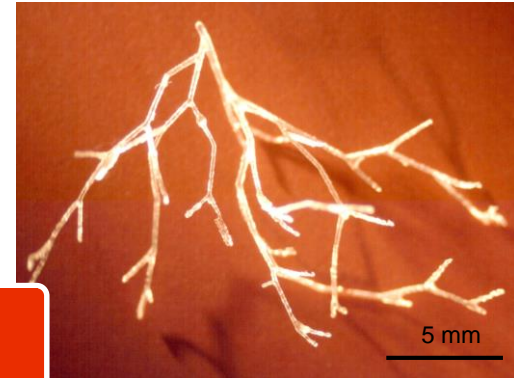
Modello della struttura
stromale-vascolare
della tiroide umana



Prototipo semplificato



Analisi frattale
FD=1,8



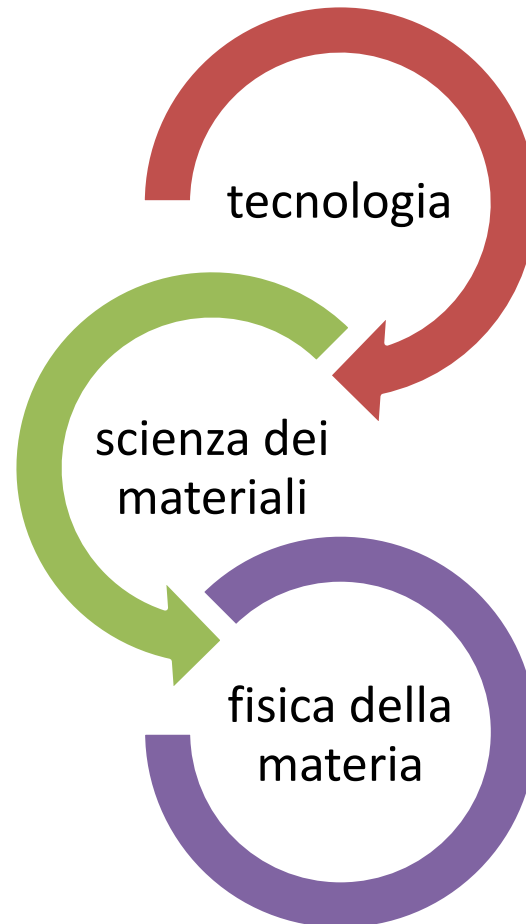
in collaborazione con Prof. Toni (Anatomia- UniPR) e Prof. Spaletta (Matematica- UniBO) nel PRIN 2008 "EX-SITU REGENERATIVE BIOLOGY OF GLANDULAR PARENCHYMAL ORGANS: THE MODEL OF THE ORGANOMORPHIC SKELETON"

Research
Additive
Manufacturing

DIEF - University of Modena and Reggio Emilia

IED - University of Parma

SIMAU - Polytechnic University of Marche



Qualificazione delle polveri:

Analisi granulometrica

Polvere di Ti6Al4V

Result Analysis Report

Sample Name:
EOS Ti64 Lotto 1917/3

Sample Source & type:

Sample bulk lot ref:

Measured by:

Result Source:
Measurement

Measured:
venerdì 15 maggio 2015 14:49:25

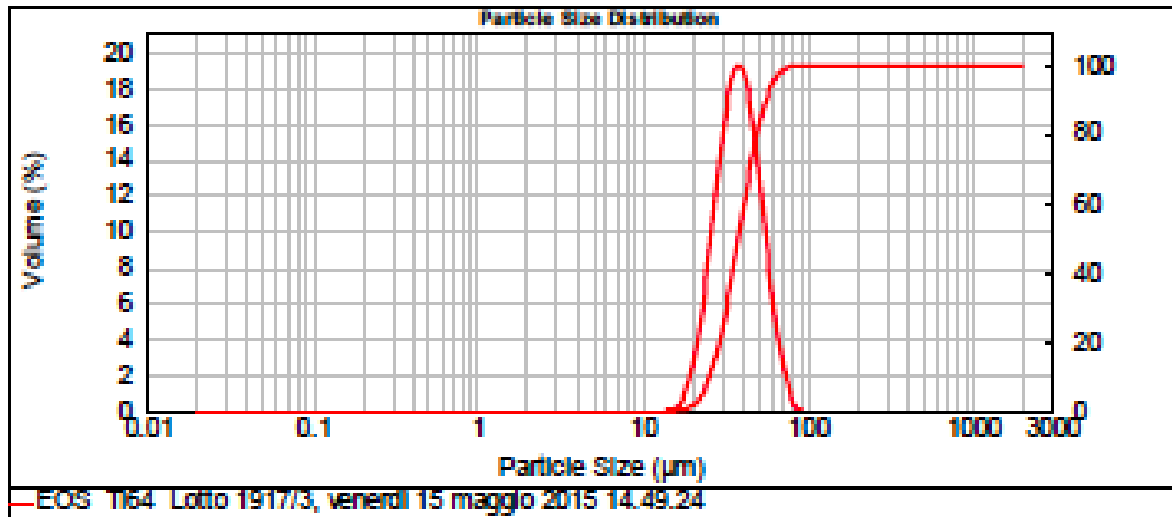
Analysed:
venerdì 15 maggio 2015 14:49:25

SOP Name:

d(0.1): 25.481 um

d(0.5): 37.787 um

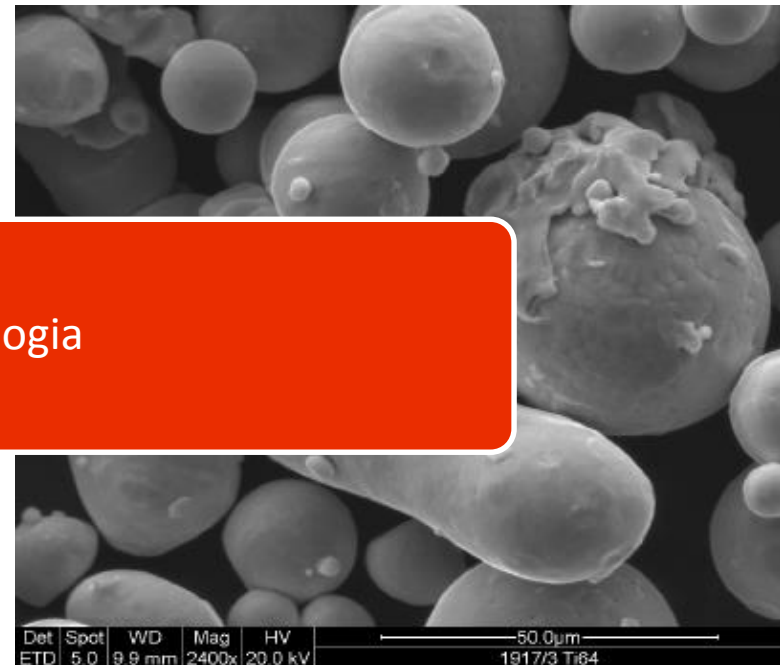
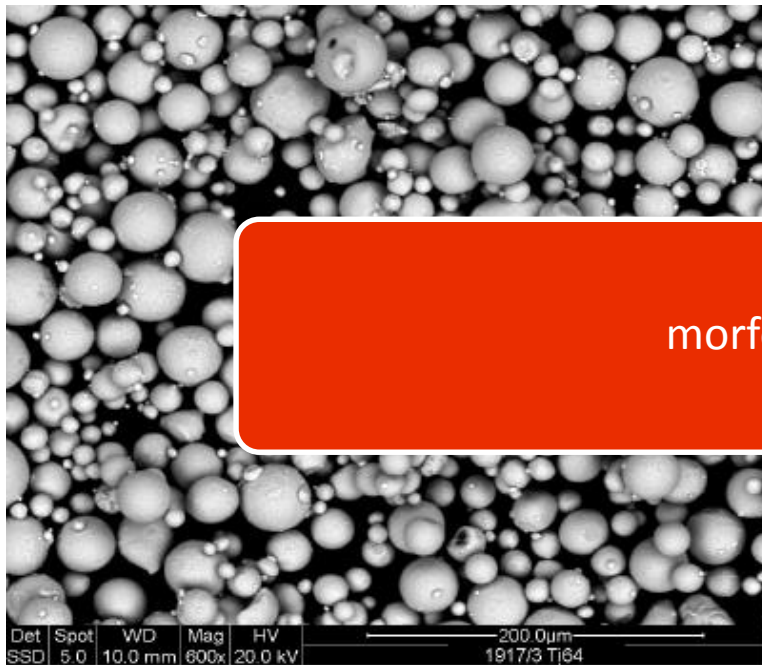
d(0.9): 65.882 um



Qualificazione delle polveri:

Analisi morfologica

Polvere di Ti6Al4V



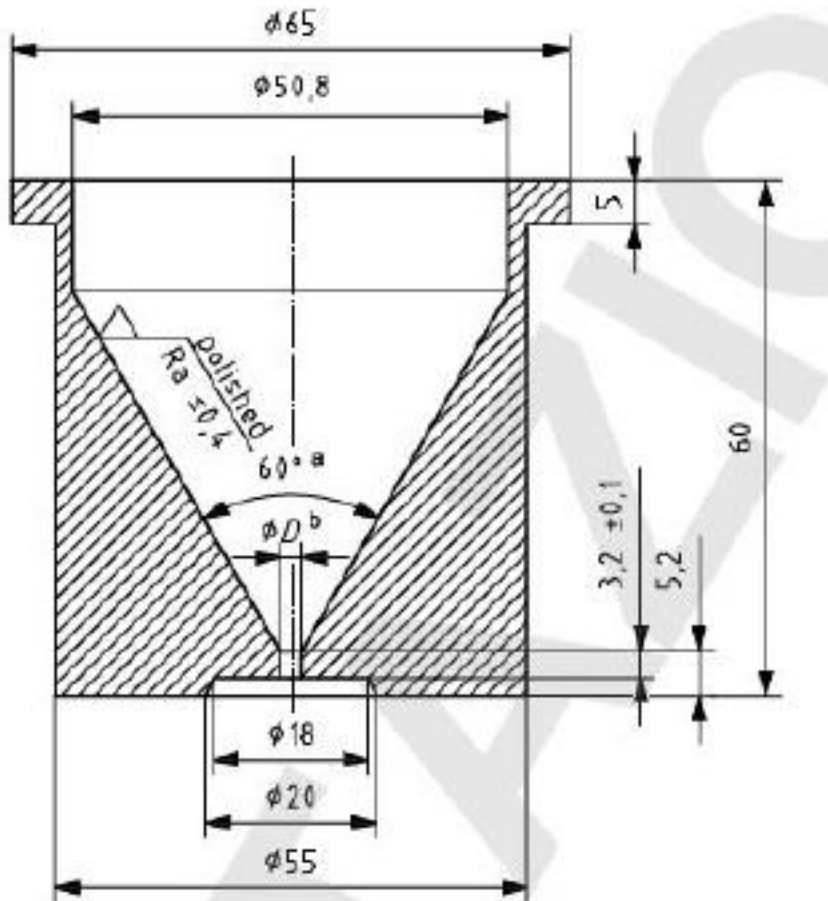
morfologia

Qualificazione delle polveri:

Scorrevolezza

ASTM B213-11 e ASTM B964-09

Hall flowmeter funnel and the Carney funnel



50 g di polvere

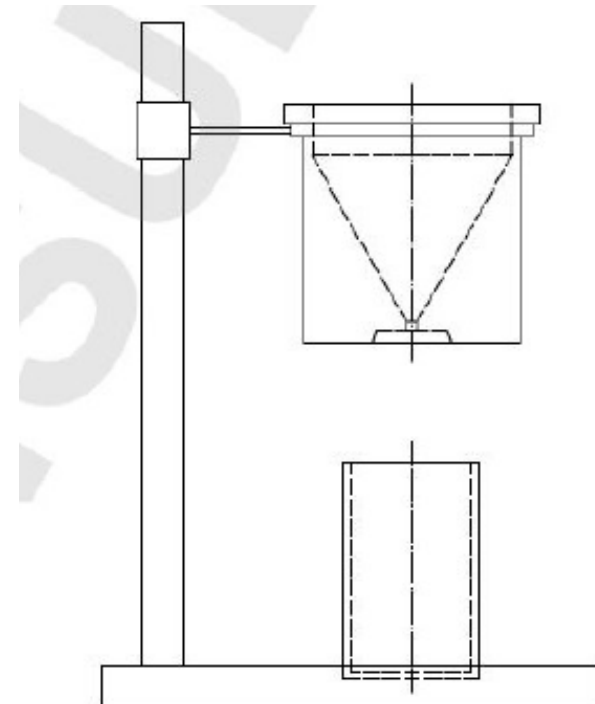


Figure 2 — Arrangement of calibrated funnel and stand

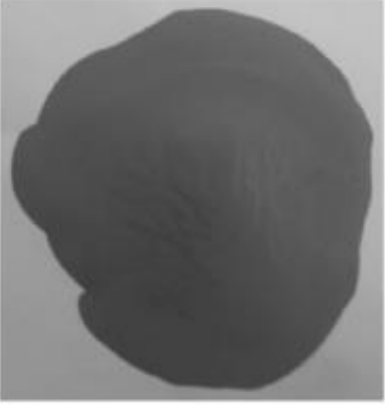
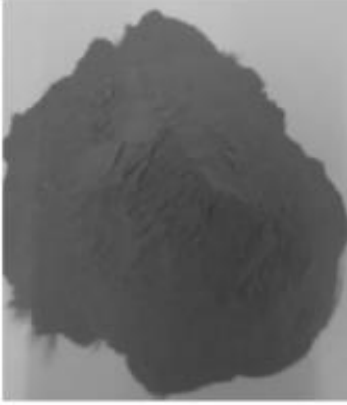
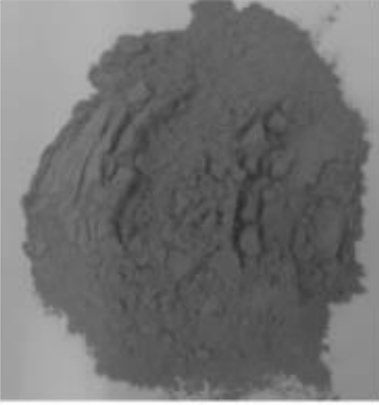
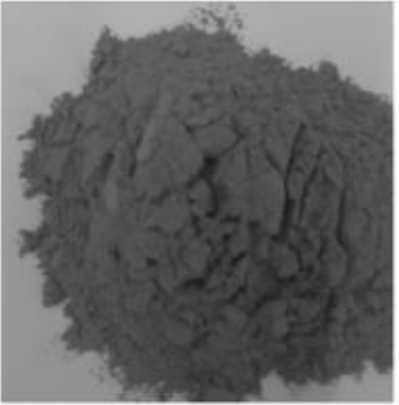
Qualificazione delle polveri:

Scorrevolezza

ASTM B213-11 e ASTM B964-09

Polvere di Ti6Al4V

Test	Time	Testing method
Hall Flowmeter	scorrevolezza	ASTM B213-11
Carney Flowmeter		ASTM B964-09

$\phi = 1$ – very good flowability no agglomerations	$\phi = 2$ – sufficient flowability Very loose agglomerations	$\phi = 3$ – critical flowability loose agglomerations	$\phi = 4$ – insufficient flowability severe agglomerations
			

Caratterizzazione meccanica

statica – trazione/flessione

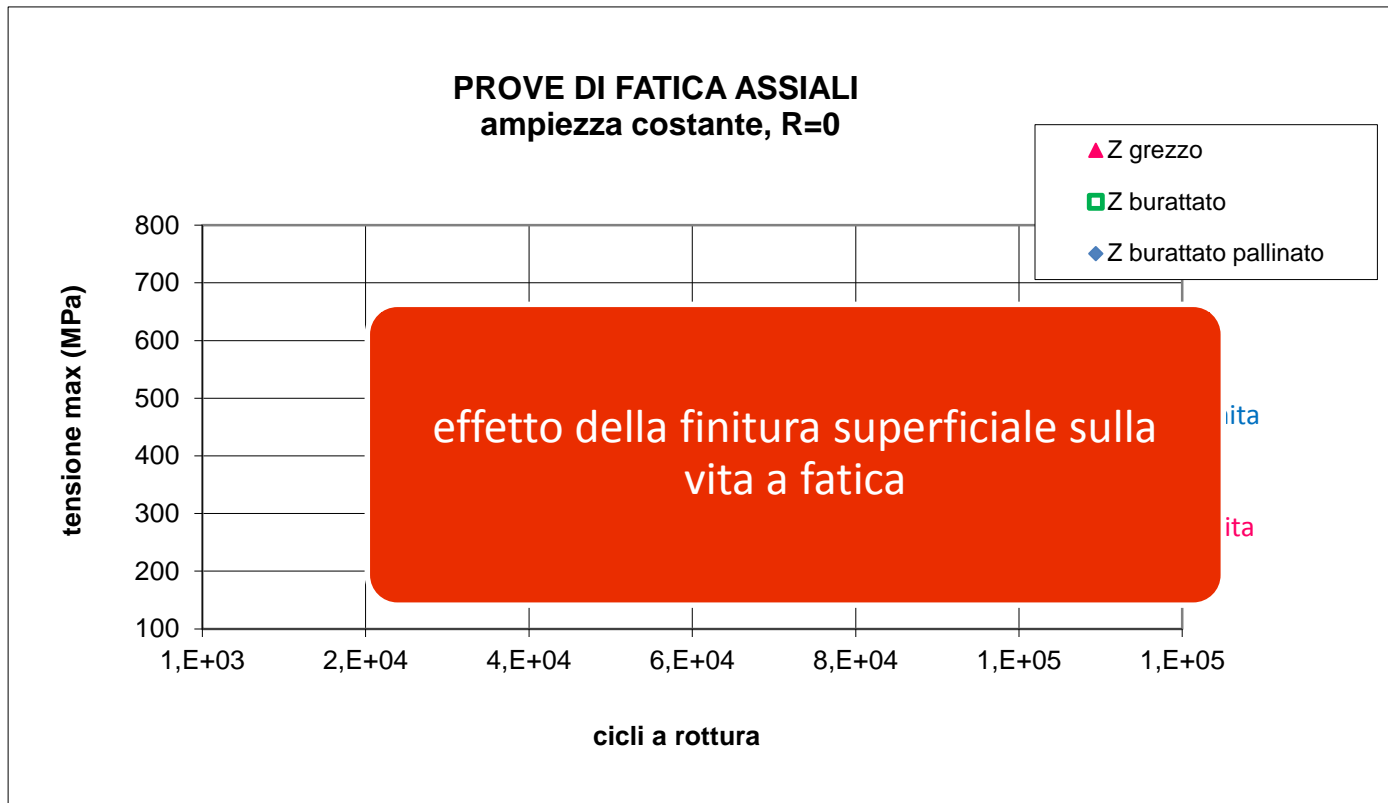
Ti6Al4V

	AS	CHT	Ref
Resistenza a trazione (MPa))
ϵ_b (%)			
HRC			
Resistenza a flessione (MPa)			

effetto del trattamento termico sulle proprietà meccaniche

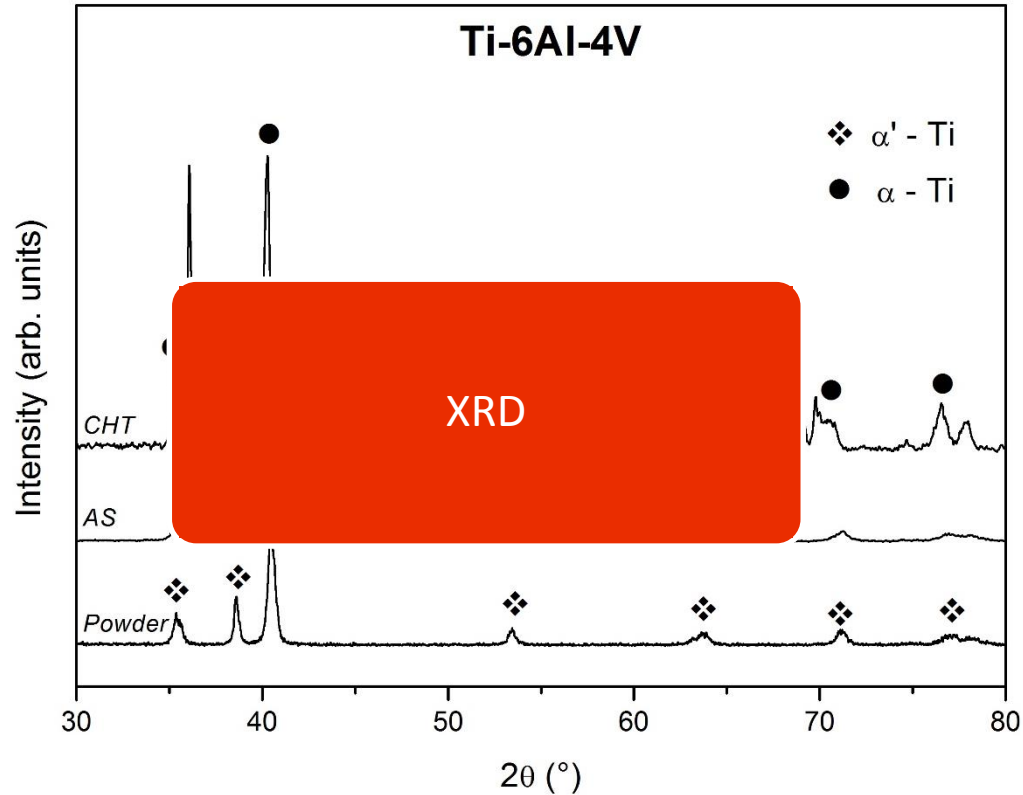
Caratterizzazione meccanica dinamica

Ti6Al4V



Analisi microstrutturale

XRD



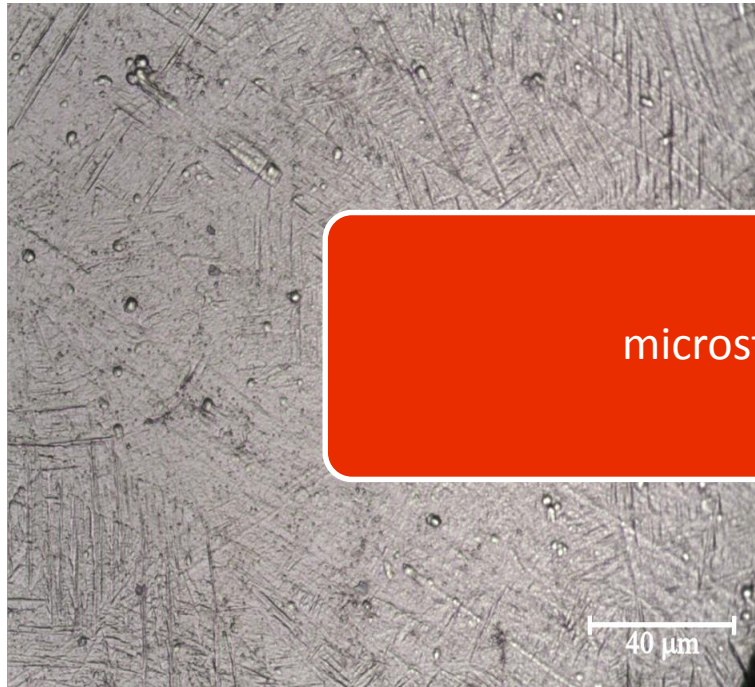
XRD

- Powder: α' (hcp) martensite
- AS: α' (hcp) martensite
- CHT: α (hcp) + surface oxides (unlabelled peaks)

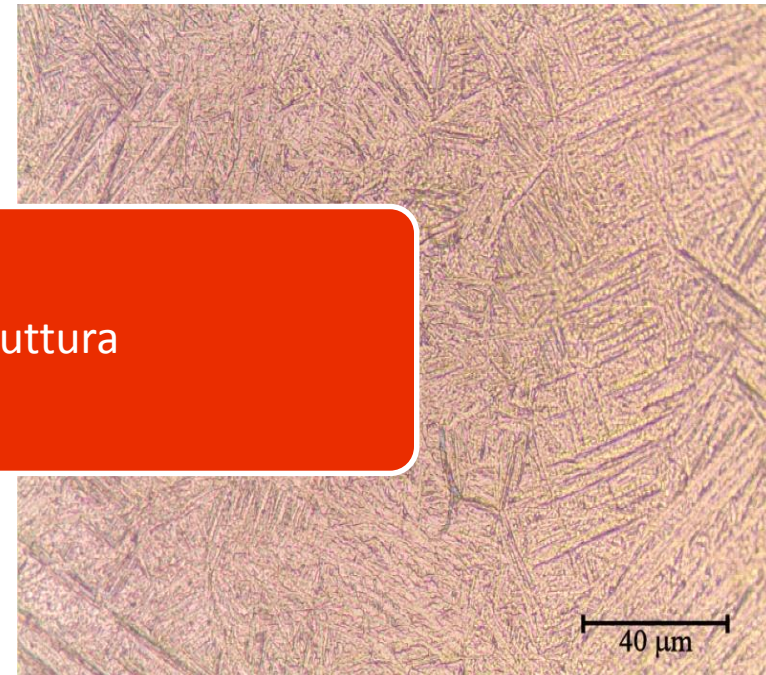
Analisi microstrutturale

SEM

dopo sinterizzazione e
trattamento termico
standard



dopo trattamento di
ceramizzazione



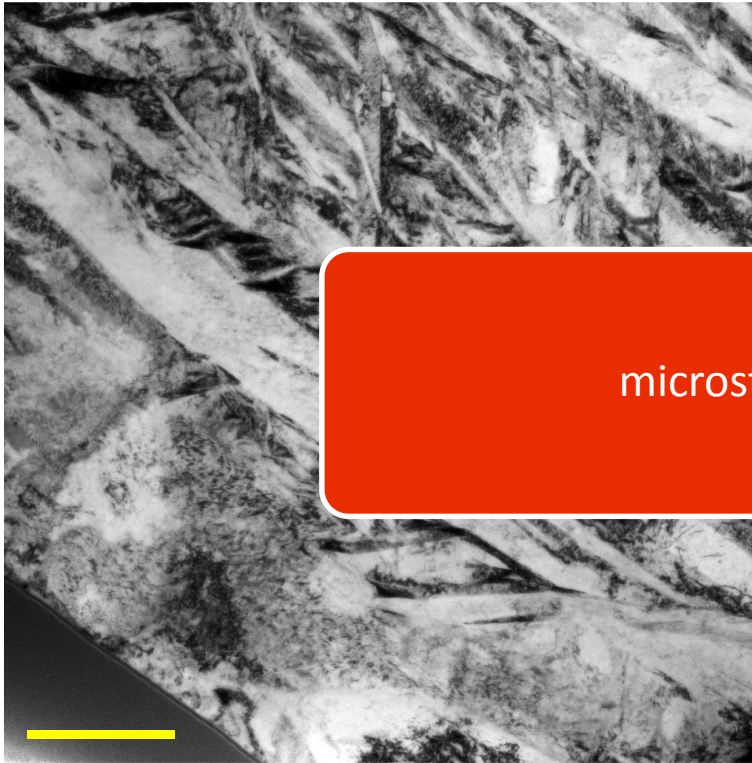
microstruttura

La struttura aciculare diventa meno fine con il trattamento termico

Analisi microstrutturale

STEM

dopo sinterizzazione e
trattamento termico
standard



dopo trattamento di
ceramizzazione

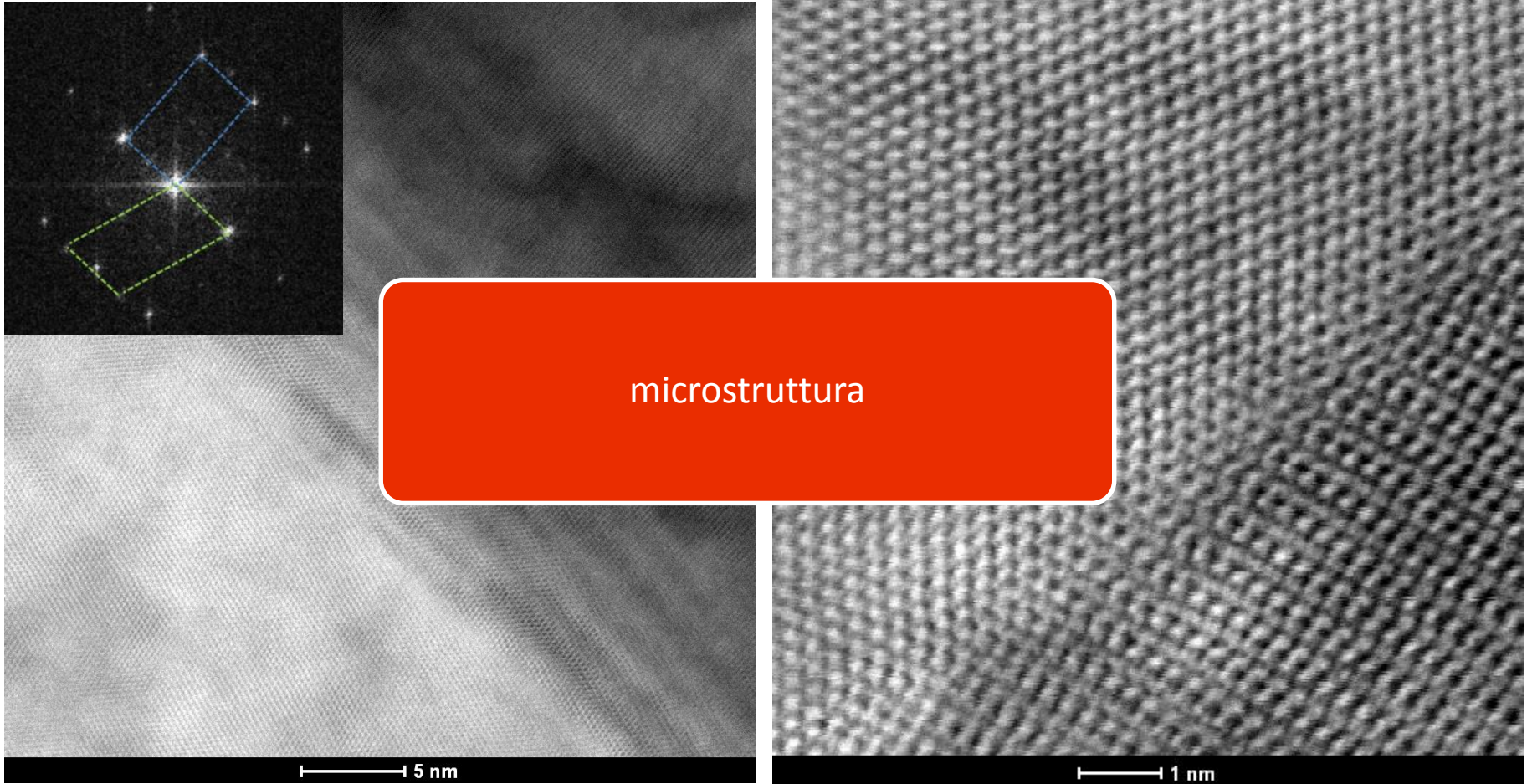


microstruttura

a bordo grano si forma la fase β (bcc)

Analisi microstrutturale

TEM/HRTEM





UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



Ingegneria Modena
Dipartimento di Ingegneria
"Enzo Ferrari"

Grazie per l'attenzione