

UNDERSTANDING ADDITIVE

Tecnologie diagnostiche per additive manufacturing e caratterizzazione materiale. Presentazione di business case con risultati sperimentali

ING. FABRIZIO ROSI - Business Developer

LE BUSINESS UNIT AZIENDALI

SERVIZIO INTEGRATO E TRASVERSALE, PER GARANTIRE LA QUALITÀ E LE PRESTAZIONI DEI VOSTRI PRODOTTI



CAMPOGALLIANO, (MO) | ITALY



5000 MQ TESTING AREA



80 COLLABORATORI



TESTING



CERTIFICAZIONE



FORMAZIONE

COMPANY PROFILE

SERVIZI

Analisi chimiche
Analisi metallurgiche
Prove meccaniche
Failure analysis
Prove non distruttive
Tomografia industriale
Analisi dimensionali
Prove ambientali e funzionali
Ispezione processi speciali
Certificazione processi e personale
Corsi di formazione

SETTORI

Aerospace
Automotive & Racing
Biomedicale
Oil & Gas
General industries

PROCESSI

Additive manufacturing
Compositi
Saldatura
MOCA

STAFF

Ingegneri dei materiali
Ingegneri meccanici
Chimici
Fisici
Metallurgici
NDT 3rd Livello
NDT 2nd Livello
IWI - International Welding Inspectors
IWE - International Welding Engineers
IWT - International Welding Technologists

CERTIFICAZIONI E ACCREDITAMENTI

ISO 9001:2015
EN 9100: 2018
17025:2018 - ACCREDIA
17024:2012 - ACCREDIA
17065:2012 - ACCREDIA
NADCAP AC 7101 for Materials Testing
NADCAP AC 7114 for Non Destructive Testing
ITANDTB CAE for NDT Qualification
GE Aviation
Leonardo Aircraft
Leonardo Helicopters

SETTORI SERVITI



AEROSPACE



AUTOMOTIVE



RACING



ELETTRONICO



BIOMEDICALE



MANUFACTURING



OIL & GAS



RAIL

EXPERTISE



FAILURE ANALYSIS



SALDATURA



ADDITIVE MANUFACTURING



COMPOSITI



MOCA

GUARDA IL VIDEO

**START
YOUR JOURNEY
IN OUR
ADDITIVE MANUFACTURING
TESTING CENTER**



NETWORKING



RIVOIRA



PARTNERSHIP

ADDITIVE MANUFACTURING: PROCESSO SPECIALE

L'AM è destinata a rimanere e a penetrare nelle tecnologie tradizionali: dalla prototipazione rapida alla produzione medio-bassa con altre tecnologie.



In ambito produttivo, un processo viene definito «speciale» quando la rispondenza a determinati requisiti dell'output risultante non può essere verificata da un'operazione di misura/verifica una volta terminato il processo produttivo stesso, ma è necessaria la convalida di tutte le fasi intermedie necessarie e, di conseguenza, eventuali omissione delle corrispondenti verifiche intermedie diventano evidenti solo dopo che il prodotto è in uso o il servizio è stato fornito.

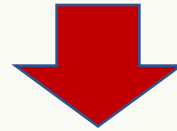
Le variabili che rendono critico il processo potrebbero essere definite «**VARIABILI ESSENZIALI**».

In questo caso, una lieve variazione del valore genera un cambiamento sostanziale nel processo con relativa variazione delle proprietà meccaniche, metallurgiche e di resistenza ambientale.

Una variabile che non ha una profonda influenza sul processo e sulle proprietà meccaniche è definita "**NON ESSENZIALE**".

ADDITIVE MANUFACTURING: PROCESSO SPECIALE

Le variabili possono essere considerate essenziali o meno, a seconda del tipo di materiale e della tipologia di funzione che il componente dovrà svolgere nella sua vita d'uso



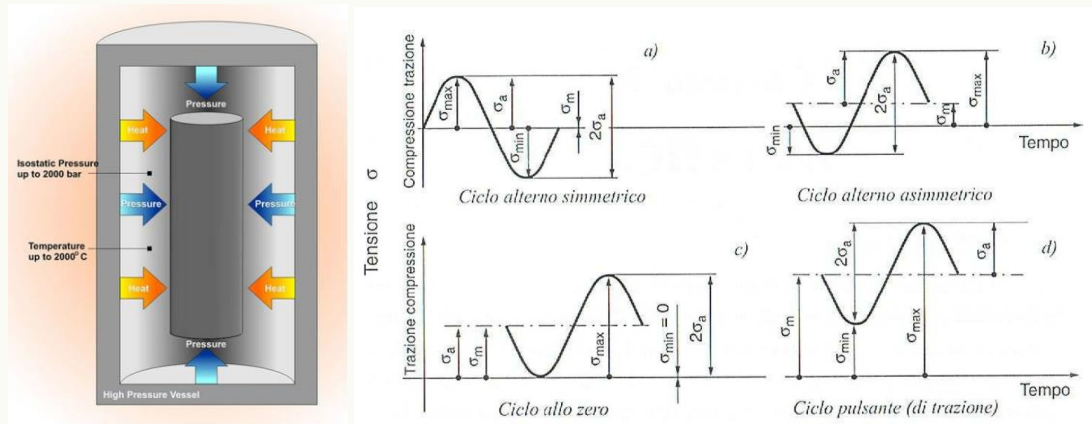
PARAMETRI DI
PROCESSO

CARATTERISTICHE
DEL MATERIALE

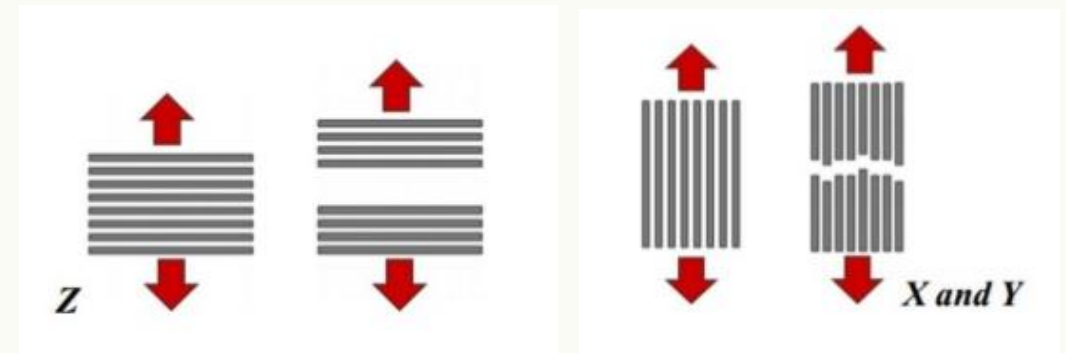
FUNZIONE E
CONDIZIONI
D'USO DEL
COMPONENTE

ADDITIVE MANUFACTURING: QUALCHE VARIABILE DA CONSIDERARE

Heat treatment and load history

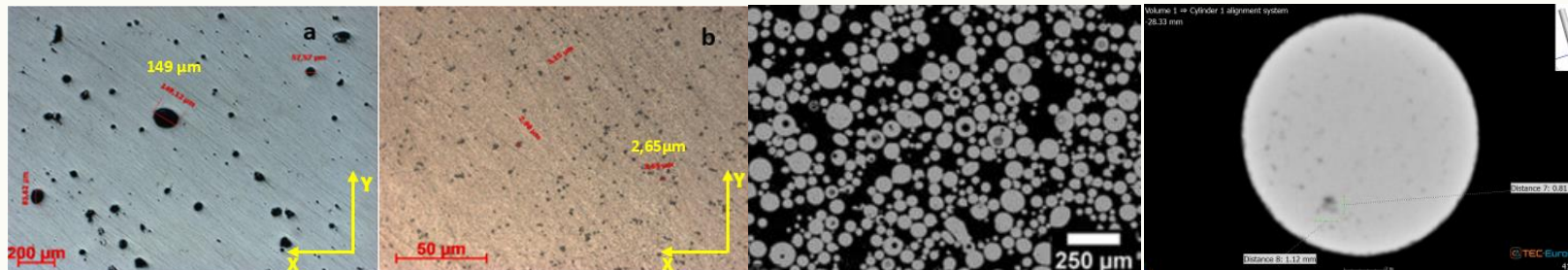


Anisotropy

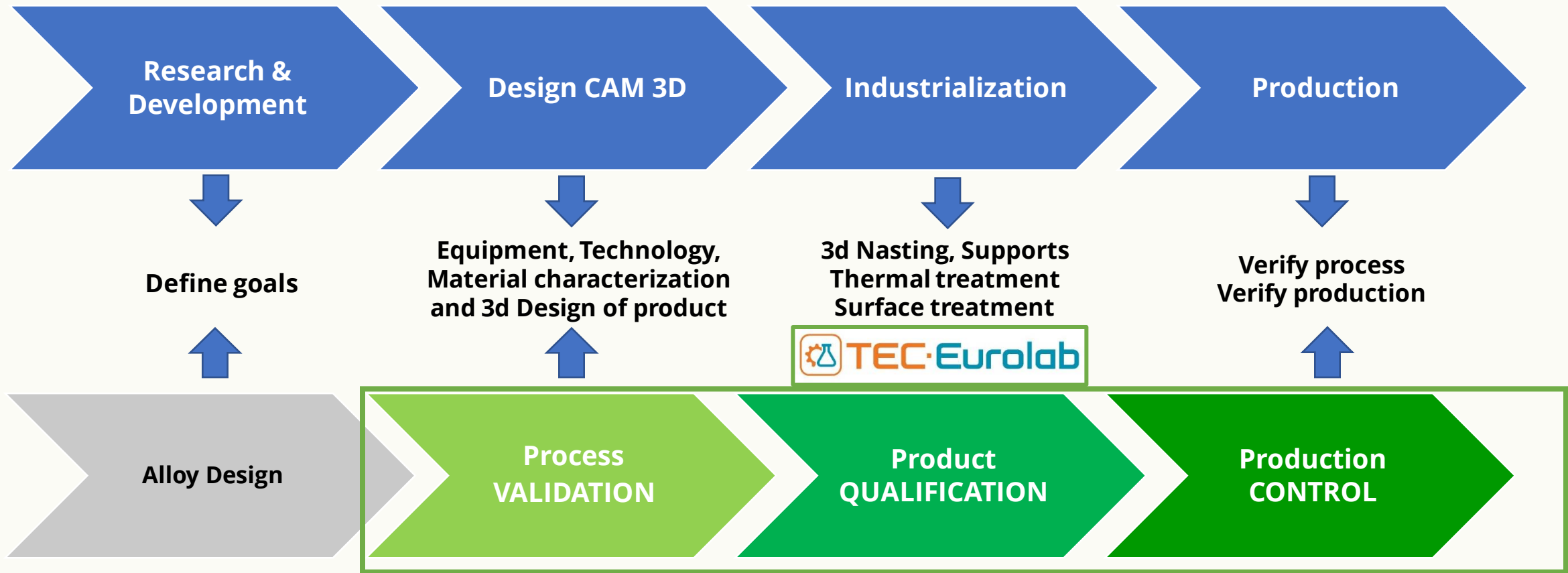


Roughness: As built $\rightarrow$ Machining $\rightarrow$ Polishing

Porosities at different level of the process



ADDITIVE MANUFACTURING FASI DI PROCESSO



POLVERE
Prove fisiche

- Flow rate
- Densità apparente
- Granulometria
- Morfologia (SEM)
- Composizione chimica

CAMPIONE MATERIALE
Controlli dimensionali

- Geometria
- Rugosità

Prove fisiche

- Densità
- Composizione chimica

CND

- Difetti interni (pori, lacks of fusion..) (CT)

Prove meccaniche

- Statiche
- Dinamiche
- Tensioni residue

Metallografia

- Microstruttura
- Porosità
- Durezza
- Failure analysis

COMPONENTE
Controlli dimensionali

- Geometria
- Rugosità

CND

- Difetti interni (pori, lacks of fusion..) (CT)

Prove fisiche

- Composizione chimica

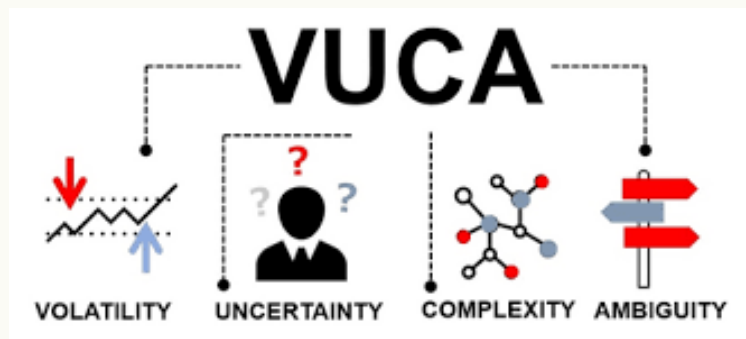
**Prove meccaniche
custom**

- Statiche
- Dinamiche

Metallografia

- Microstruttura
- Porosità
- Durezza
- Failure analysis

PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE



Cosa è differente nel VUCA world che viviamo oggi rispetto al mondo «competitivo» del passato

LA VELOCITÀ DI CAMBIAMENTO

Nel VUCA World l'aspetto che ha l'impatto maggiore in tutti i processi aziendali è la velocità con cui il cambiamento occorre.

L'ADDITIVE MANUFACTURING È UNA TECNOLOGIA
PRODUTTIVA CHE PUÒ RISPONDERE
A QUESTE ISTANZE



ADDITIVE MANUFACTURING STANDARDS OVERVIEW

Standards under the direct responsibility of ISO/TC 261

Document	Title
ISO 17296-2:2015	Additive manufacturing — General principles — Part 2: Overview of process categories and feedstock
ISO 17296-3:2014	Additive manufacturing — General principles — Part 3: Main characteristics and corresponding test methods
ISO 17296-4:2014	Additive manufacturing — General principles — Part 4: Overview of data processing
ISO/ASTM 52900:2015	Additive manufacturing — General principles — Terminology
ISO/ASTM DIS 52900	Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary
ISO/ASTM 52901:2017	Additive manufacturing — General principles — Requirements for purchased AM parts
ISO/ASTM DIS 52921	Additive manufacturing — General principles — Standard practice for part positioning, coordinates and orientation
ISO/ASTM 52921:2013	Standard terminology for additive manufacturing — Coordinate systems and test methodologies
ISO/ASTM 52903-1:2020	Additive manufacturing — Standard specification for material extrusion based additive manufacturing of plastic materials — Part 1: Feedstock materials
ISO/ASTM DIS 52903-2	Additive manufacturing — Standard specification for material extrusion based additive manufacturing of plastic materials — Part 2: Process — Equipment
ISO 27547-1:2010	Plastics — Preparation of test specimens of thermoplastic materials using mouldless technologies — Part 1: General principles, and laser sintering of test specimens
ISO/ASTM DTR 52905	Additive manufacturing — General principles — Non-destructive testing of additive manufactured products
ISO/ASTM CD TR 52906	Additive manufacturing — Non-destructive testing and evaluation — Standard guideline for intentionally seeding flaws in parts
ISO/ASTM 52907:2019	Additive manufacturing — Feedstock materials — Methods to characterize metal powders
ISO/ASTM PWI 52913	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Standard test methods for characterization of powder flow properties
ISO/ASTM PWI 52928	Powder life cycle management
ISO/ASTM AWI 52908	Additive manufacturing — Post-processing methods — Standard specification for quality assurance and post processing of powder bed fusion metallic parts
ISO/ASTM AWI 52909	Additive manufacturing — Finished part properties — Orientation and location dependence of mechanical properties for metal powder bed fusion

GENERAL PRINCIPLES

STANDARD FOR PLASTIC MATERIALS

NON-DESTRUCTIVE TESTING

POWDER CHARACTERIZATION

POST PROCESSING

STANDARDS FOR DESIGN

DATA MANAGEMENT

TESTING

ISO/ASTM 52910:2018	Additive manufacturing — Design — Requirements, guidelines and recommendations
ISO/ASTM 52911-1:2019	Additive manufacturing — Design — Part 1: Laser-based powder bed fusion of metals
ISO/ASTM 52911-2:2019	Additive manufacturing — Design — Part 2: Laser-based powder bed fusion of polymers
ISO/ASTM PWI 52911-3	Additive manufacturing — Technical design guideline for powder bed fusion — Part 3: Standard guideline for electron-based powder bed fusion of metals
ISO/ASTM PRF TR 52912	Additive manufacturing - Design - Functionally graded additive manufacturing
ISO/ASTM PWI 52914	Additive manufacturing — Design — Standard guide for material extrusion processes
ISO/ASTM PWI 52922	Additive manufacturing — Design — Directed energy deposition
ISO/ASTM PWI 52923	Additive manufacturing — Design decision support
ISO/ASTM 52915:2016	Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.2
ISO/ASTM 52915:2020	Specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.3
ISO/ASTM WD 52916	Additive manufacturing — Data formats — Standard specification for optimized medical image data
ISO/ASTM WD 52917	Additive manufacturing — Round Robin Testing — Guidance for conducting RoundRobin studies
ISO/ASTM CD TR 52918	Additive manufacturing — Data formats — File format support, ecosystem and evolutions
ISO/ASTM DIS 52950	Additive manufacturing — General principles — Overview of data processing
ISO/ASTM PWI 52951	Additive manufacturing — Data packages for AM parts
ISO/ASTM WD 52919-1	Additive manufacturing — Test method of sand mold for metalcasting — Part 1: Mechanical properties
ISO/ASTM WD 52919-2	Additive manufacturing — Test method of sand mold for metalcasting — Part 2: Physical properties
ISO/ASTM PWI 52927	Additive manufacturing — Process characteristics and performance - Test methods
ISO/ASTM DIS 52941	Additive manufacturing — System performance and reliability — Standard test method for acceptance of powder-bed fusion machines for metallic materials for aerospace application

ADDITIVE MANUFACTURING STANDARDS OVERVIEW

Standards under the direct responsibility of ISO/TC 261

ISO/ASTM PWI 52920-1	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 1: Conformity assessment for AM System in industrial use
ISO/ASTM WD 52920-2	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 2: Conformity assessment at Industrial additive manufacturing centers
ISO/ASTM DIS 52924	Additive manufacturing — Qualification principles — Classification of part proper- ties for additive manufacturing of polymer parts
ISO/ASTM DIS 52925	Additive manufacturing — Qualification principles — Qualification of polymer materials for powder bed fusion using a laser
ISO/ASTM WD 52926-1	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 1: Qualification of ma- chine operators for metallic parts production
ISO/ASTM WD 52926-2	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 2: Qualification of ma- chine operators for metallic parts production for PBF-LB
ISO/ASTM WD 52926-3	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 3: Qualification of ma- chine operators for metallic parts production for PBF-EB
ISO/ASTM WD 52926-4	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 4: Qualification of ma- chine operators for metallic parts production for DED-LB
ISO/ASTM WD 52926-5	Additive manufacturing — Qualification principles — Part 5: Qualification of ma- chine operators for metallic parts production for DED-Arc
ISO/ASTM WD TS 52930	Guideline for installation/ operation/ performance qualification (IQ/OQ/PQ) of laser-beam powder bed fusion equipment for production manufacturing
ISO/ASTM CD 52931	Additive manufacturing — Environmental health and safety — Standard guideline for use of metallic materials
ISO/ASTM WD 52932	Additive manufacturing — Environmental health and safety — Standard test method for determination of particle emission rates from desktop 3D printers using material extrusion
ISO/ASTM WD 52933	Additive manufacturing — Environment, health and safety — Consideration for the reduction of hazardous substances emitted during the operation of the non-industrial ME type 3D printer in workplaces, and corresponding test method

QUALIFICATION PRINCIPLES

ENVIRONMENT, HEALTH AND SAFETY

ISO/ASTM DIS 52941	Additive manufacturing — System performance and reliability — Standard test method for acceptance of powder-bed fusion machines for metallic materials for aerospace application
ISO/ASTM FDIS 52942	Additive manufacturing — Qualification principles — Qualifying machine operators of metal powder bed fusion machines and equipment used in aerospace applications
ISO/ASTM PWI 52943-1	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Part 1: Standard specification for directed energy deposition using wire and beam in aerospace applications
ISO/ASTM PWI 52943-2	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Part 2: Standard specification for directed energy deposition using wire and arc in aerospace applications
ISO/ASTM PWI 52943-3	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Part 3: Standard specification for directed energy deposition using laser blown powder in aerospace applications
ISO/ASTM PWI 52944	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Standard specification for powder bed processes in aerospace applications
ISO/ASTM 52904:2019	Additive manufacturing — Process characteristics and performance — Practice for metal powder bed fusion process to meet critical applications
ISO/ASTM 52902:2019	Additive manufacturing — Test artifacts — Geometric capability assessment of additive manufacturing systems

STANDARDS FOR AEROSPACE APPLICATIONS

GEOMETRIC CAPABILITY ASSESSMENT

LE QUALIFICHE PROFESSIONALI DELL'ADDITIVE MANUFACTURING



Designer



Project Manager



Inventore/Creativo



AM Specialist



Material Engineer



Mechanical Engineer



Caratteristiche da mediatore

LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING

STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Chimica elementi

Chimica
carbonio zolfo

Chimica Gas

Distribuzione
granulometrica

Scorrevolezza

Densità

Morfologia e
contaminanti



Chemical ICP analysis



Determinator
C,S



Determinator
H,N,O



Grain dimension/distribution



Flow rate



Tap density
Apparent density



Scanning Electron Microscopy

Caratterizzazione della polvere: AlSi10Mg

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



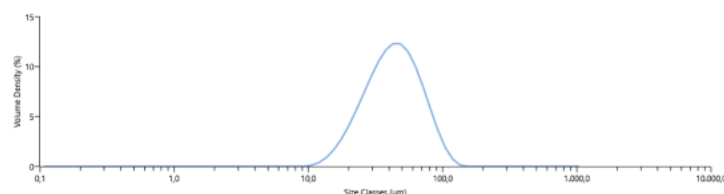
DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA POLVERI POWDER SIZE DISTRIBUTION

Test Standard: **ASTM B822 REV.2020**

Particle size distribution (vol. %)	
Particle size (µm)	LOTTO Z202002
≤ 5	0,00
≤ 15	1,47
≤ 20	6,46
≤ 32	28,09
≤ 45	53,87
≤ 53	66,95
≤ 63	79,34
≤ 75	89,29
≤ 90	95,78
≤ 106	98,75
≤ 150	100,00

	LOTTO Z202002	Incertezza (*)
Dx (05) µm	18,9	± 2,2
Dx (10) µm	22,4	± 2,6
Dx (50) µm	42,9	± 4,7
Dx (90) µm	76,0	± 8,2
Dx (95) µm	87,1	± 9,4
Span (90;10)	1,250	-

(*) L'incertezza associata alle misure è espressa come ripetibilità secondo ASTM B822-20.



—(31) 21-03502-01-01 AVG-13/05/20



ANALISI CHIMICA IN SPETTROMETRIA AD EMISSIONE AL PLASMA (ICP) + ANALISI OSSIGENO (Fusione in Gas Inerte)

ICP CHEMICAL ANALYSIS + OXYGEN ANALYSIS

Test Method: **MI 056 Rev.4 / PDP 036 Rev.12**

			LOTTO Z202002
			Resto/Balance
Alluminio/Aluminium	Al	%	0,050
Ossigeno/Oxygen	O	%	< 0,01
Bismuto/Bismuth	Bi	%	< 0,01
Cromo/Chromium	Cr	%	0,06
Ferro/Iron	Fe	%	0,39
Magnesio/Magnesium	Mg	%	< 0,01
Manganese/Manganese	Mn	%	< 0,01
Nichel/Nickel	Ni	%	< 0,01
Piombo/Lead	Pb	%	< 0,01
Rame/Copper	Cu	%	9,8
Silicio/Silicon	Si	%	< 0,01
Stagno/Tin	Sn	%	< 0,01
Titanio/Titanium	Ti	%	0,01
Vanadio/Vanadium	V	%	< 0,01
Zinco/Zinc	Zn	%	< 0,01
Zirconio/Zirconium	Zr	%	< 0,01



FLOW RATE

Test Standard: **ASTM B213 REV. 20 Method 1**
ASTM B964 Rev. 16 Method 1

	Flow Rate (s/50g)	Funnel
LOTTO Z202002	83	Hall

	Flow Rate (s/50g)	Funnel
LOTTO Z202002	13,7	Carney



DENSITÀ APPARENTE E TAP DENSITY APPARENT DENSITY & TAP DENSITY

Test Standard: **ASTM B212 REV.17**
ASTM B527 Rev.20

	Densità apparente AD _H (g/cm ³)
LOTTO Z202002	1,39

	Tap Density (g/cm ³)
LOTTO Z202002	1,6

Nota: il valore di Span è legato alla larghezza della distribuzione della dimensione delle particelle: più questa è stretta, minore sarà il valore di Span

Caratterizzazione della polvere: AlSi10Mg

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



ESAME MEDIANTE MICROSCOPIA ELETTRONICA
A SCANSIONE
SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Test Standard: **ASTM F1877 REV.16**

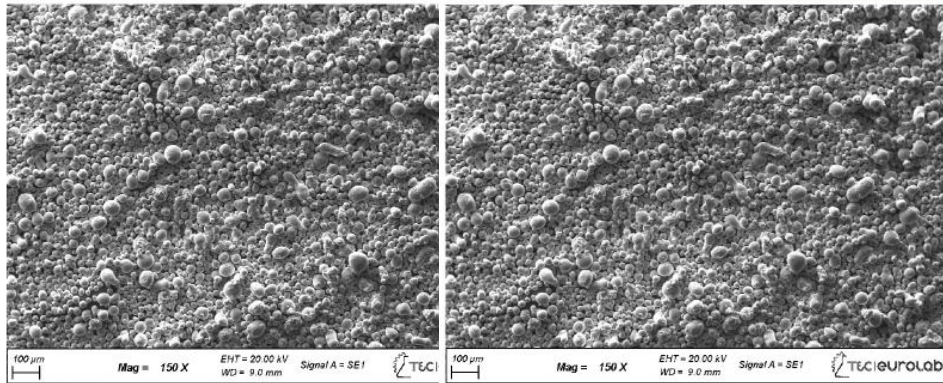


Fig. 1

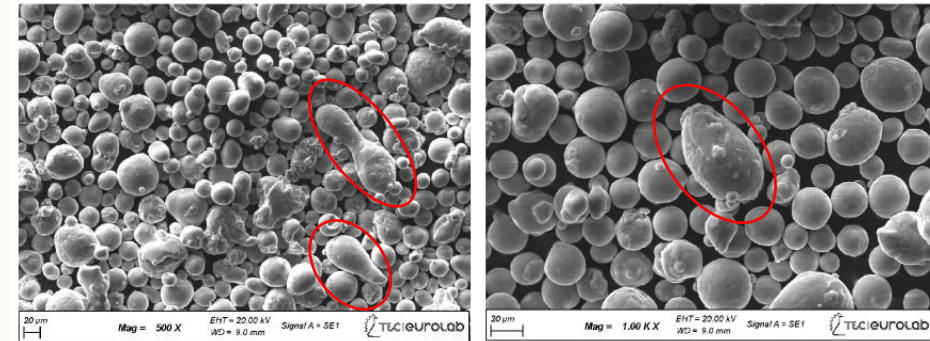


Fig. 2

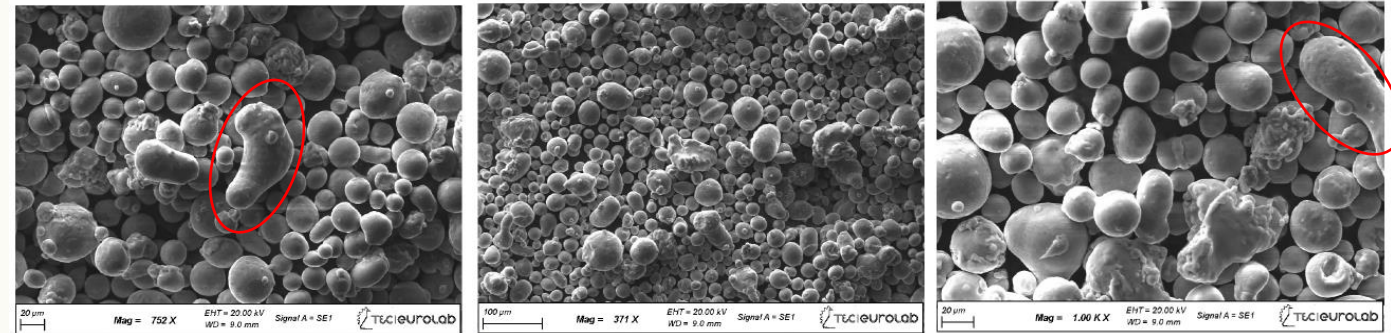


Fig. 3

Le particelle osservate risultano di **forma sferica**, ma sono presenti anche numerose particelle di **forma irregolare o ovale**.

Le immagini a bassi ingrandimenti del campione analizzato (**Fig. 1**) mostrano che la maggior parte delle particelle presenta una **dimensione compresa tra 20 e 100 µm**.

Le immagini ad ingrandimenti più elevati (**Fig.2**) mostrano la morfologia superficiale delle particelle in esame e la **morfologia di alcune particelle irregolari**.

In **Fig.3** sono riportate alcune particelle di **forma irregolare di grandi dimensioni (>100 µm)**.

LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

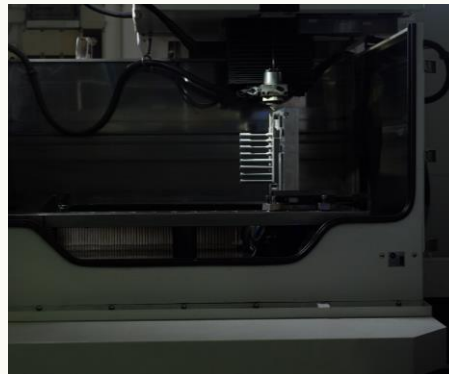
Trattamento termico

Taglio EDM

Lavorazioni meccaniche



Heat treatment
AMS2750 cl2



Fanuc EDM cutting



Machining (turning, grinding, finishing...)



Nota: principali attrezzature utilizzate. Altri strumenti sono disponibili presso i nostri laboratori.

LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Chimica elementi

Chimica carbonio
zolfo

Chimica
Gas

Chimica contaminanti



Chemical XRF
analysis



Chemical ICP
analysis



Chemical OES
spectrometer



Determinator
C,S



Determinator
H,N,O



Scanning Electron Microscopy

LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Resistenza meccanica
a temperatura
ambiente



$F_{\max} = 100 \text{ kN}$,
250 kN, 600 kN

Resistenza meccanica ad
elevata temperatura



$F_{\max} = 50 \text{ kN}$, 3 test rigs

Tensile tests 250kN
(-80°C +250°C)

Prove di fatica a temperatura
ambiente



Fatigue tests
500kN

Fatigue tests
HCF 100kN

Prove di fatica ad elevata temperatura



Fatigue tests
HCF 100kN
(<1000°C)

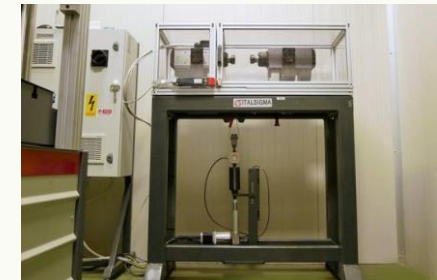


Fatigue tests
LCF 100kN
(<1000°C)



Fatigue tests
15kN
(-40 +180°C)

Prova di fatica rotante



Rotating bending
35Nm

LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Resistenza meccanica statica a temperatura ambiente e ad elevata temperatura

MECHANICAL
PROPERTIES

STATIC

TENSILE
TESTING

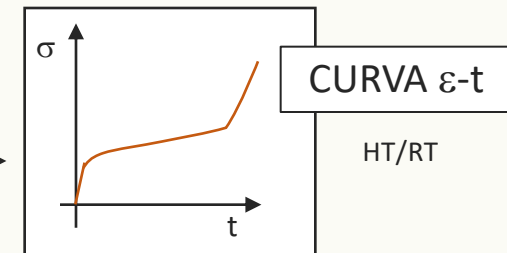
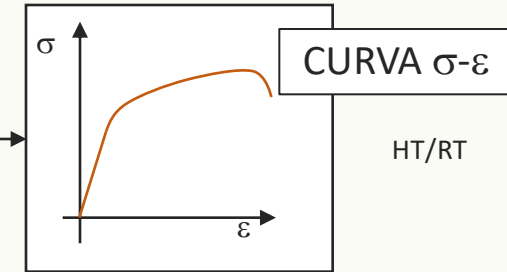


$F_{\max} = 100 \text{ kN}, 250 \text{ kN}, 600 \text{ kN}$

CREEP



$F_{\max} = 50 \text{ kN}, 3 \text{ test rigs}$



LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Resistenza meccanica dinamica a
temperatura ambiente e ad elevata
temperatura

MECHANICAL
PROPERTIES

CYCLIC

HCF

LCF

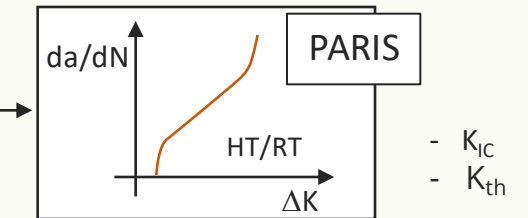
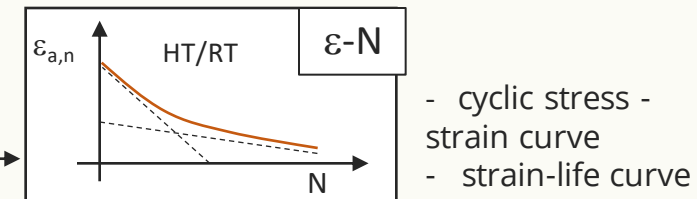
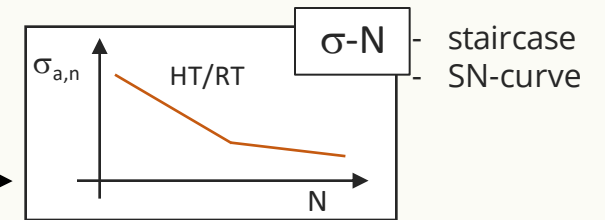
FRACTURE
MECHANICS

Vibrophone

$F_{\max} = 100\text{kN}$, 2 test rigs

Servo hydraulic
systems

$F_{\max} = 100\text{kN}$, 2 test rigs



LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING

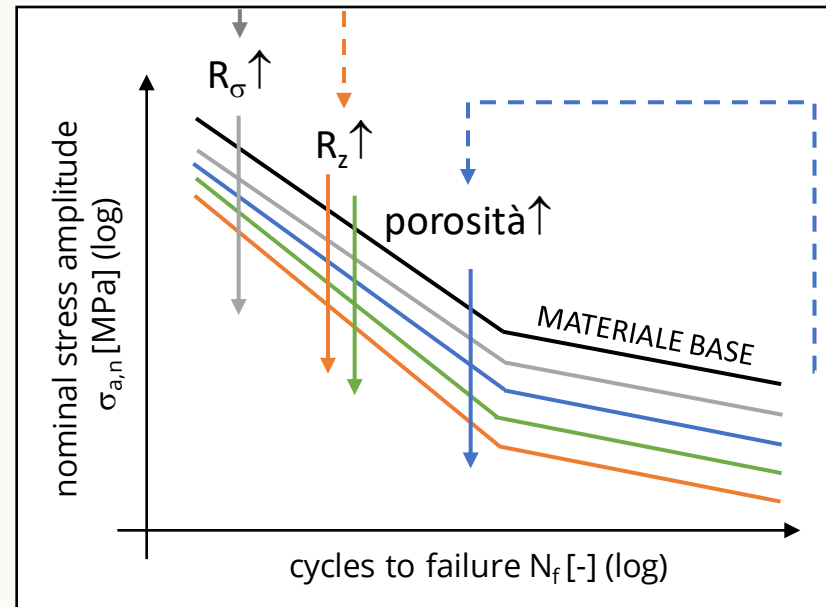
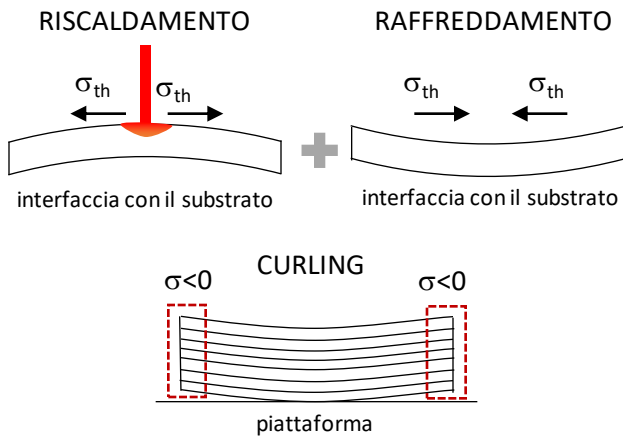
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

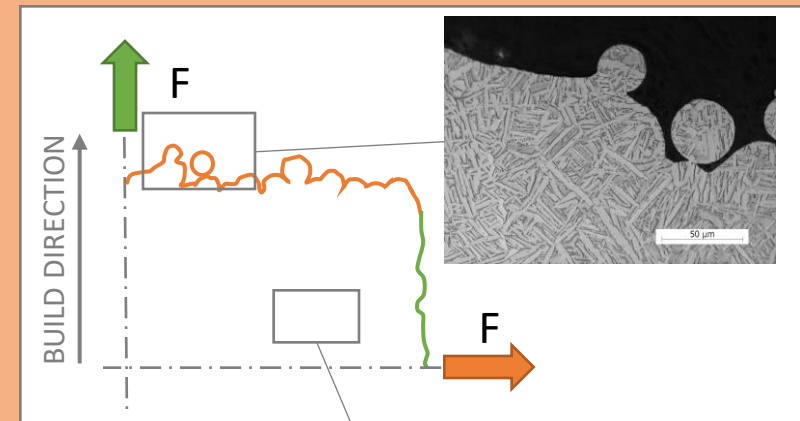
COMPONENTE

Effetti negativi **sulla VITA A FATICA, curve S-N**

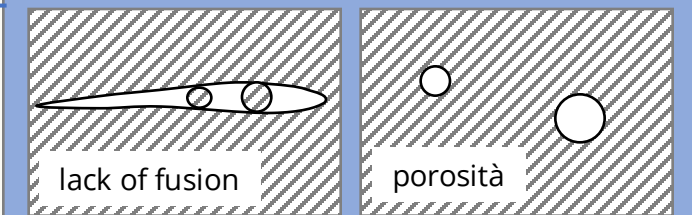
TENSIONI RESIDUE $\rightarrow R_\sigma$



DIFETTI SUPERFICIALI $\rightarrow R_z$



DIFETTI INTERNI $\rightarrow$ POROSITÀ



Caratterizzazione del materiale: proprietà meccaniche

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



TRAZIONE A TEMPERATURA AMBIENTE TENSILE TEST AT ROOM TEMPERATURE

Test Standard: **UNI EN ISO 6892-1 Rev.2020**

Spec ID	d_0 [mm]	S_0 [mm ²]	L_0 [mm]	R_m [MPa]	$R_{p0.2}$ [MPa]	A_{25} [%]
Tensile DO1	5.01	19.7	25	289	232	6.5
Tensile DO2	5.01	19.7	25	304	240	7.5
Tensile DT 1	5.03	19.9	25	293	235	7.5
Tensile DT2	5.01	19.7	25	301	240	7.0
Tensile DZ1	5.00	19.6	25	293	234	8.0
Tensile DZ2	5.01	19.7	25	296	237	8.0

LEGENDA:

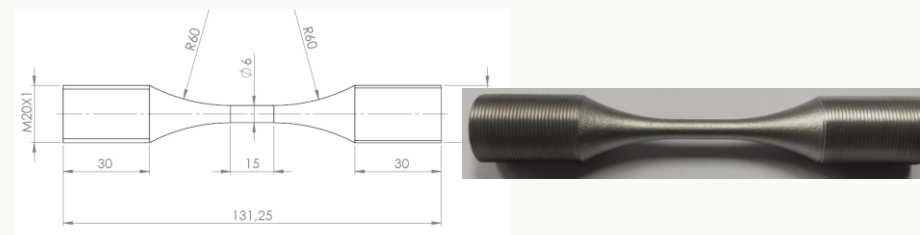
- d_0 : diametro provino / specimen diameter
- S_0 : sezione trasversale / cross-sectional area
- L_0 : tratto utile / gage length
- R_m : carico massimo / ultimate tensile strength
- $R_{p0.2}$: carico di scostamento dalla proporzionalità 0,2% / proof strength, plastic extension 0,2%
- A : allungamento percentuale dopo rottura (estensometro) / percentage elongation after fracture (extensometer)



DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI FATICA (HCF) STAIRCASE FATIGUE LIMIT DETERMINATION

Test Standard: **ASTM E466**

INFORMAZIONI SUL PROVINO	
Tipologia di provino	Spec with tangentially blended fillets between the test section and the end
Tecnologia di produzione	SLM
Stato di finitura superficiale	As Built (disteso)
Lavorazioni meccaniche necessarie	Tornitura delle estremità filettate



Caratterizzazione del materiale: proprietà meccaniche

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

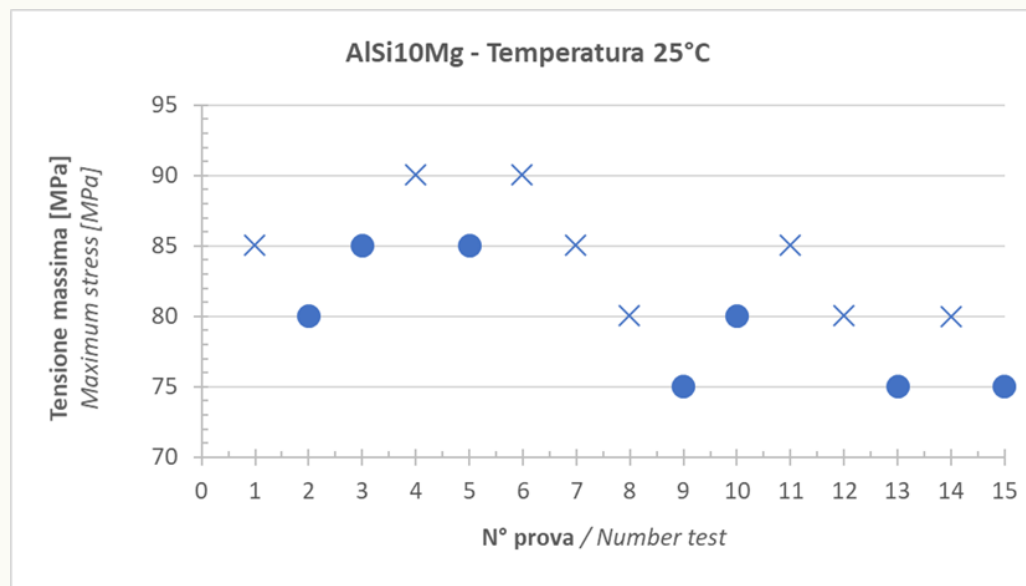
RISULTATI DEL TEST @ 25°C

Spec ID	Tensione massima [MPa]	Tensione minima [MPa]	N° cicli a rottura	Conclusione Test
Fat1	85	-85	920.531	FAILURE
Fat2	80	-80	10^7	RUNOUT
Fat3	85	-85	10^7	RUNOUT
Fat4	90	-90	9.427.354	FAILURE
Fat5	85	-85	10^7	RUNOUT
Fat6	90	-90	2.735.867	FAILURE
Fat7	85	-85	465.936	FAILURE
Fat8	80	-80	1.342.754	FAILURE
Fat9	75	-75	10^7	RUNOUT
Fat10	80	-80	10^7	RUNOUT
Fat11	85	-85	8.128.934	FAILURE
Fat12	80	-80	842.997	FAILURE
Fat13	75	-75	10^7	RUNOUT
Fat14	80	-80	7.576.881	FAILURE
Fat15	75	-75	10^7	RUNOUT



DETERMINAZIONE DEL LIMITE DI FATICA (HCF) STAIRCASE FATIGUE LIMIT DETERMINATION

Test Standard: **ASTM E466**



PARAMETRI DI PROVA

Tipologia di prova	Push-Pull
Rapporto di tensione	R=-1
Frequenza [Hz]	77 Hz
Forma d'onda	Sinusoidale
Cicli runout	10^7
Temperatura di prova	25±1°C
Numero provini testati	15
Metodo di prova	Staircase

Limite di fatica

Determinazione del limite a fatica	Valore calcolato (MPa)
$\sigma_L = \sigma_0 + \Delta\sigma \left(\frac{A}{n} \pm 0.5 \right)$	81,8
Incertezza media associata	Valore calcolato (MPa)
$Err(\sigma_L) = \frac{DEVstd(\sigma_L)}{\sqrt{N_0}}$	± 1,5

LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Tenacità

Tensioni residue
superficiali

Dilatazione termica

Durezza Vickers, Brinnell,
Rockwell

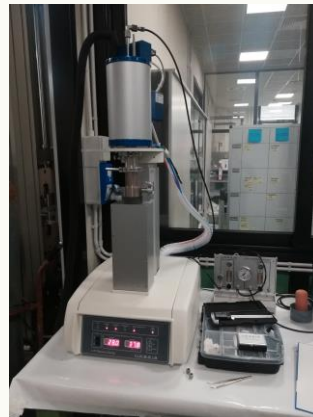
Analisi macro-micrografiche



Impact tests
450J



X Ray diffrattometry



Dilatometer
-150°C a 1000°C



Hardness area



Metallographic examination

Caratterizzazione del materiale: proprietà metallurgiche

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



DETERMINAZIONE DELLA DENSITÀ PER VIA MICROGRAFICA (STIMA DEL CONTENUTO DI VUOTI)

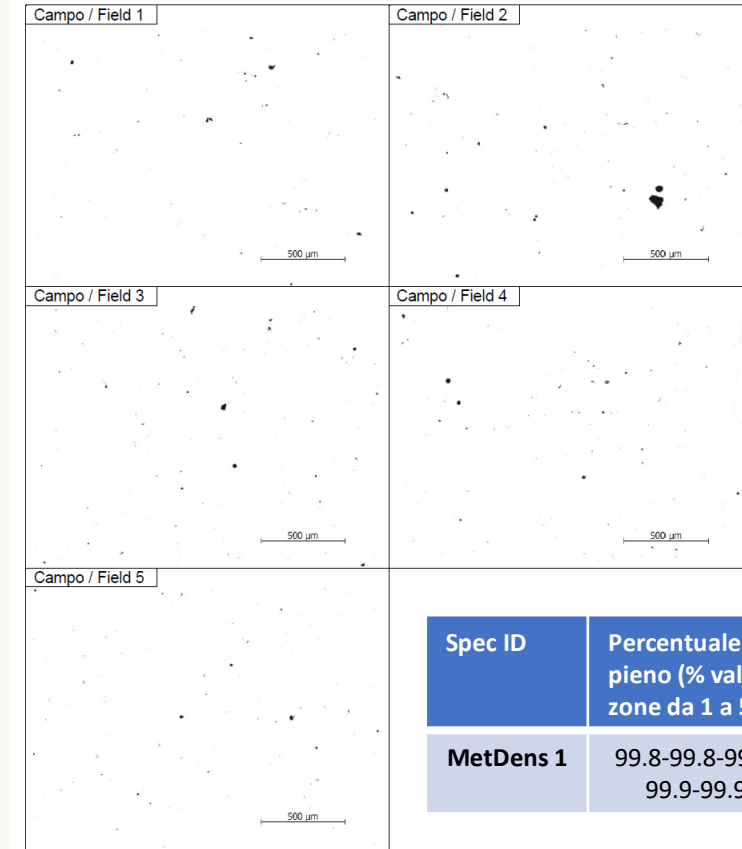
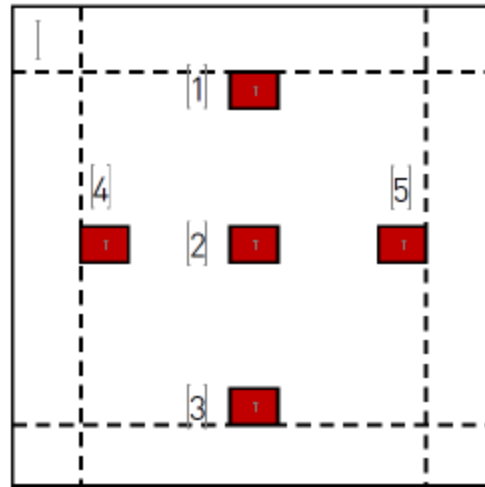
Test Method: **VDI 3405-2**

La stima del contenuto di vuoti è stata effettuata mediante osservazione di n°5 campioni a 50X di ingrandimento, scelti al fine di rendere statisticamente rilevante, confrontabile e riproducibile l'analisi.

Di ciascun campo analizzato (la cui dimensione è di circa 1,5mm x 2,0mm) è stata valutata la percentuale di vuoti.

L'analisi è stata effettuata su provini ottenuti da una sezione trasversale (piano XY) dei campioni in oggetto, montati in resina ed opportunamente lucidati.

La percentuale dei vuoti è stata stimata mediante osservazione delle sezioni lucidate impiegando un software di analisi di immagine e sfruttando il massimo contrasto tra metallo (tonalità chiara) e vuoti (tonalità scura).



Spec ID	Percentuale pieno (% valori zone da 1 a 5)	Percentuale pieno (% valore medio)
MetDens 1	99.8-99.8-99.9-99.9-99.9	99.8%

Caratterizzazione del materiale: proprietà metallurgiche

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



ESAME MICROGRAFICO MICROGRAPHIC EXAMINATION

Test Standard: **ASTM E3 Rev.11**
ASTM E407 Rev.07

La stima del contenuto di vuoti è stata effettuata mediante osservazione di n°5 campioni a 50X di ingrandimento, scelti al fine di rendere statisticamente rilevante, confrontabile e riproducibile l'analisi.

Di ciascun campo analizzato (la cui dimensione è di circa 1,5mm x 2,0mm) è stata valutata la percentuale di vuoti.

L'esame micrografico viene effettuato su provini metallografici ottenuti dal sezionamento lungo l'asse Z.

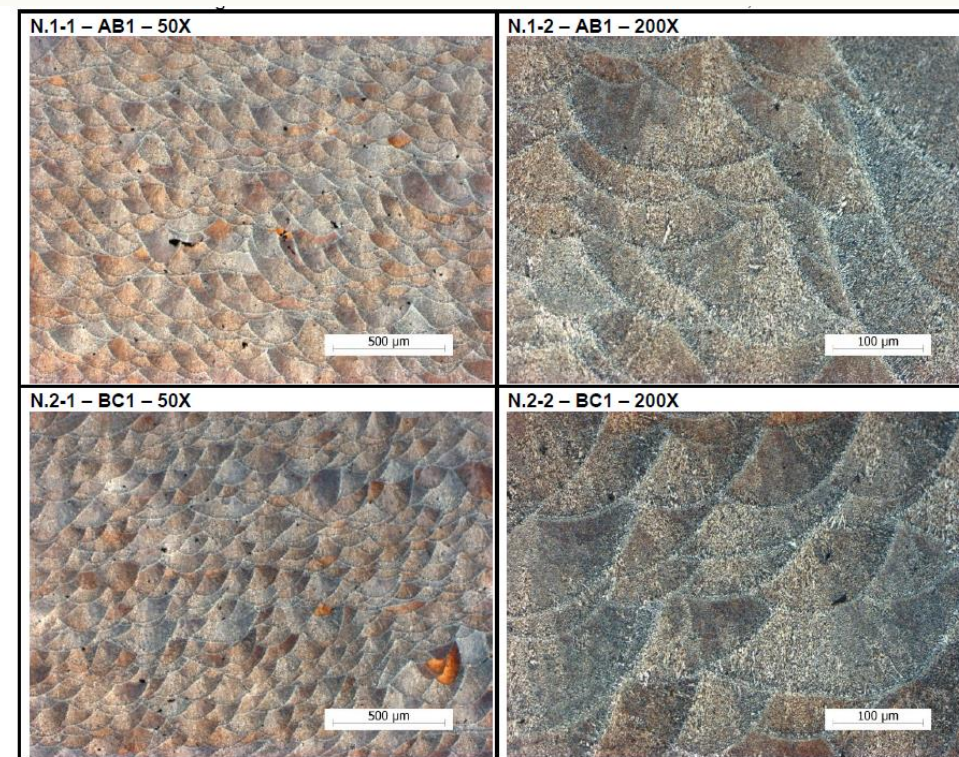
Le evidenze micrografiche rilevate sono qualitativamente le medesime per ciascuno dei due campioni esaminati.

In particolare, si evidenzia un'organizzazione strutturale a pozze di fusione, come tipicamente avviene per componenti ottenuti mediante manifattura additiva.

A livello microstrutturale, le pozze di fusione sono costituite da una microstruttura molto fine, data dalla solidificazione di una matrice metallica data da un alluminio alfa e particelle finissime di fase eutettica (silicio eutettico).

Le uniche differenze che emergono riguardano la morfologia delle pozze di fusione stesse, che dipende dalle strategie e dai parametri di stampa adottati.

Orientazione	Posizione prelievo	Etching metallografico
Direzione accr. Z	A cuore	HF0.5%



LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

Tensioni residue
superficiali

Controllo
Radiografico

Controllo
Dimensionale

Rugosità

Test engineering
Prove Ambientali-Funzionali



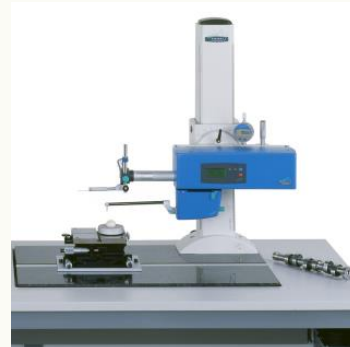
X Ray diffrattometry



RT examination



Dimensional control



Roughness



LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

- 8 Modular Testing Benches for customized setups
- more than 20 modular pneumatic and electromechanical actuators (from 50N up to 30kN)
- 4 systems for static and dynamic mechanical tests with modular setup capability (from 1kN up to 500kN)

Mechanical and dynamic testing systems

- Test rig for dynamic pressure test (oil) up to 350bar
- Test rig for dynamic pressure test (air) up to 30bar
- Auxiliary equipment for setting up custom flow tests in oil and water
- Auxiliary equipment for set up custom vacuum tests

Thermofluid dynamics tests

From the
laboratory

Material data (metallurgy / chemical-physical analysis / mechanical tests)

**TEST
ENGINEERING**

Geometry - Inspection (NDT Techniques/Tomography/Metrology)

From the
NDT Dept.

- 4 auxiliary climatic chambers for thermo-fluid-dynamic tests (Temp from -80°C to 180°C - 0.3 and Internal Volume up to 2 cubic meters)
- Thermal Shock Chamber (Temp +70°C/+220°C | -80°C/+100°C)

Environmental testing

- 4 real time acquisition systems for test benches control (possibility to control up to 16 channels in parallel)
- 4 systems for sensors acquisition (strain gauges, thermocouples, accelerometers, position sensors up to 20 channels in parallel)

Control and data acquisition systems

Caratterizzazione del componente: tensioni residue

POLVERE

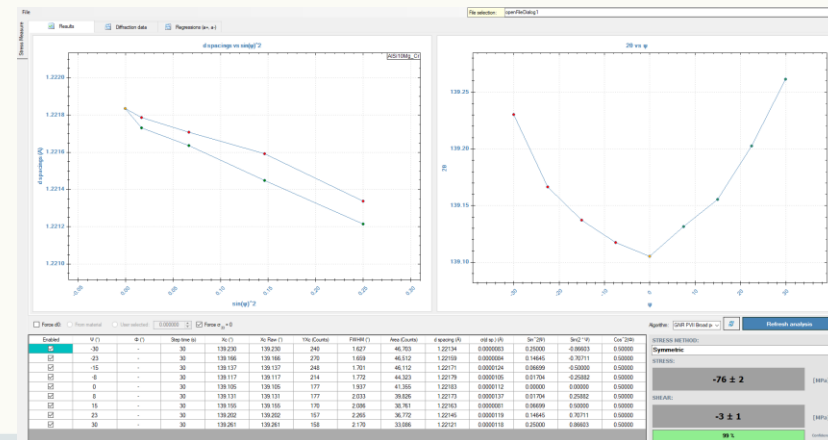
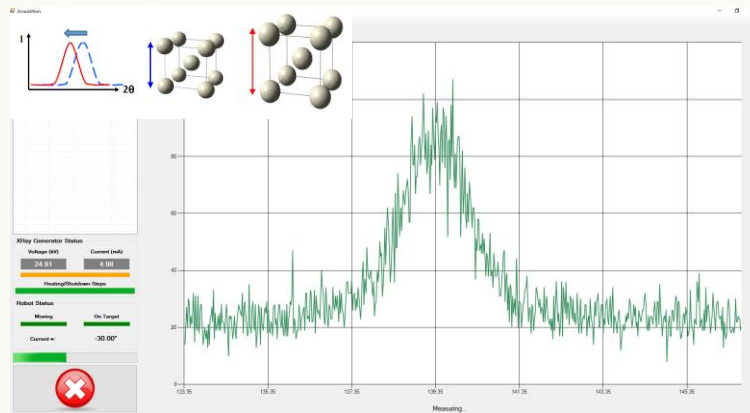
CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



PARAMETRI DI PROVA / TEST PARAMETERS			
Anodo / Filtro Anode / Filter	Cr / V	Tensione di alimentazione Supplied tension	25 kV
Rivelatore Detector	LPSD	Corrente di alimentazione Supplied current	5 mA
Angolo di emissione Emission angle	18°	Angolo di riferimento del detector Detector reference angle	140°
Indici di Miller Miller's index	311	Tipo di misura Measure type	Single axis
Range di analisi Analysis range	-30°/ +30°	Step di analisi Analysis step	7,5°
Tempo di acquisizione Acquisition time	30s	Diametro collimatore Collimator diameter	2 mm

ANALISI TENSIONI RESIDUE / RESIDUAL STRESS ANALYSIS							
BRACKET SUPPORT							
Punto di analisi Point of analysis	1	2	3	4	5	Valore medio [MPa] Average value [MPa]	Deviazione standard Standard deviation
A	-75 ± 1	-77 ± 2	-70 ± 4	-68 ± 2	-69 ± 1	-71,8 ± 2	3,6
HEAT EXCHANGER AIR-OIL							
A	-66 ± 1	-75 ± 2	-76 ± 2	-75 ± 2	-76 ± 1	-73,6 ± 2	5,5
B	-77 ± 2	-72 ± 2	-81 ± 2	-74 ± 2	-76 ± 3	-76,0 ± 2	4,5
COOLING JACKET							
A	-77 ± 2	-63 ± 2	-72 ± 2	-61 ± 3	-76 ± 3	-69,8 ± 2	7,1
B	-74 ± 2	-88 ± 2	-69 ± 3	-69 ± 3	-77 ± 2	-75,4 ± 2	9,8

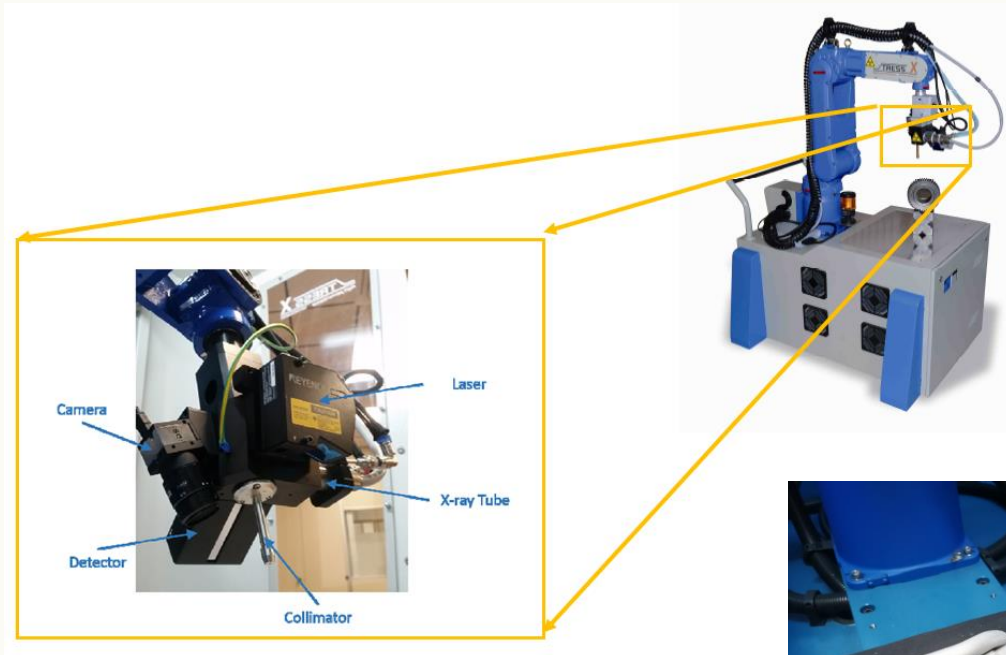


Caratterizzazione del componente: tensioni residue

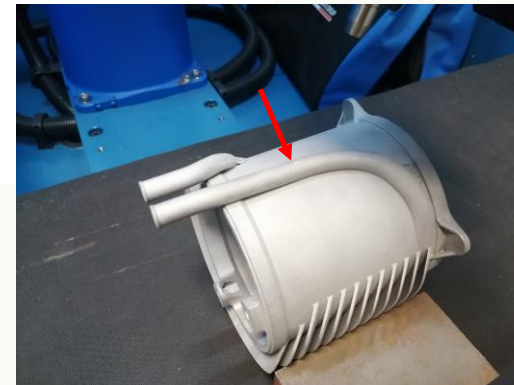
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



TENSIONI RESIDUE SU AS BUILT
(SABBIATO)

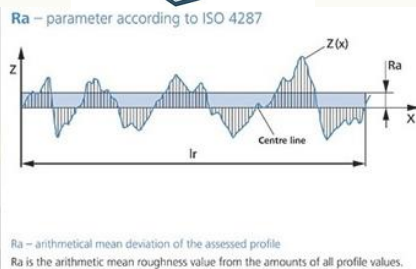
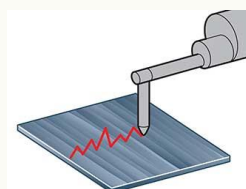
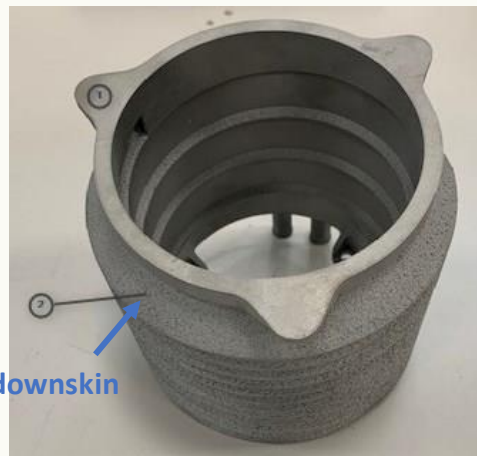


Caratterizzazione del componente: analisi rugosità

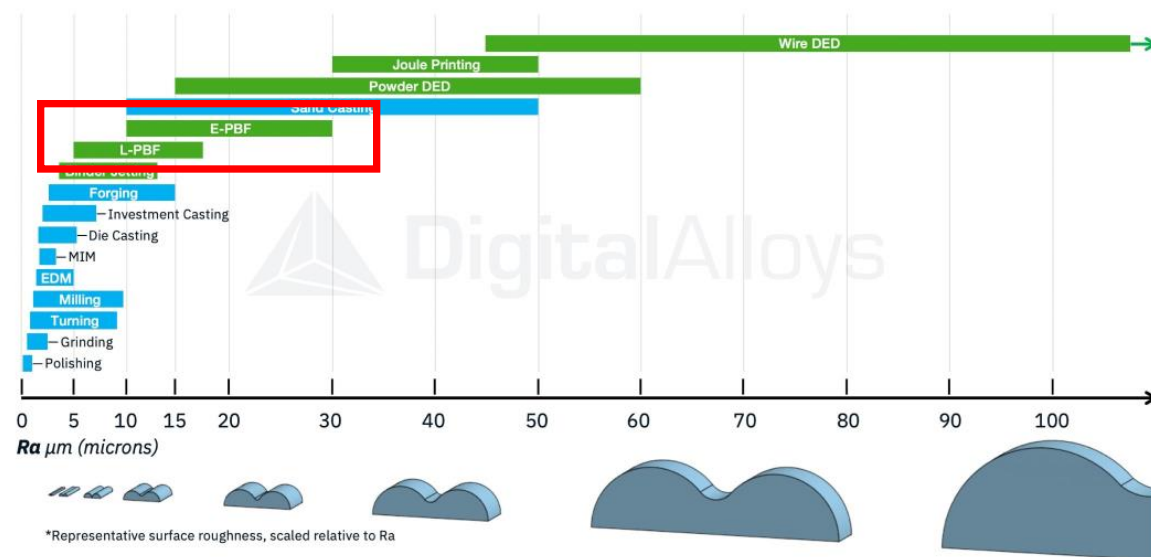
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



Typical Surface Roughness from Metal AM & Conventional Processes



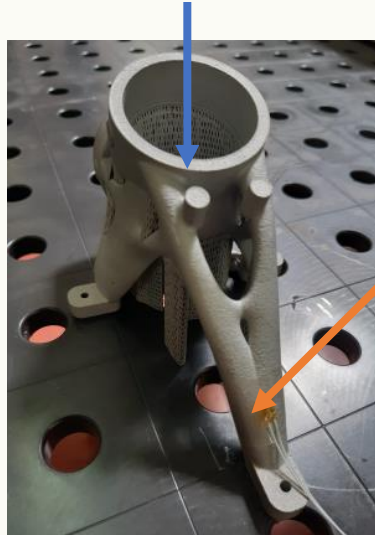
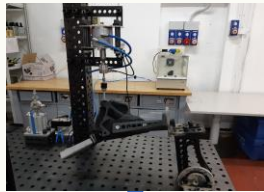
Rugosità	Cooling Jacket				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Ra (μm)	3,5	19	19,22	5,88	4,59
Rz (μm)	19,98	97,44	87,52	35,76	23,85
Rmax (μm)	22,63	164,18	117,26	47,51	28,74

Caratterizzazione del componente: prove funzionali

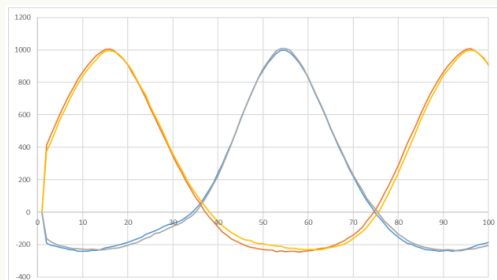
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

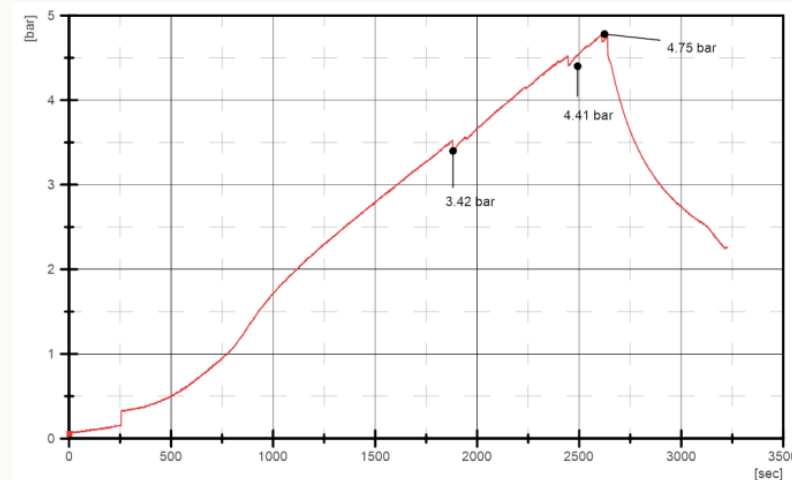
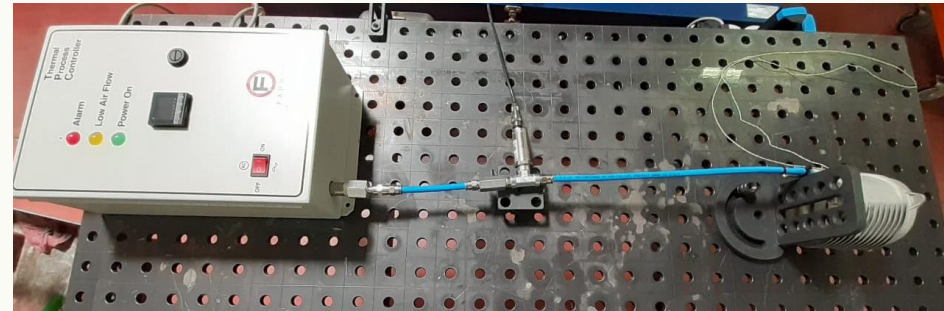
COMPONENTE



CARICAMENTO BIASSIALE A FATICA



BURST PRESSURE TEST @ 65°C



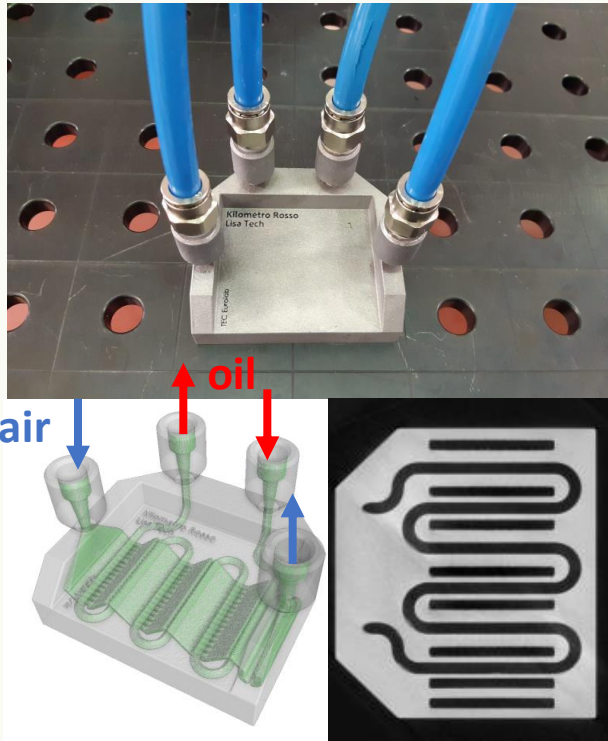
Caratterizzazione del componente: prove funzionali

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

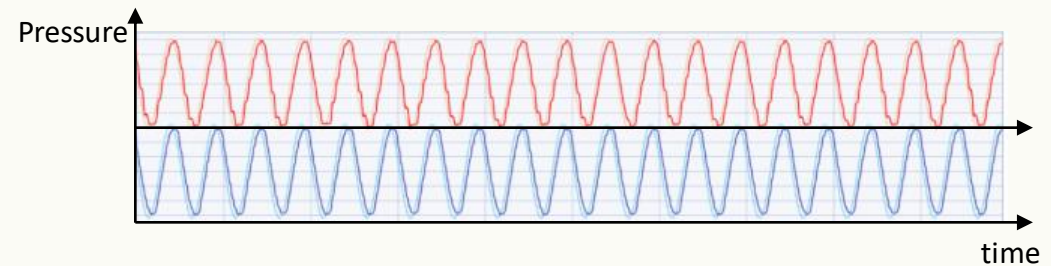
COMPONENTE

PRESSURE CYCLING SU DUE CONDOTTI



PARAMETRI DI PROVA

Tipologia di prova	Pressurizzazione ciclica
Frequenza cicli pressione [Hz]	3 Hz
Cicli setpoint Temperatura di prova	45.000 25±1°C
Ciclo pressione (condotto olio)	1.5 – 15 – 1.5 bar
Ciclo pressione (condotto aria)	P amb – 2.5 bar – P amb



LA QUALITÀ NEL PROCESSO ADDITIVE MANUFACTURING STRUMENTAZIONI

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

2013

NSI X5000 CT SYSTEM

Scan volume: D = 500 mm, H = 1200 mm
Max payload: 90 kg
Max resolution: 5 µm

SOURCE: X-Ray WorX 240	
X-Ray Tube Typology	Open, microfocus
Maximum Voltage	240 kV
Maximum Power	350 W
Focal Spot Size	5 µm
FLAT PANEL DETECTOR: Varian 2520 DX	
Pixel pitch	127 µm
Sensible Surface	250x200 mm
Maximum Acquisition Speed	12.5 fps - 30 binning
Greyscale resolution	16 bit
Scintillator	Cesium



NSI X7500 CT SYSTEM

Scan volume: D = 1500 mm, H = 3000 mm
Max payload: 250 kg
Max resolution: 70 µm

SOURCE: Varian HPX 450-11	
X-Ray Tube Typology	Closed, minifocus
Maximum Voltage	450 kV
Maximum Power	1500 W
Focal Spot Size	0.4 mm
FLAT PANEL: PE XRD 1621 AN14 ES	
Pixel pitch	200 µm
Sensible Surface	400x400 mm
Maximum Acquisition Speed	15 fps - 30 binning
Greyscale resolution	16 bit
Scintillator	DRZ + (Gadox)
LDA: Detection Technology 0.4iHE2-922	
Pixel pitch	400 µm
Length	92 cm
Integration time	30-1550 fps



2016

2019: D7 6 MEV LINAC



Manipulator:	6-Axes granite-based
Variable FDD:	1500 - 4000 mm
Scanning envelope:	D = 1000 mm, H = 2000 mm
Max payload:	200 kg
Max dose rate:	2.5 Gy/min @ 3 MeV, 9.0 Gy/min @ 6 MeV
High resolution Line Detector Array:	length 600 mm, pixel pitch 200 µm
3K Flat Panel Detector 4343 HE:	active area 417 x 417 mm, pixel pitch 139 µm



PERSONNEL EVOLUTION

2013

CT personnel qualified 2nd & 3rd level EN 9712

2019

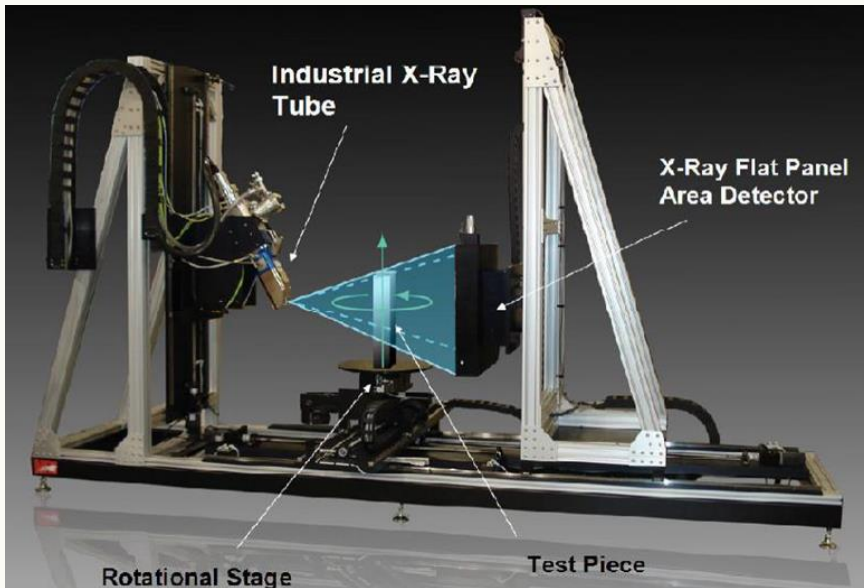
Personnel qualified training 2nd & 3rd level EN 4179

Caratterizzazione del componente: CT scan

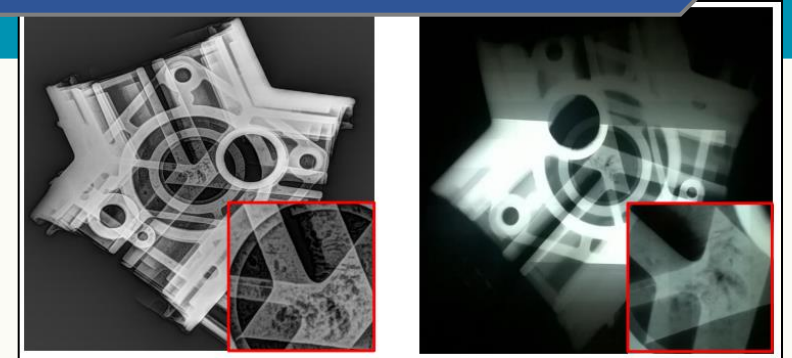
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

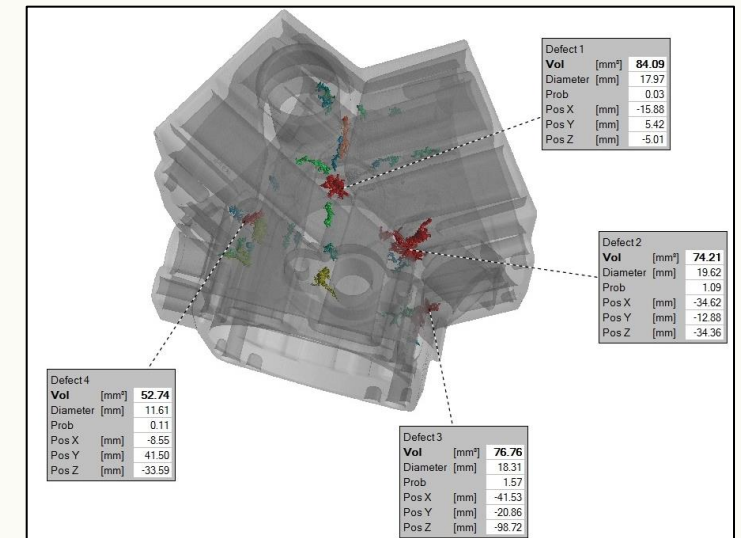
COMPONENTE



From standard Radiography



To CT Scan



Come funziona? Durante una TAC, vengono effettuate proiezioni multiple in modo sistematico: le immagini vengono acquisite da una serie di angoli di osservazione diversi ottenuti con la rotazione del campione.

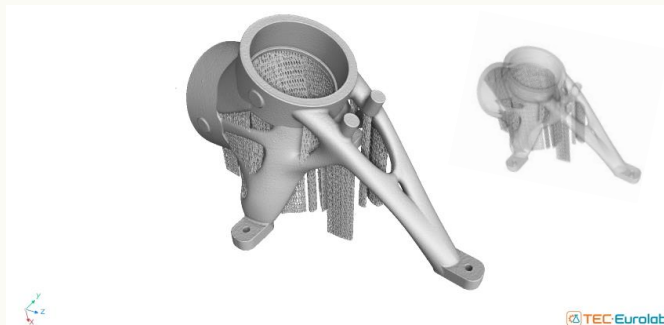
È possibile ottenere immagini radiografiche perché i diversi materiali hanno diversi coefficienti di attenuazione dei raggi X e i coefficienti di attenuazione lineare dei raggi X sono rappresentati come diversi valori di grigio della TC. Da questi valori è possibile ottenere un volume virtuale 3D di un campione tramite algoritmi di ricostruzione.

Caratterizzazione del componente: CT scan

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

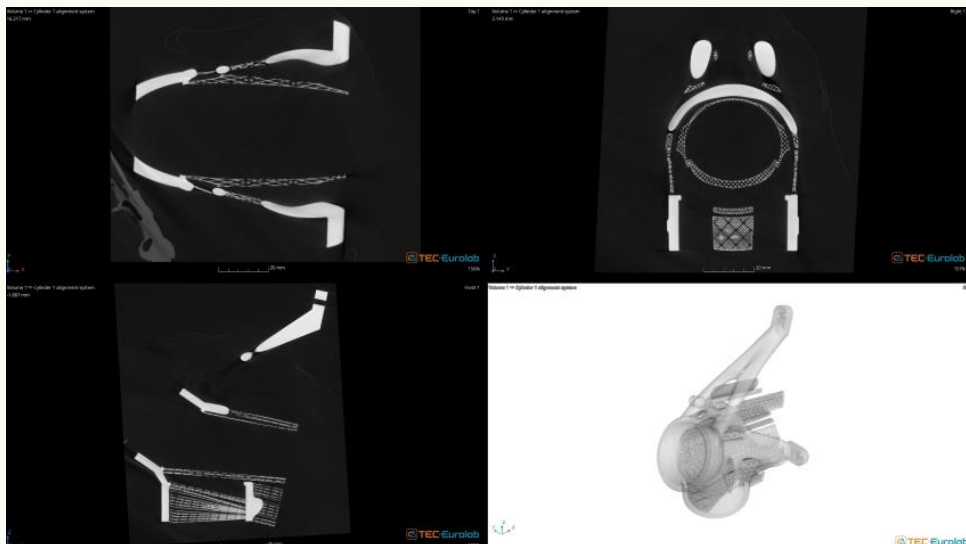
COMPONENTE



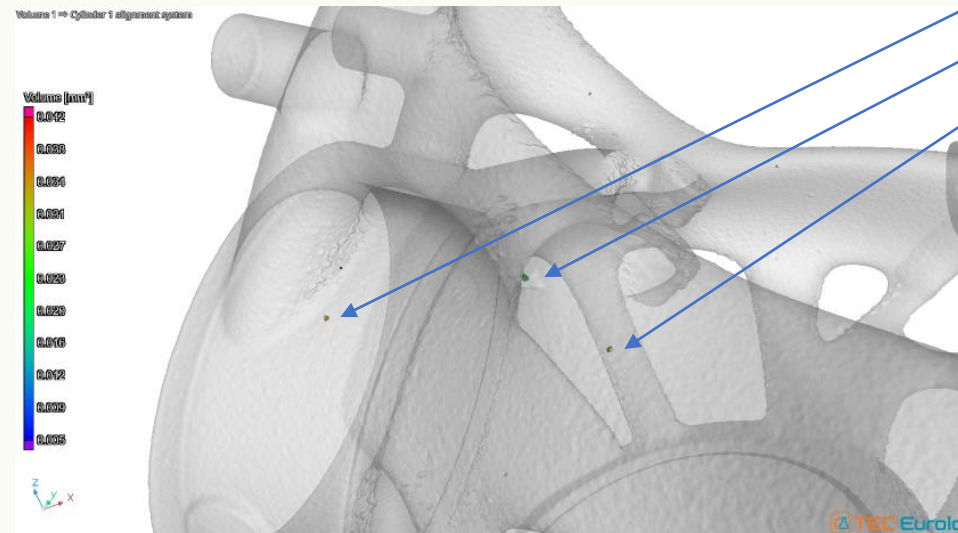
TEC-Eurolab



POROSITY
PRESENCE
EVALUATION



TEC-Eurolab

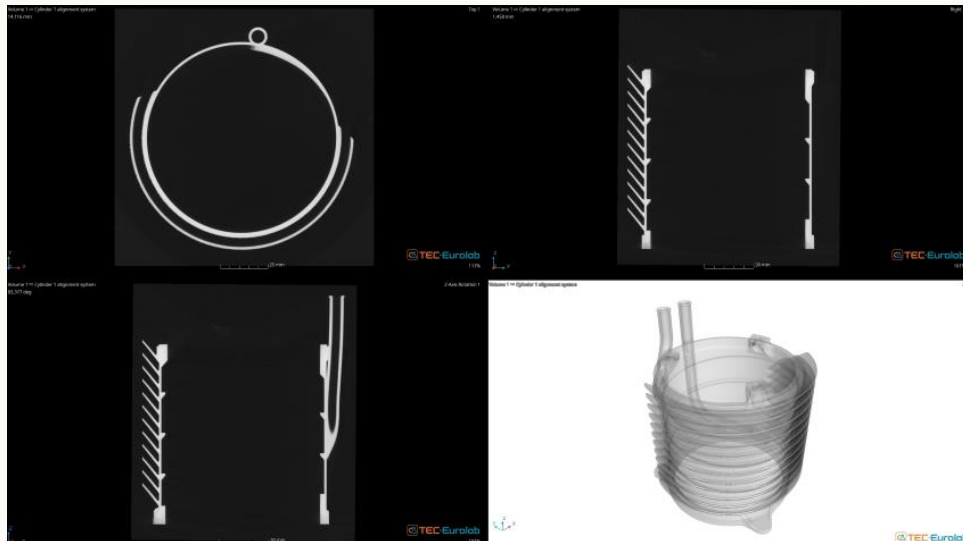
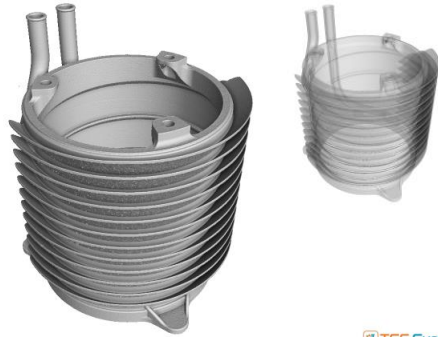


Caratterizzazione del componente: CT scan

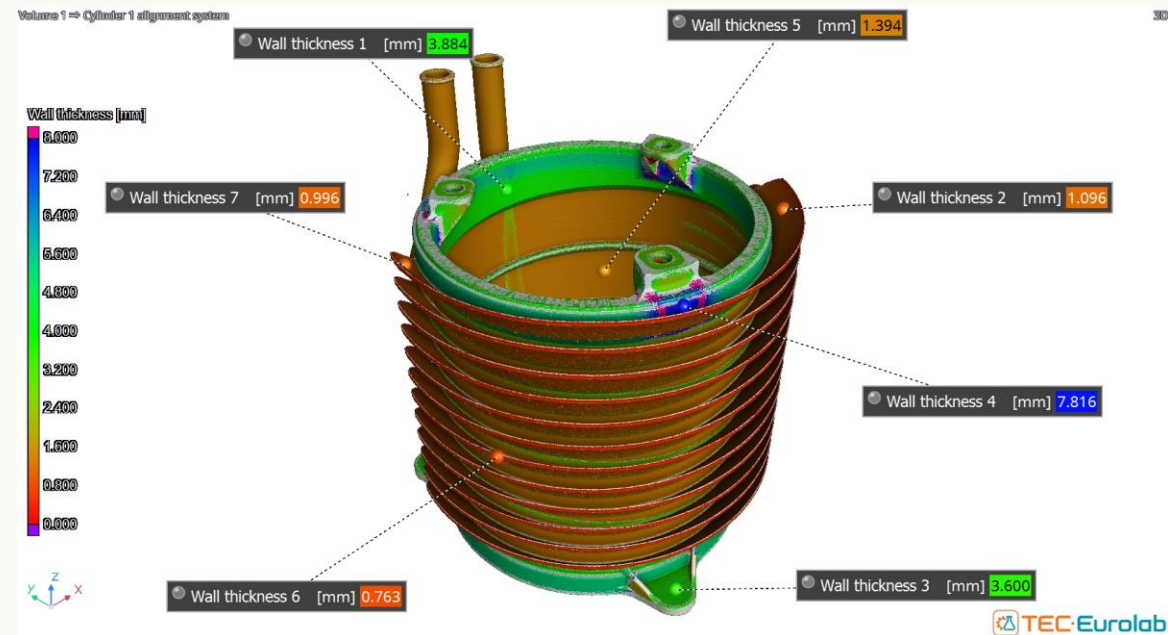
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



WALL THICKNESS ANALYSIS

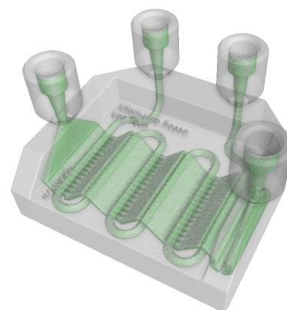
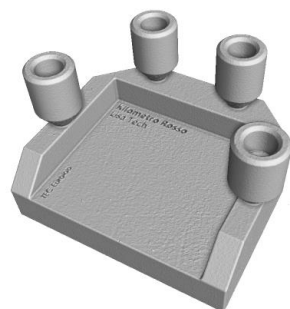
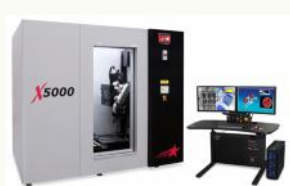


Caratterizzazione del componente: CT scan

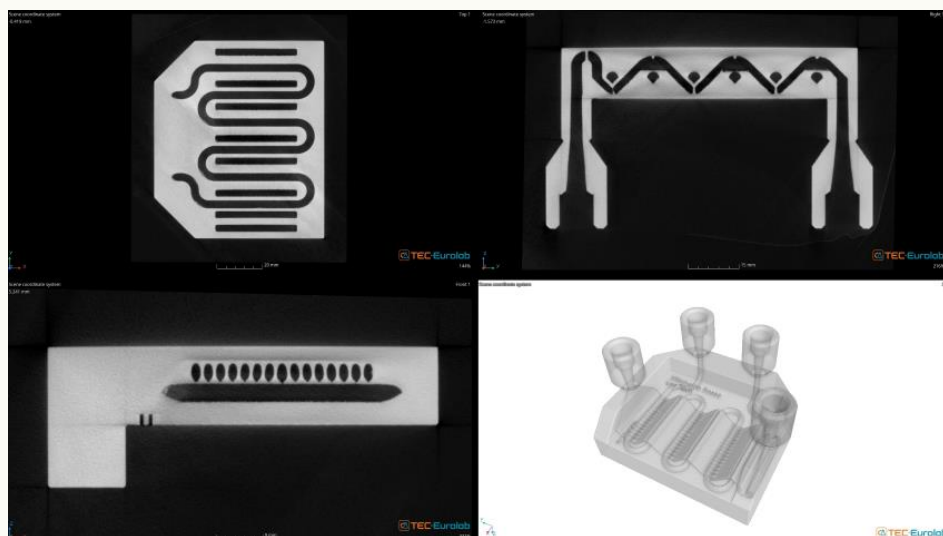
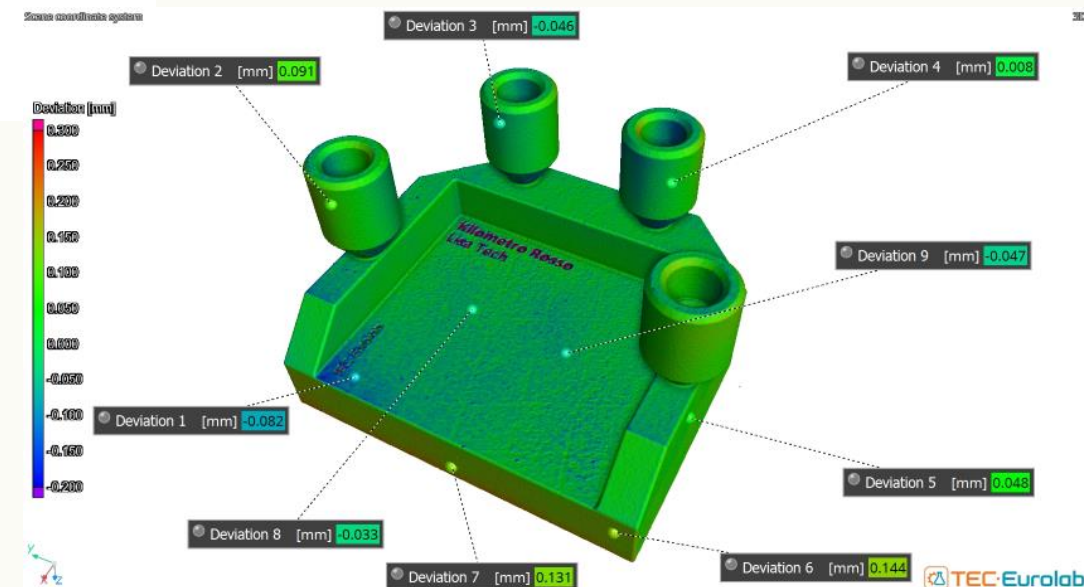
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



CAD COMPARISON ANALYSIS



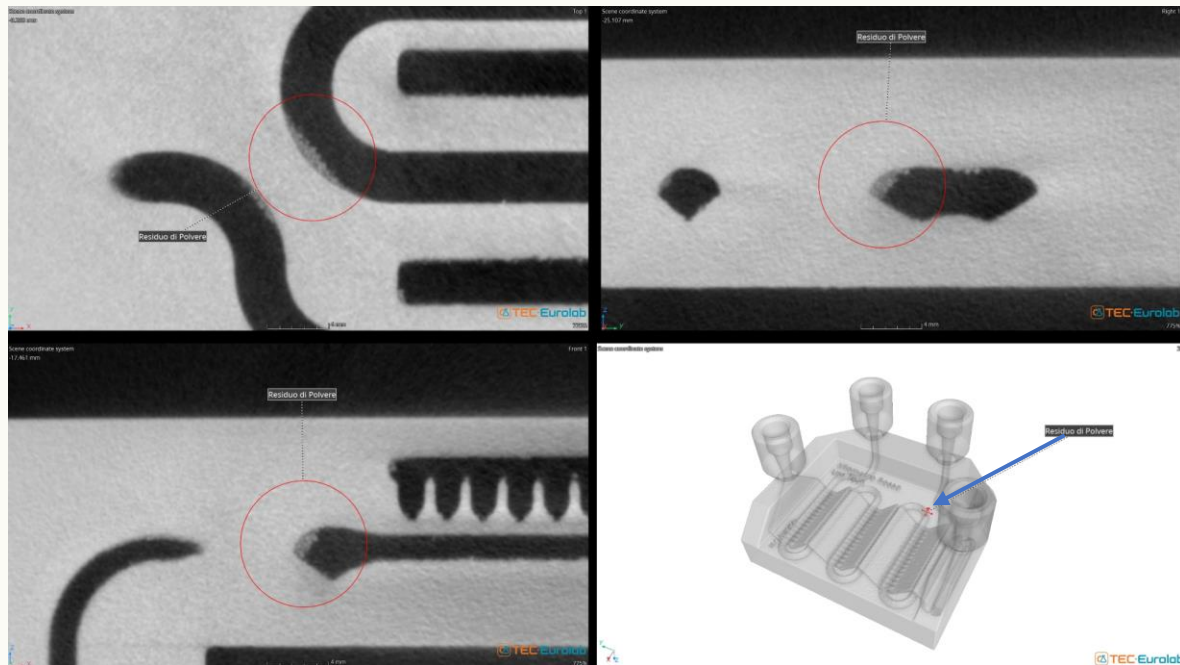
Caratterizzazione del componente: CT scan

POLVERE

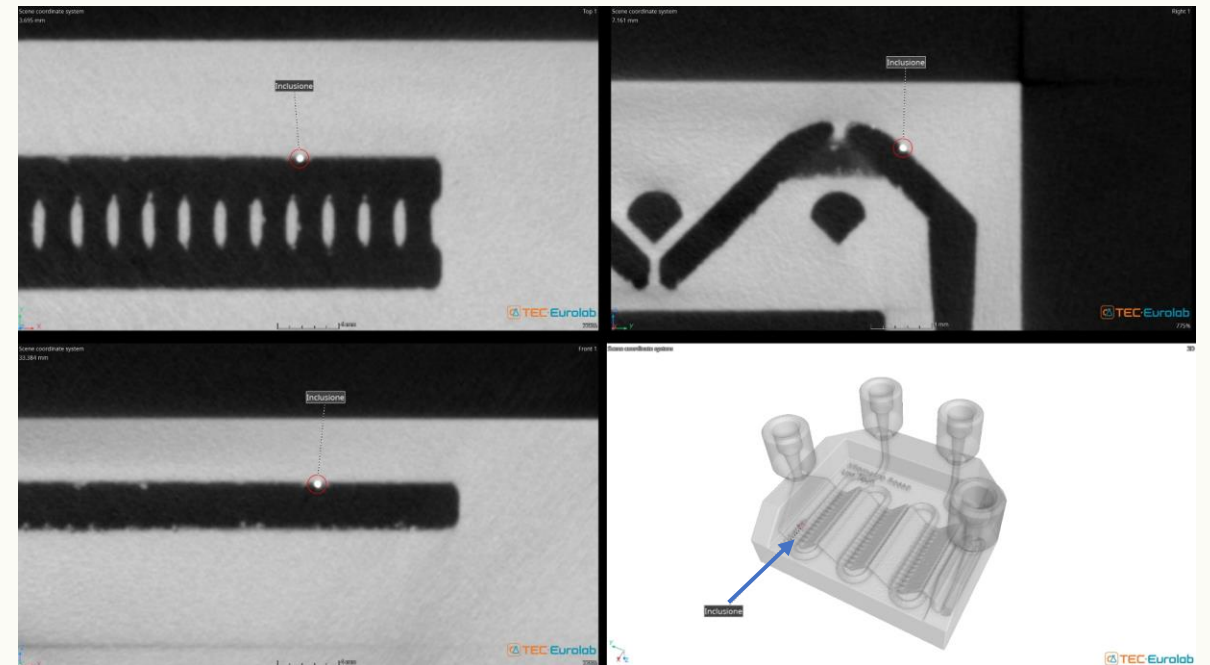
CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

TRAPPED POWDER



INCLUSIONE A DENSITÀ PIÙ ELEVATA

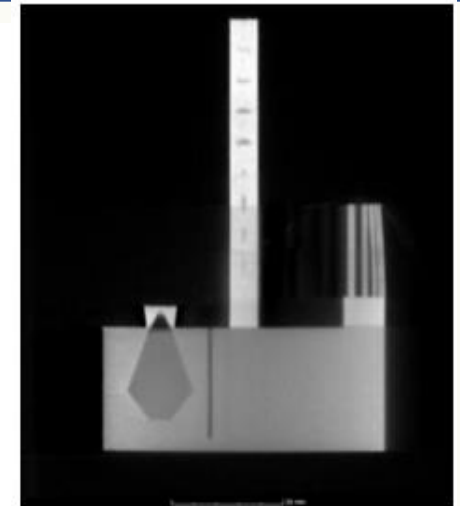
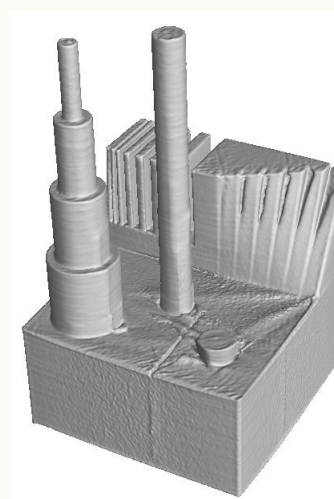
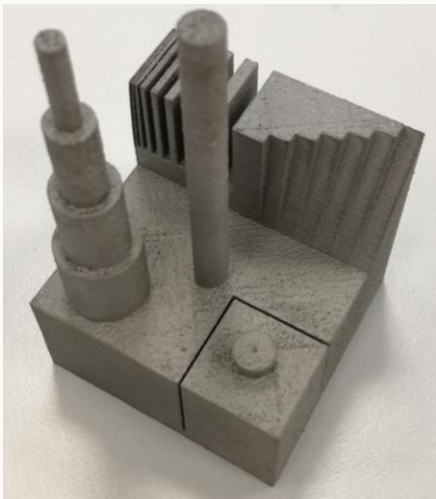


Caratterizzazione del componente: X7500 SYSTEM VS LINAC 1.8MEV – MATERIAL IN718

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



Caratterizzazione del componente: CT scan per repairing

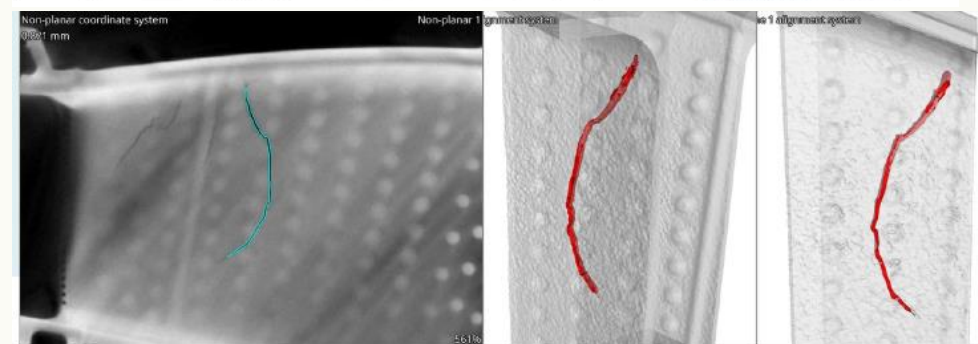
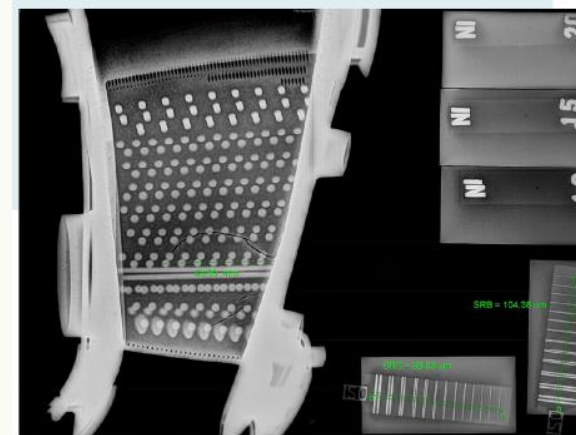
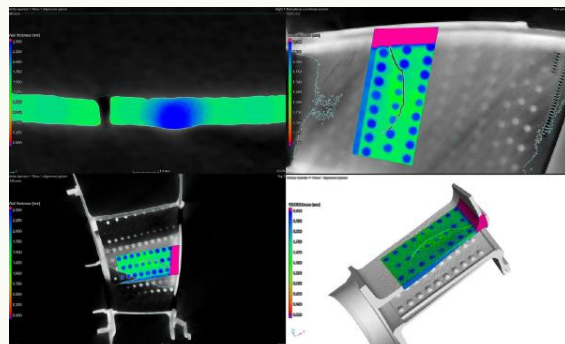
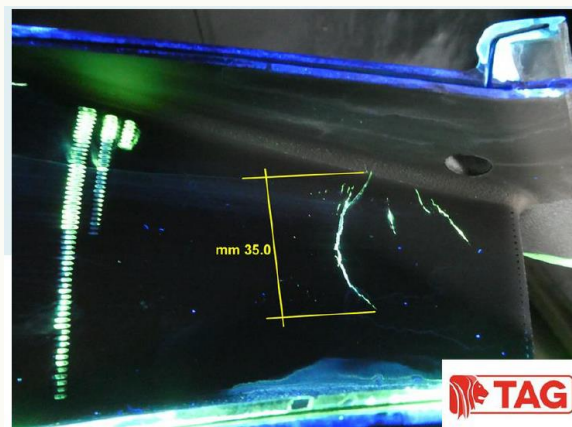
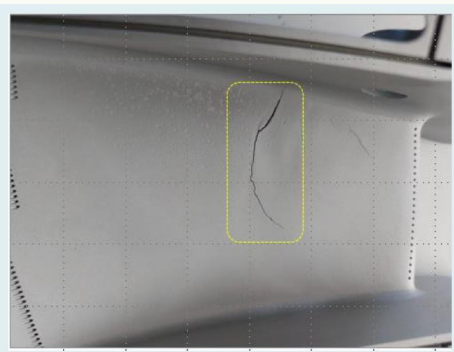
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



CT SCAN - REALIZZATA
CON D7 6 MEV LINAC



In collaboration with



Caratterizzazione del componente: CT scan per repairing

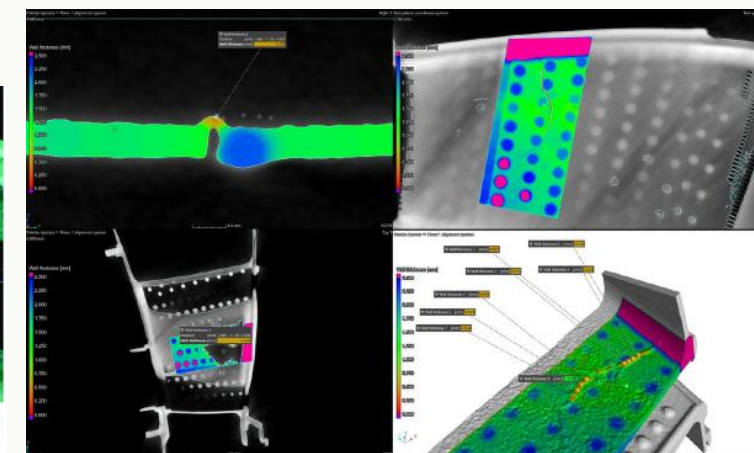
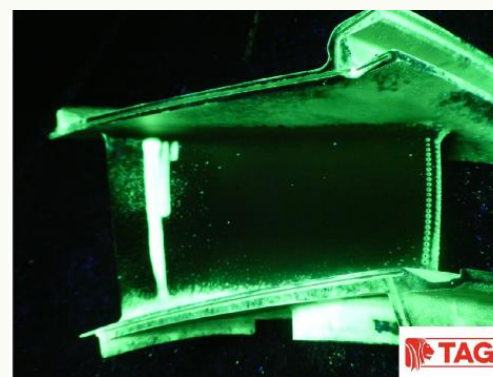
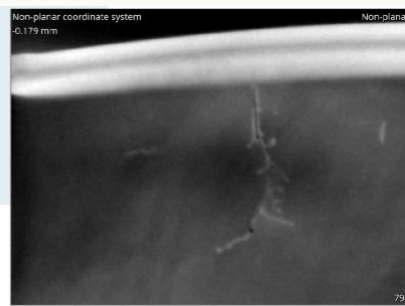
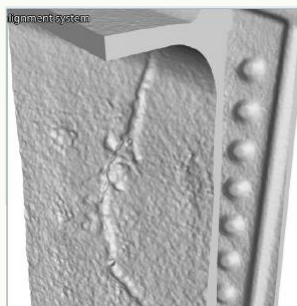
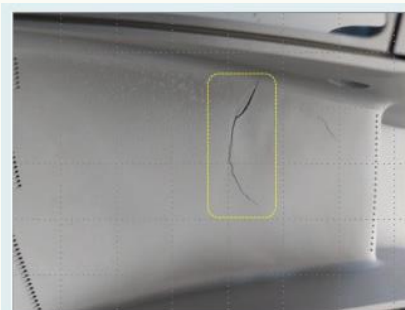
POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



CT SCAN - REALIZZATA
CON D7 6 MEV LINAC



In collaboration with



Caratterizzazione del componente: CT scan – criteri di accettabilità

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE



- **ASTM E 1695: standard test method for Measurements of Computed Tomography (CT) system performance**
- **ASTM E 1441: Guide for Computed Tomography (CT) Imaging**
- **ASTM E 1570: Practice for Computed Tomography (CT) examination**
- **ASTM E 1316: Terminology for Non Destructive Examination**
- Specifiche del cliente
- Assenza di un quadro normativo chiaro e di un metodo di inquadramento, nonché di altri controlli non distruttivi
- Mancano requisiti univoci per la definizione della qualità dell'immagine tomografica, che garantiscano l'esecuzione di un controllo adeguato ai fini delle rilevazioni dimensionali o dei difetti.

I punti chiave per lo sviluppo delle tecniche NDT sono:

- Creare un catalogo dei difetti tipici
- Armonizzare la terminologia
- Stabilire le differenze chimiche e microstrutturali tra i campioni di riferimento e le parti stampate.
- Studiare la relazione difetto-effetto (Quali sono i difetti critici? Come si possono realizzare volontariamente questi difetti sui campioni di riferimento in modo affidabile e controllabile?)

Non sono ancora stati sviluppati metodi NDT specifici per rilevare i difetti tipici della tecnologia PBF-L (LOF, layer, crosslayer e polvere intrappolata).

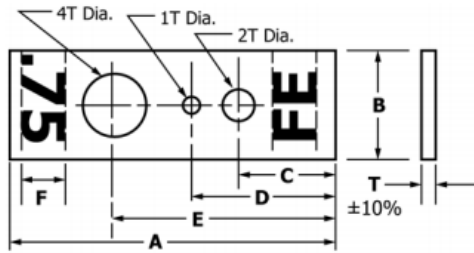
Fino a quando non verrà creato un catalogo accettato e condiviso dei difetti dell'AM e non verranno stabiliti i relativi limiti di rilevamento per i metodi NDT, i criteri di accettabilità rimarranno "specifici per la parte".

Caratterizzazione del componente: CT scan – criteri di accettabilità

POLVERE

CAMPIONE MATERIALE

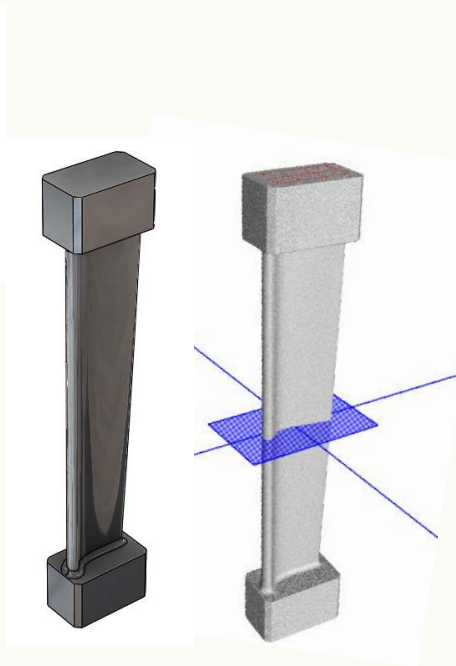
COMPONENTE



ASTM E 1742 - Hole Type IQI

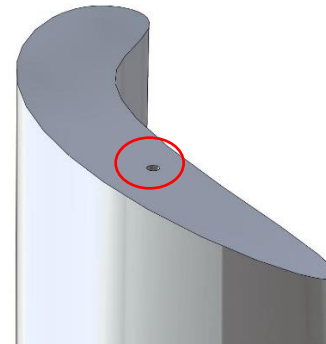
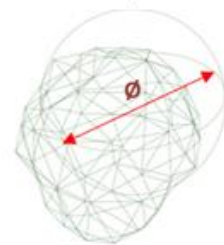


Duplex Wire - Non Film Radiography



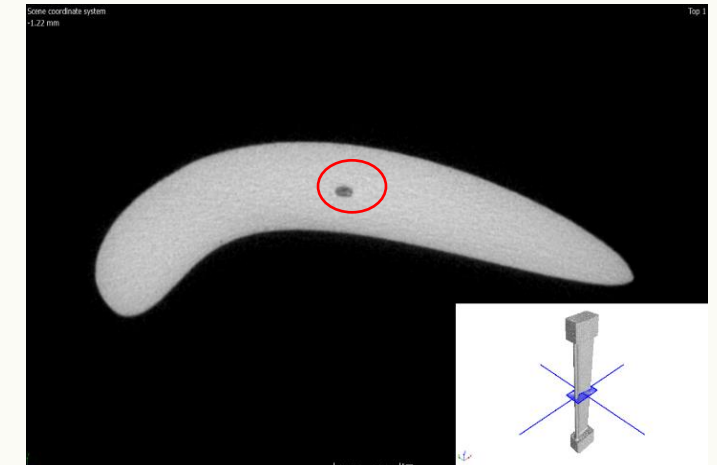
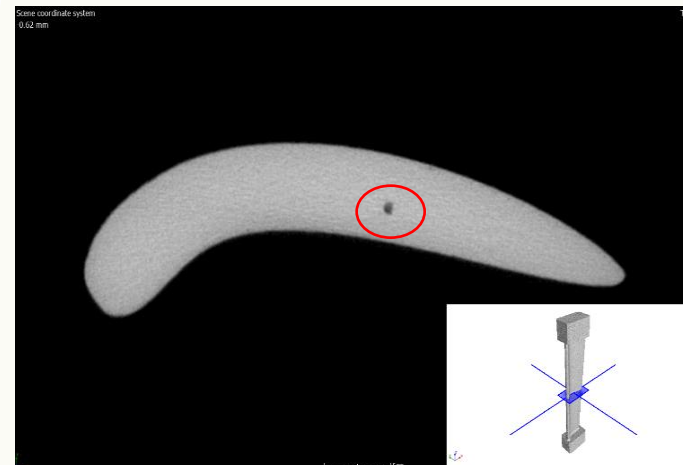
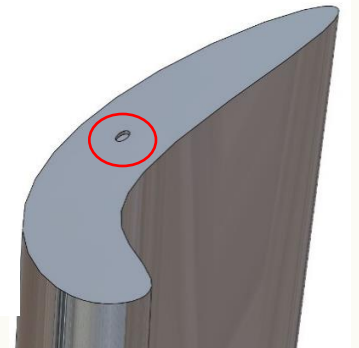
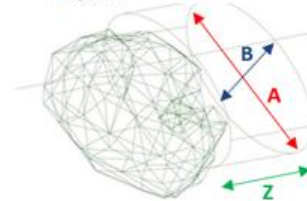
POROSITA' DA GAS (SFERICA)

• $\varnothing 0,8\text{mm}$



POROSITA' ALLUNGATA (rounded)

- Z 0,5mm
- A 1,3mm
- B 1,0mm



Caratterizzazione del componente: CT scan – IN718 RQI

POLVERE

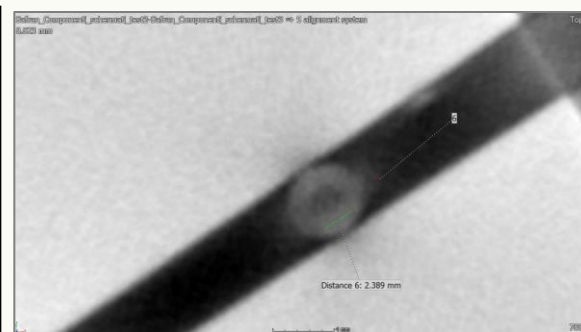
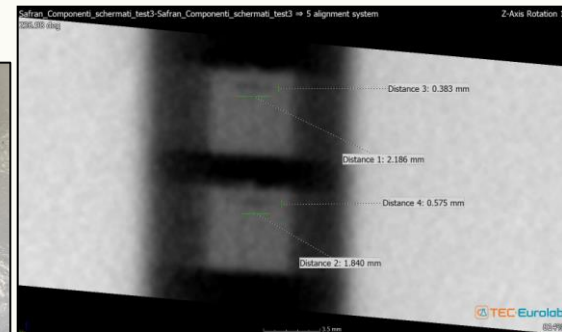
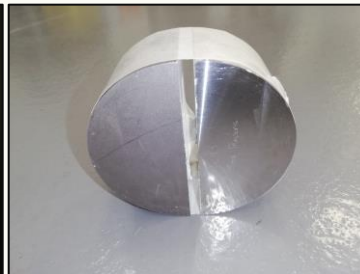
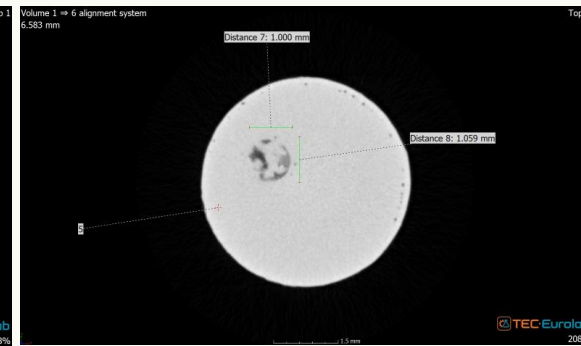
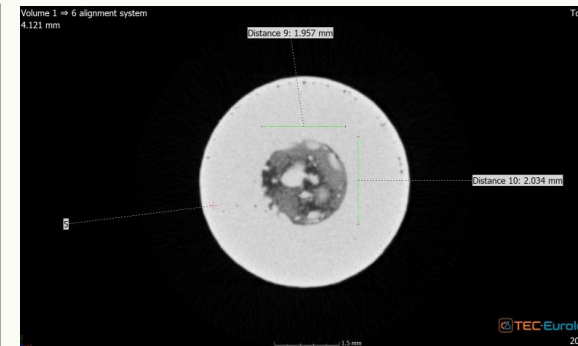
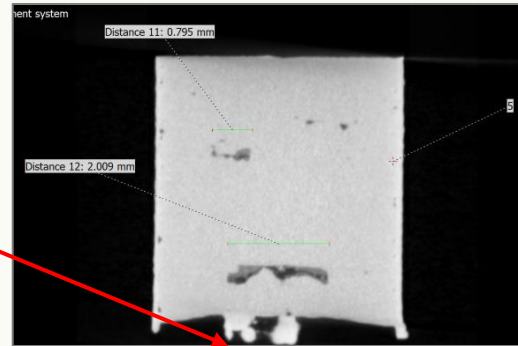
CAMPIONE MATERIALE

COMPONENTE

RQI fabbricato dal Gruppo SAFRAN contenente difetti artificiali (**polvere non fusa**) con diametro e spessore diversi.
Obiettivo dello studio: determinare se, con un sistema ad alta energia, come DIONDO D7 3,5 MeV, dopo la schermatura, i difetti artificiali siano ancora rilevabili



Blocco di schermatura costituito da 80 mm di spessore di Inconel 718 fornito dal Gruppo SAFRAN.
Simulazione dell'attraversamento di un diverso spessore durante l'ispezione mediante CT



Courtesy of



Alcune considerazioni

- Le **tecnologie additive** possono essere considerate **processi produttivi speciali**, pertanto si rende necessaria la **validazione di tutte le fasi del processo** (controllo del feedstock, messa a punto dei parametri di processo, validazione del materiale e delle parti ottenute), operando una accorta selezione delle variabili essenziali e non essenziali, durante la fase iniziale di design e progettazione.
- Le tecnologie additive presentano **grandi possibilità per integrare competenze tecnico-scientifiche afferenti a diversi campi** e possono costituire un valido supporto per aiutare le imprese ad operare una transizione verso un nuovo modo di affrontare le sfide che il mondo produttivo sta affrontando (**VUCA**).
- I processi additivi cominciano ad essere supportati da un **quadro normativo in rapida evoluzione**; ancora molto deve essere fatto, ma già esiste un **terreno comune** sul quale i vari soggetti coinvolti possono confrontarsi.
- Le **attuali tecnologie diagnostiche sono efficacemente utilizzate** per caratterizzare feedstock, materiali e componenti realizzati in AM. Tuttavia, **anche le tecnologie analitiche dovranno evolvere** ad adattarsi all'evoluzione di questa famiglia di tecnologie.
- **I controlli non distruttivi su parti realizzate in AM dovranno adattarsi** progressivamente alle esigenze del mercato additivo; occorre che il mondo scientifico ed industriale **prosegua nell'opera di standardizzazione**, arrivando a **definire modalità comuni per il controllo e la delibera** di parti realizzate in additive.
- **L'intera filiera industriale** coinvolta nell'utilizzo di tecnologie additive (produttori di materiali, costruttori di macchine, utilizzatori di macchinari ed utilizzatori finali, laboratori privati e centri di ricerca accademica, divulgatori scientifici), dovrà **lavorare con maggiore integrazione** per liberare il pieno potenziale di queste tecnologie, evolvendo i tradizionali paradigmi produttivi seguendo una **logica di cooperazione**.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CONTACT



ING. FABRIZIO ROSI
Business developer
rosi@tec-eurolab.com

TEC Eurolab Srl
Viale Europa, 40 | 41011 | CAMPOGALLIANO (MO) | Italy
| +39 059527775 |
www.tec-eurolab.com