



Università di Messina
Dipartimento di Ingegneria



Metodologia e identificazione rapida delle caratteristiche di materiali in Additive Manufacturing

Dario Francesco Santonocito

Davide D'Andrea

*Dipartimento di Ingegneria - Università di Messina
Contrada di Dio, 98166 Messina (Italy)*

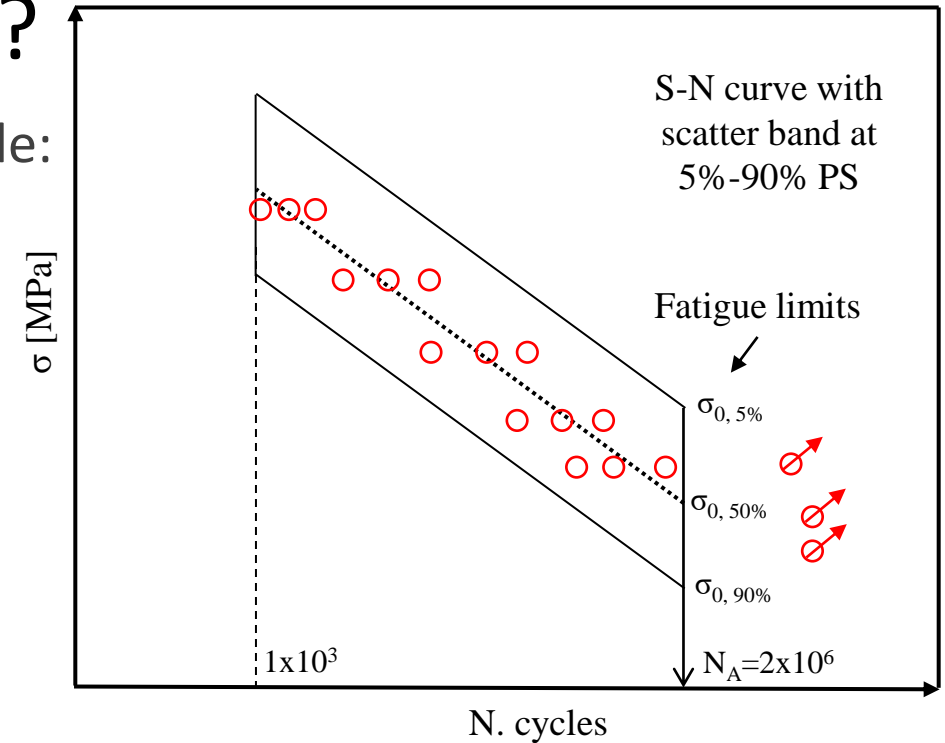
Perché utilizzare i metodi energetici?

Una campagna di test a fatica, secondo gli standard, prevede:

- 5 livelli di stress;
- 5 provini per livello di stress;
- Ogni provino **deve essere portato a rottura** (tra 1'000 e 2'000'000 di cicli)
- Frequenza di test ottimale (10-20 Hz)



Facendo una semplice stima:

- 5 livelli di stress x 5 provini = **25 provini**;
- Vita a fatica media di 1'000'000: 25 provini x 1'000'000 cicli = **25'000'000 cicli**;
- 15 Hz frequenza media di test: 25'000'000 cicli / 15 Hz = **1'666'667 s** -> **27'778 min** -> **463 h !!!!**

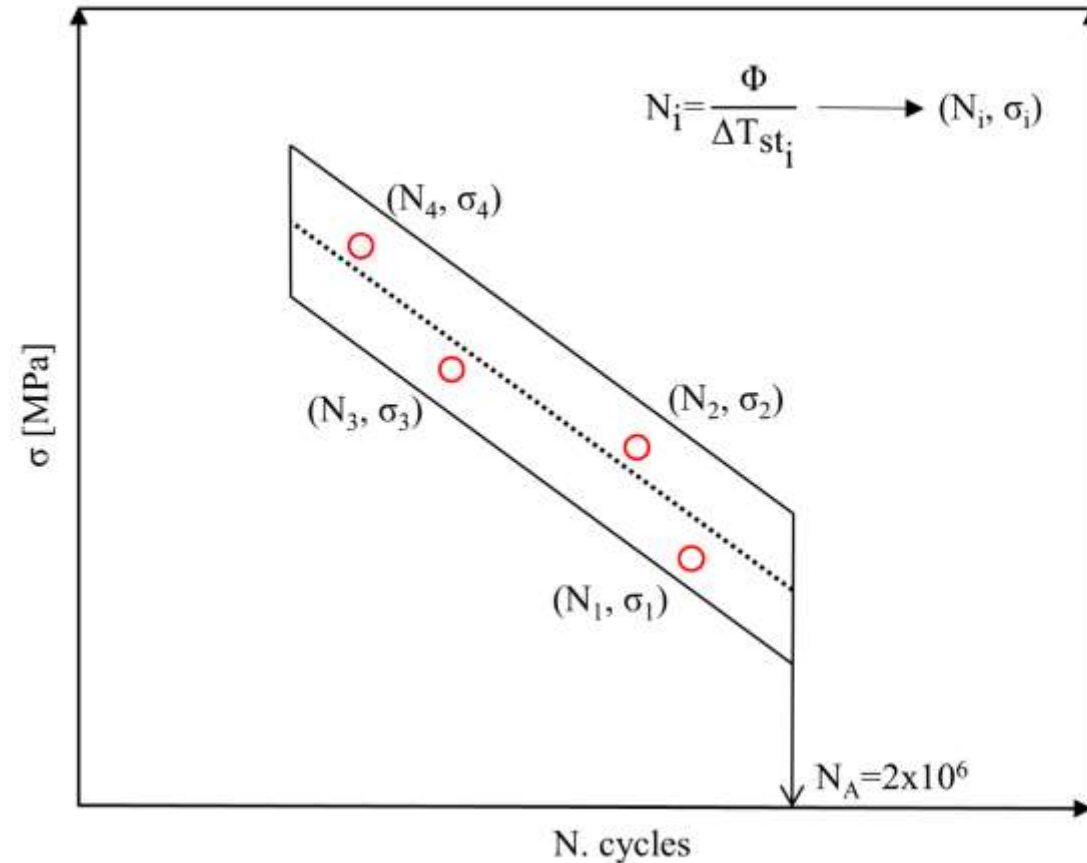


Perché utilizzare i metodi energetici?

Valutazione del **rilascio energetico** durante:

- Test di fatica 
 - **Thermographic Method** (RTM, Risitano's Thermographic Method)
~4-5 h per ottenere la curva S-N del materiale
- Test di trazione statica 
 - **Static Thermographic Method** (STM)
~5 min per ottenere il limite di fatica

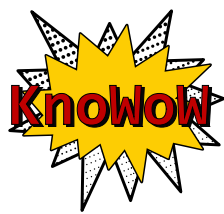
Thermographic Method (TM)



Durante test in regime di High Cycle Fatigue dei più comuni materiali ingegneristici, l'evoluzione della temperatura sulla faccia del provino, rilevata utilizzando una termocamera ad infrarossi, è caratterizzata da tre fasi quando il provino è sottoposto a carichi ciclici sopra il suo limite di fatica:

1. Rapido incremento iniziale (**phase I**),
2. Fase di stabilizzazione (**phase II**),
3. Incremento repentino di temperature fino a rottura (**phase III**).

La Rosa, G., Risitano, A., 2000. Thermographic methodology for rapid determination of the fatigue limit of materials and mechanical components. *International Journal of Fatigue* 22, 65–73. **507 Citations (Scopus)**



Static TM (STM): più di 10 anni di ricerca

1. *Corigliano, P., Cucinotta, F., Guglielmino, E., Risitano, G., Santonocito, D., 2019. Fatigue assessment of a marine structural steel and comparison with Thermographic Method and Static Thermographic Method. FFEMS 1–10. <https://doi.org/10.1111/ffe.13158>*
2. *Ricotta, M.; Meneghetti, G.; Atzori, B.; Risitano, G.; Risitano, A. Comparison of Experimental Thermal Methods for the Fatigue Limit Evaluation of a Stainless Steel. Metals 2019, 9, 677.*
3. *G. Risitano, E. Guglielmino, D. Santonocito, Evaluation of mechanical properties of polyethylene for pipes by energy approach during tensile and fatigue tests, Procedia Structural Integrity, Volume 13, 2018, Pages 1663-1669, ISSN 2452-3216.*
4. *Risitano, A., Corallo, D., Guglielmino, E., Risitano, G. and Scappaticci, L. (2016) “Fatigue assessment by energy approach during tensile tests on AISI 304 steel”, Frattura ed Integrità Strutturale, 11(39), pp. Pages 201-215.*
5. *V. Crupi, E. Guglielmino, G. Risitano, F. Tavilla, Experimental analyses of SFRP material under static and fatigue loading by means of thermographic and DIC techniques, Composites Part B: Engineering, Volume 77, 2015, Pages 268-277, ISSN 1359-8368.*
6. *A. Risitano, G. Risitano, Determining Fatigue Limits with Thermal Analysis of Static Traction Tests, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. 36 (2013) 631-639*
7. *C. Clienti, G. Fargione, G. La Rosa, A. Risitano, G. Risitano, A first approach to the analysis of fatigue parameters by thermal variations in static tests on plastics, Engineering Fracture Mechanics, Volume 77, Issue 11, 2010, Pages 2158-2167, ISSN 0013-7944.*
8. *Risitano, A. and Risitano, G., L'importanza del “parametro energetico” temperature per la caratterizzazione dinamica dei materiali, Workshop “Progettazione a Fatica di Giunzioni Saldate (...e non)—Sviluppi teorici e problem applicativi”, March 9-10, 2009, Frat.ed Int. Strutt., 9, 123–124, 2009*

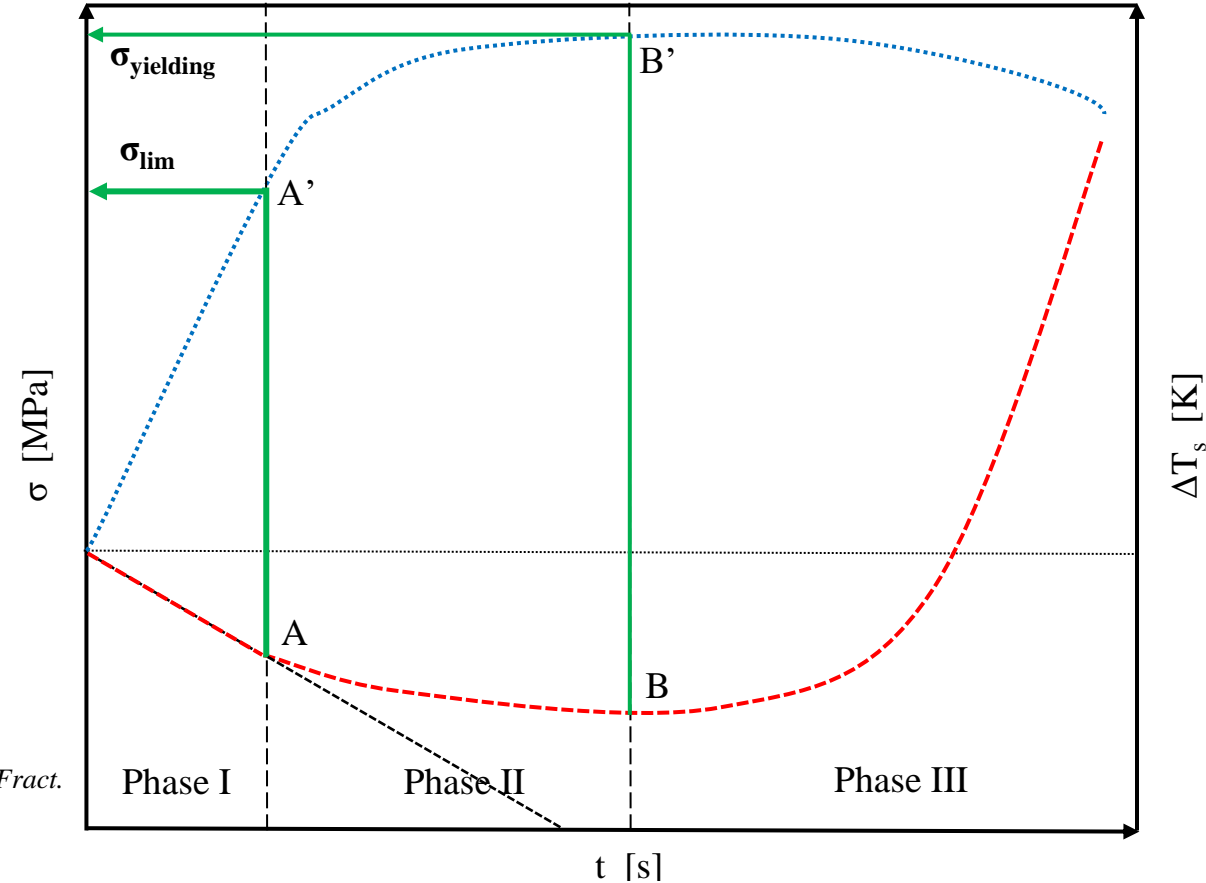
Static Thermographic Method (STM)

Durante i test statici condotti sui più comuni materiali ingegneristici l'evoluzione della temperatura sulla superficie del provino, rilevata con la termocamera ad infrarossi, è caratterizzata da tre fasi:

1. Decremento iniziale con andamento approssimativamente lineare (**Fase I**);
2. La temperature devia dalla linearità fino a raggiungere un minimo (**Fase II**);
3. Rapido incremento di temperature fino alla rottura del materiale (**Phase III**).

A. Risitano, G. Risitano, *Determining Fatigue Limits with Thermal Analysis of Static Traction Tests*, *Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct.* 36 (2013) 631-639

Santonocito, D. *Evaluation of fatigue properties of 3D-printed Polyamide-12 by means of energy approach during tensile tests*. *Procedia Struct. Integr.* 2020, 25, 355-363, doi:10.1016/j.prostr.2020.04.040.

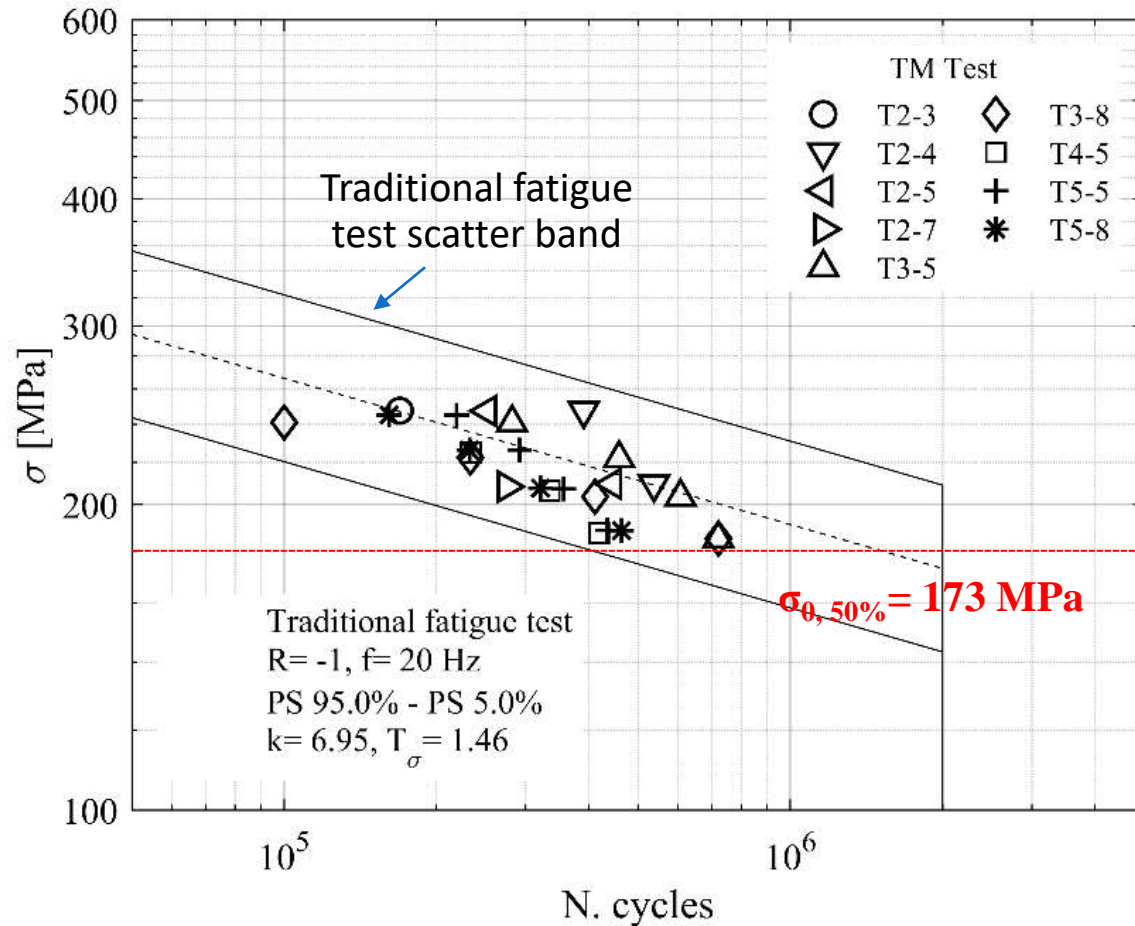


$$\Delta T_s = -\frac{\alpha}{\rho \cdot c} T_0 \cdot \sigma_1 = -K_m T_0 \cdot \sigma_1$$

Applicazione dei Metodi Energetici a...

	Material	Thermographic Method (TM)	Static Thermographic Method (STM)	Traditional fatigue test
ACCIAI	Structural steel(S355)	X	X	X
	Medium carbon steel (C45)	X	X	
	Notched medium carbon steel (AISI1035)	X	X	
PLASTICHE/COMPOSITI	High Strength Concrete		X	
	HD Polyethylene (PE100)	X	X	X
	PA66GF35		X	
MATERIALI x AM	Polyamide 12 (PA12 - AM)		X	X
	Stainless Steel (AISI 316L – AM)	X		X

Applicazione su acciai strutturali



$\sigma_{\text{lim STM}} = 181.2 \text{ MPa}$
 $\sigma_{0, \text{TM}} = 179.8 \text{ MPa}$

Comparison:

- TM $\sigma_{0, \text{TM}} = 179.8 \text{ MPa}$
- STM $\sigma_{\text{lim STM}} = 181.2 \text{ MPa}$
- CA Fatigue test $\sigma_{0, 50\%} = 173 \text{ MPa}$



Corigliano, P, Cucinotta, F, Guglielmino, E, Risitano, G, Santonocito, D. Fatigue assessment of a marine structural steel and comparison with thermographic method and static thermographic method. *Fatigue Fract Eng Mater Struct.* 2020; 43: 734– 743

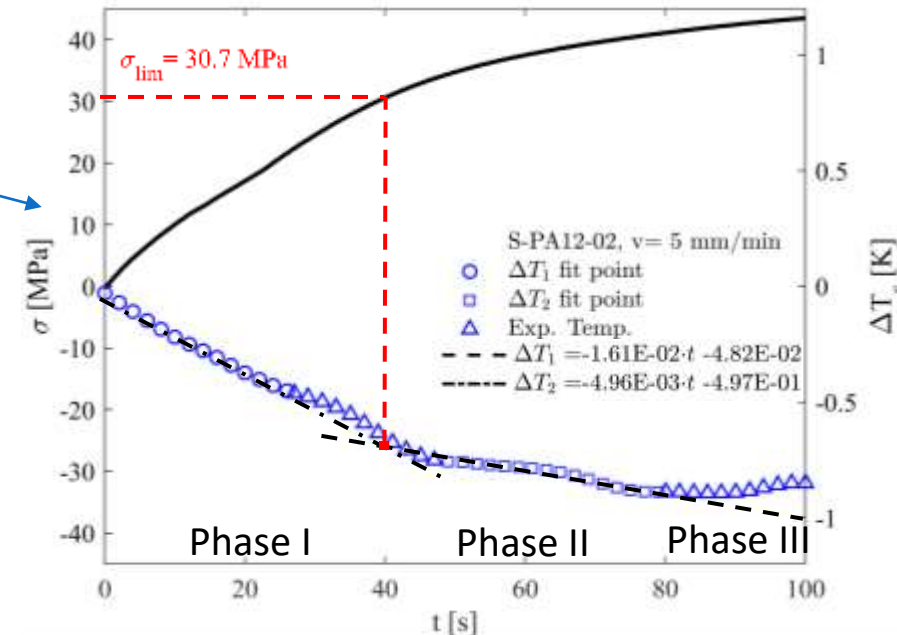
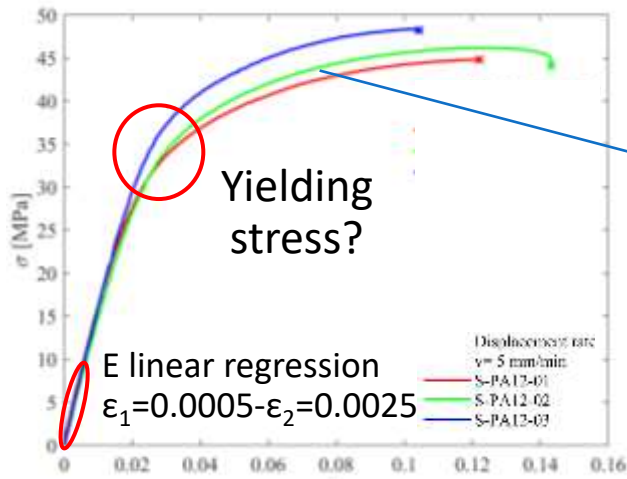


Metodologia e identificazione rapida delle caratteristiche di materiali in Additive Manufacturing

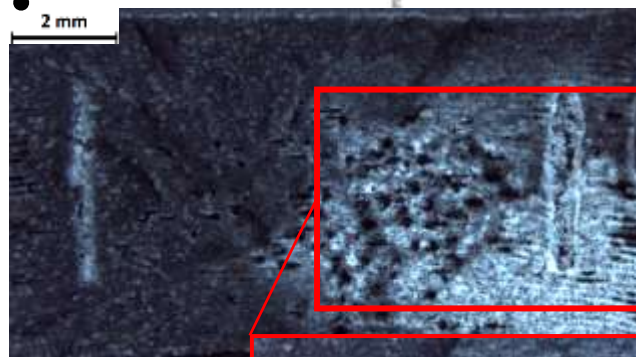
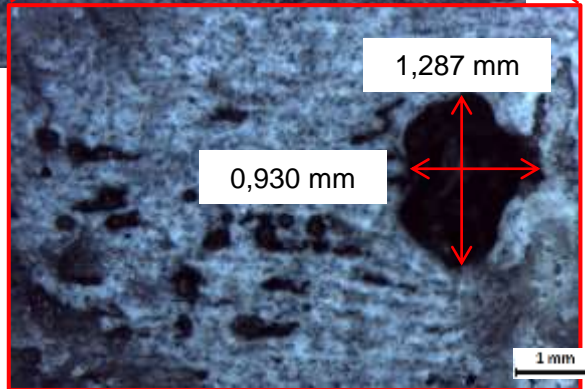
PA12 by MultiJet Fusion



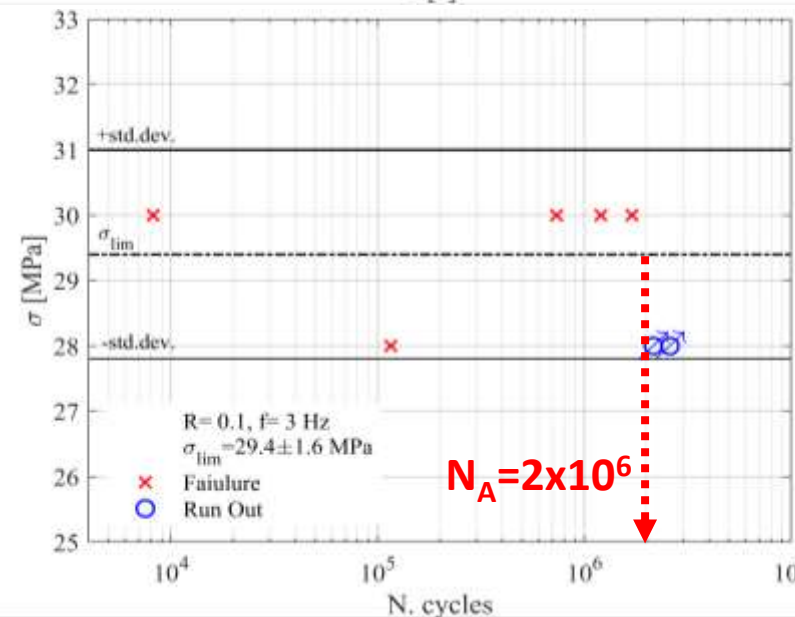
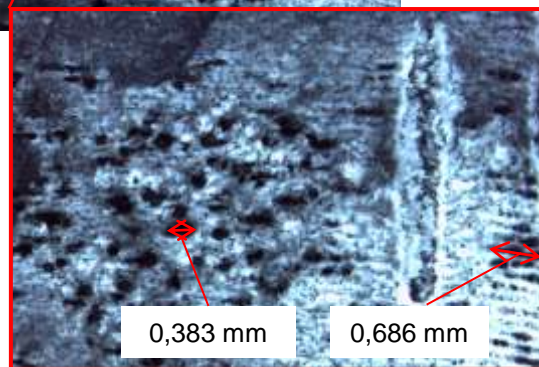
- Printing profile:
- Mechanical
 - Cosmetic
 - **Fast**



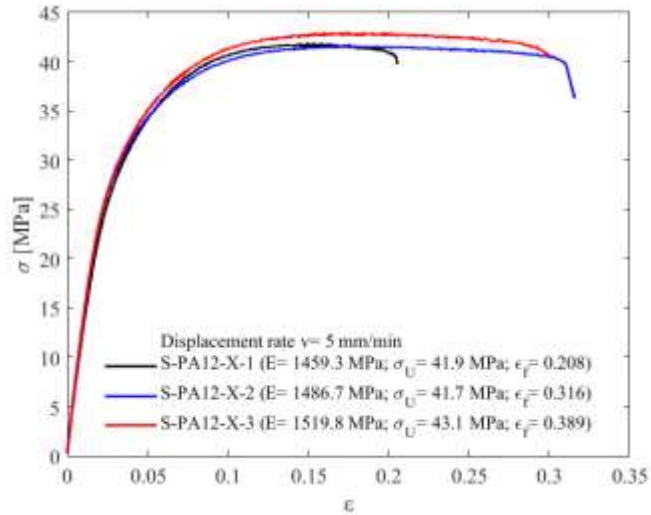
Static Failure



Fatigue Failure



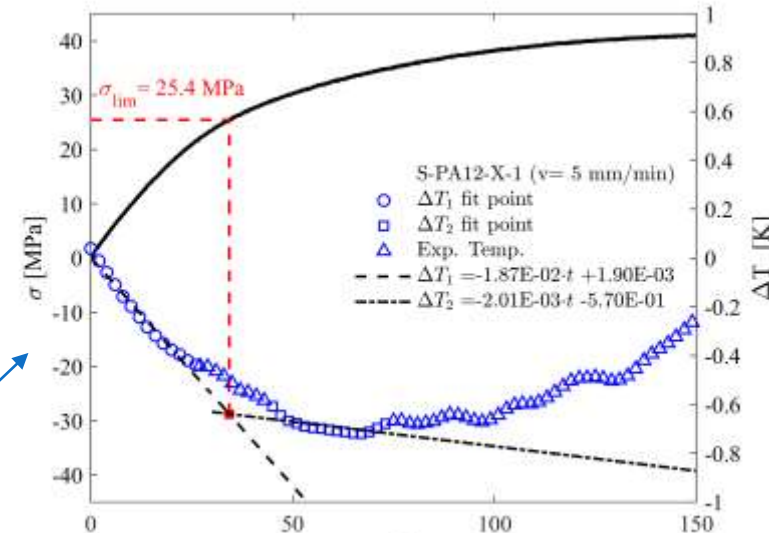
PA12 by Selective Laser Sintering (SLS)



Mechanical properties

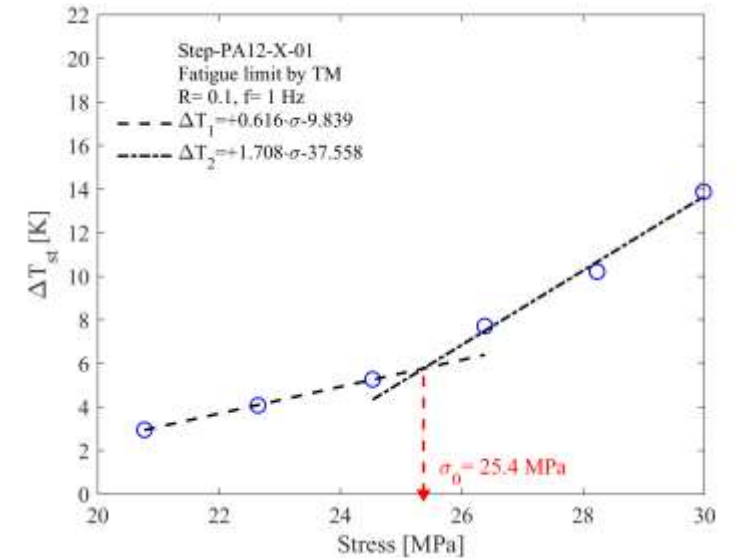
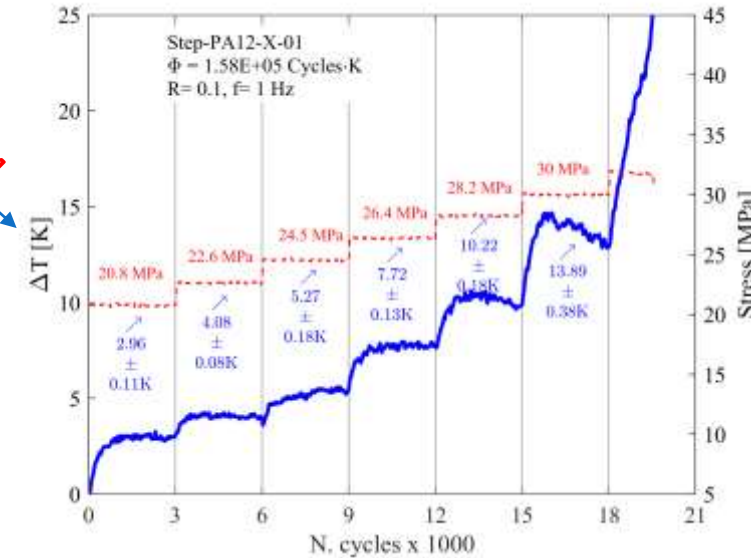
STM

TM



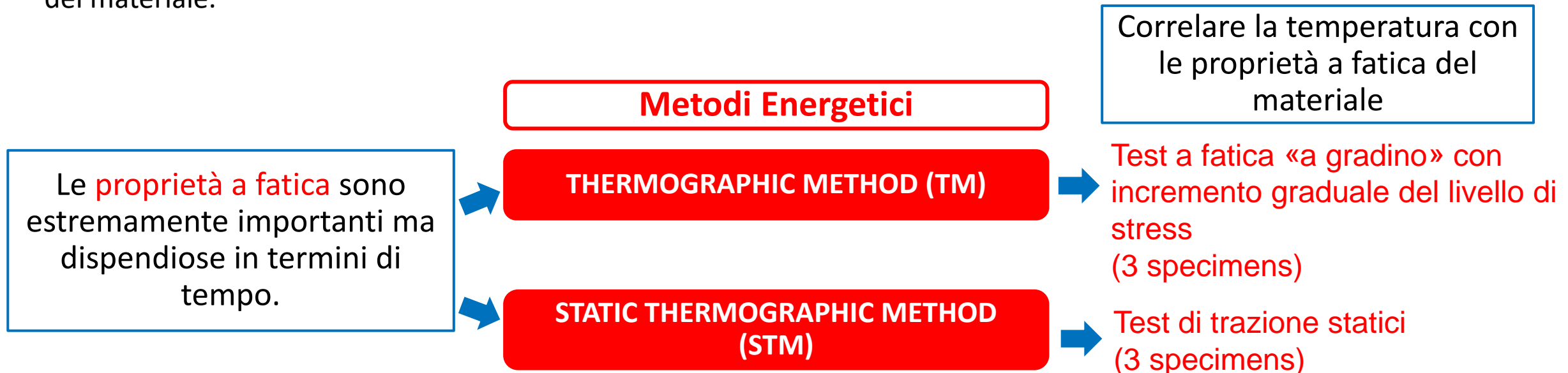
$\sigma_{lim} = 24.4 \pm 3.5 \text{ MPa}$

$\sigma_{0, TM} = 26.5 \pm 1.1 \text{ MPa}$



AISI 316L – AM vs. Traditional

- Studio delle proprietà meccaniche (**statiche ed a fatica**) di provini ottenuti in Additive-Manufacturing di AISI 316L;
- Comparazione con la stessa tipologia di materiale da fonderia;
- Adozione di tecniche a tutto campo come **Termografia ad infrarossi (IR)**;
- Applicazione del **Thermographic Method** e dello **Static Thermographic Method** per individuare il limite a fatica del materiale.



Materials and Methods

Test di trazione statici Test a gradino

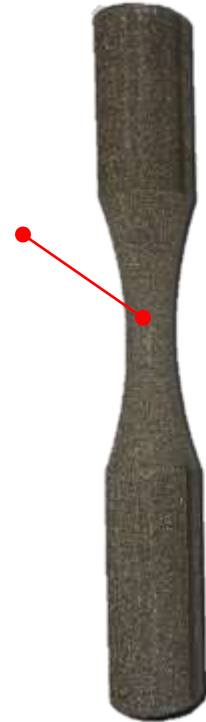
Stress rate
 $\sigma = 3 \text{ MPa/s}$

$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0.1 \text{ and } -1$
 $f = 10 \text{ Hz and } 20 \text{ Hz}$

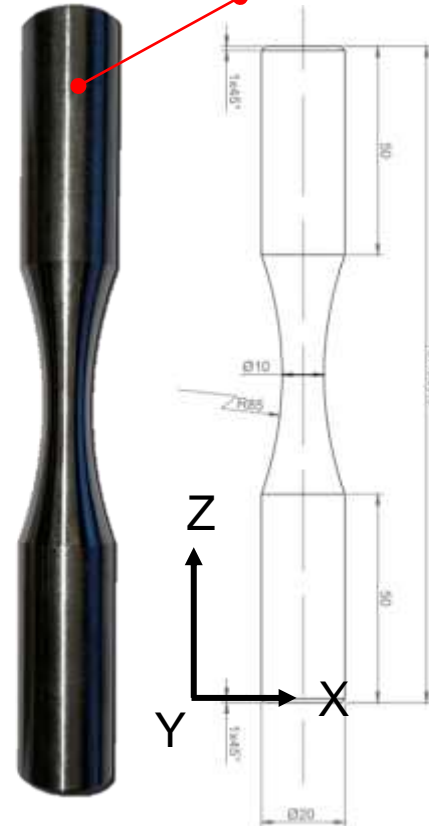
Selective Laser Melting (SLM) AISI 316L specimens
 $P = 230 \text{ W}$
 $v = 1400 \text{ mm/s}$
Printed along Z direction



3D4MEC
Stampanti 3D per la produzione meccanica

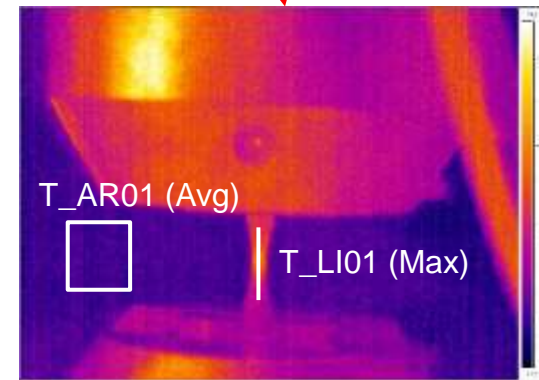


Traditional-manufactured
AISI 316L specimens



Provini a clessidra (ASTM E466)

Macchina di carico servoidraulica
MTS 810 250kN

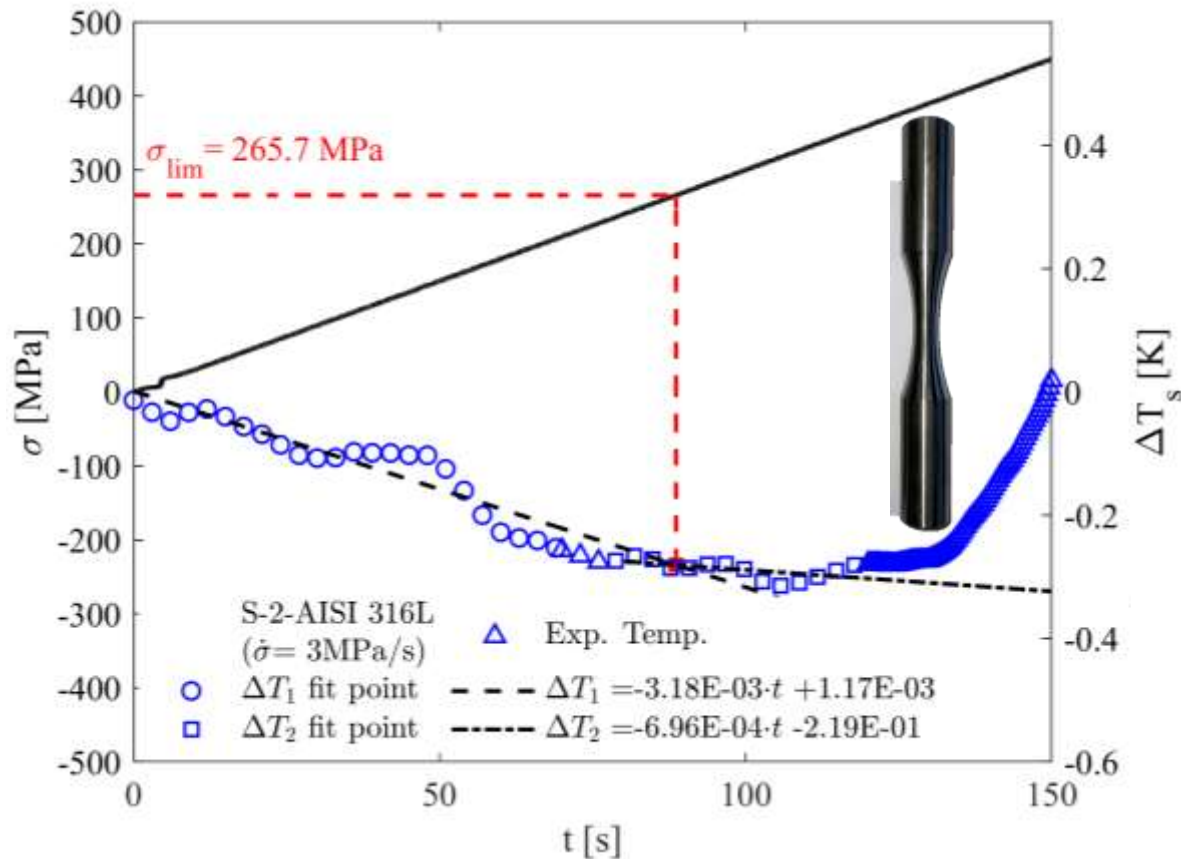


$\Delta T = T_{LI01} - T_{AR01}$

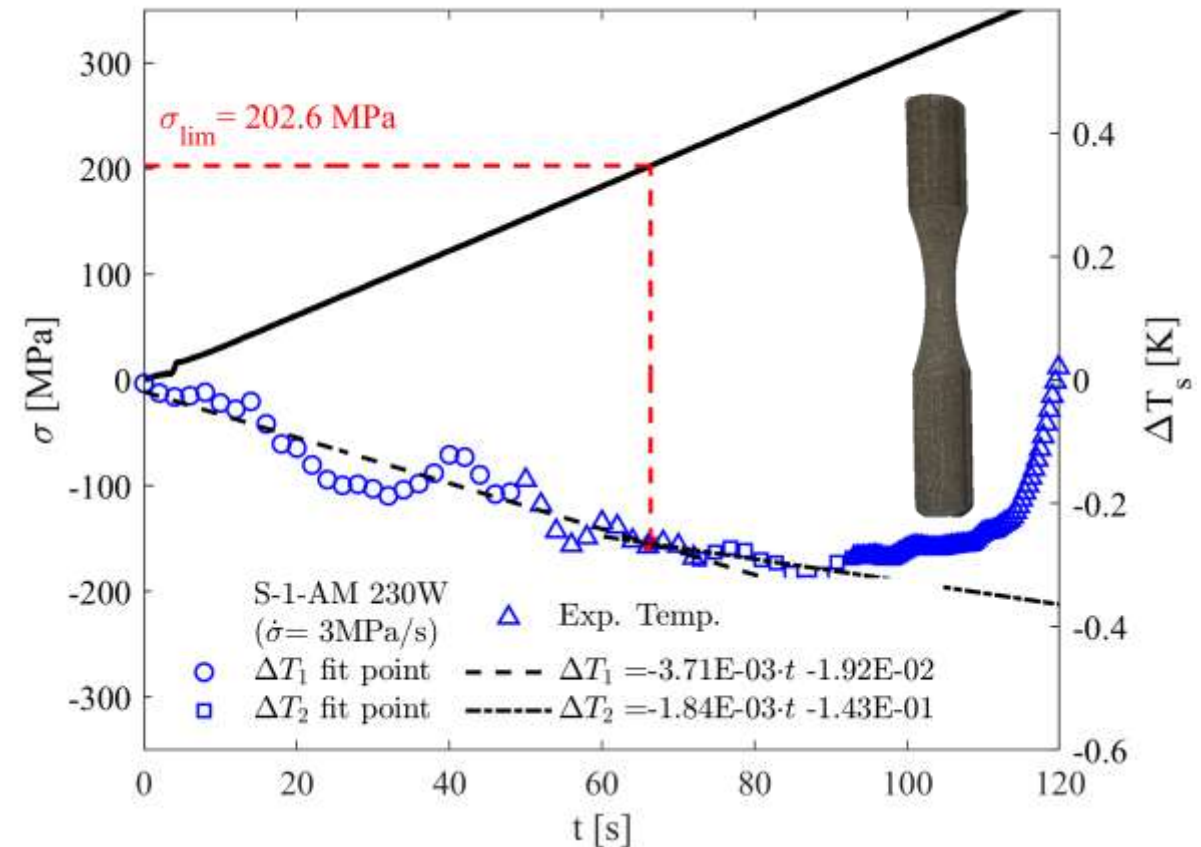
Termocamera
FLIR A40

Test di trazione statici (STM)

AISI 316L Tradizionale



AISI 316L AM



Test di trazione statici (STM)

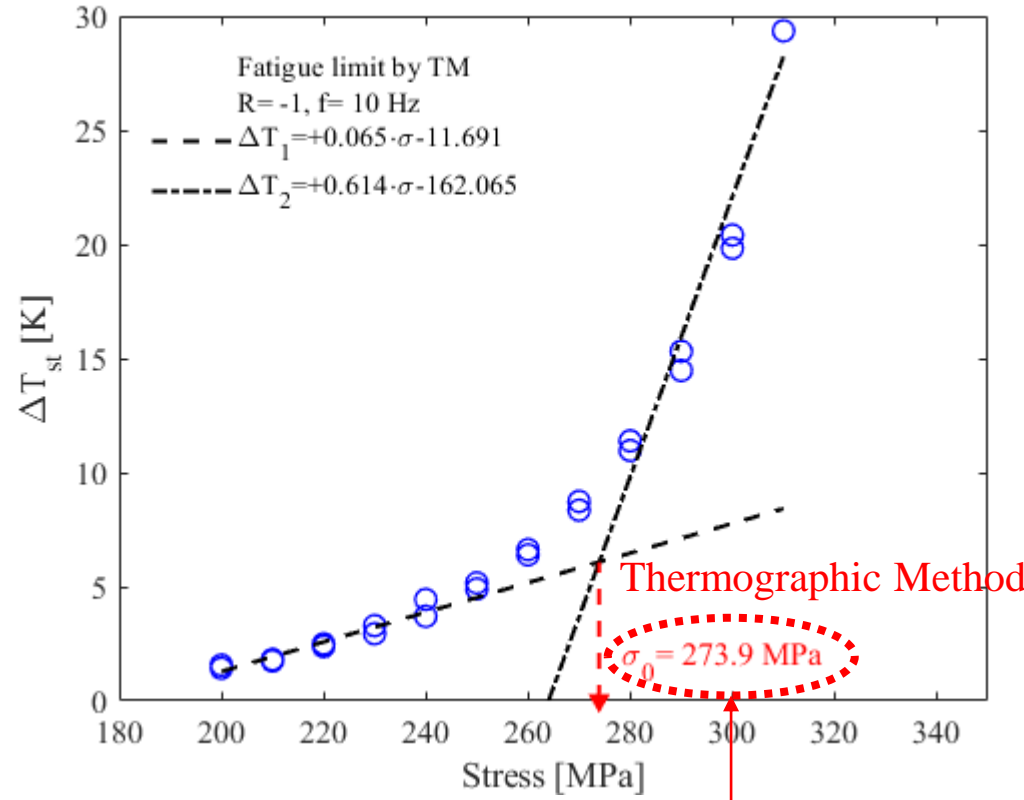
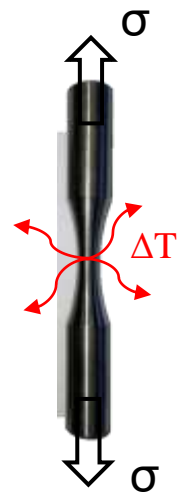
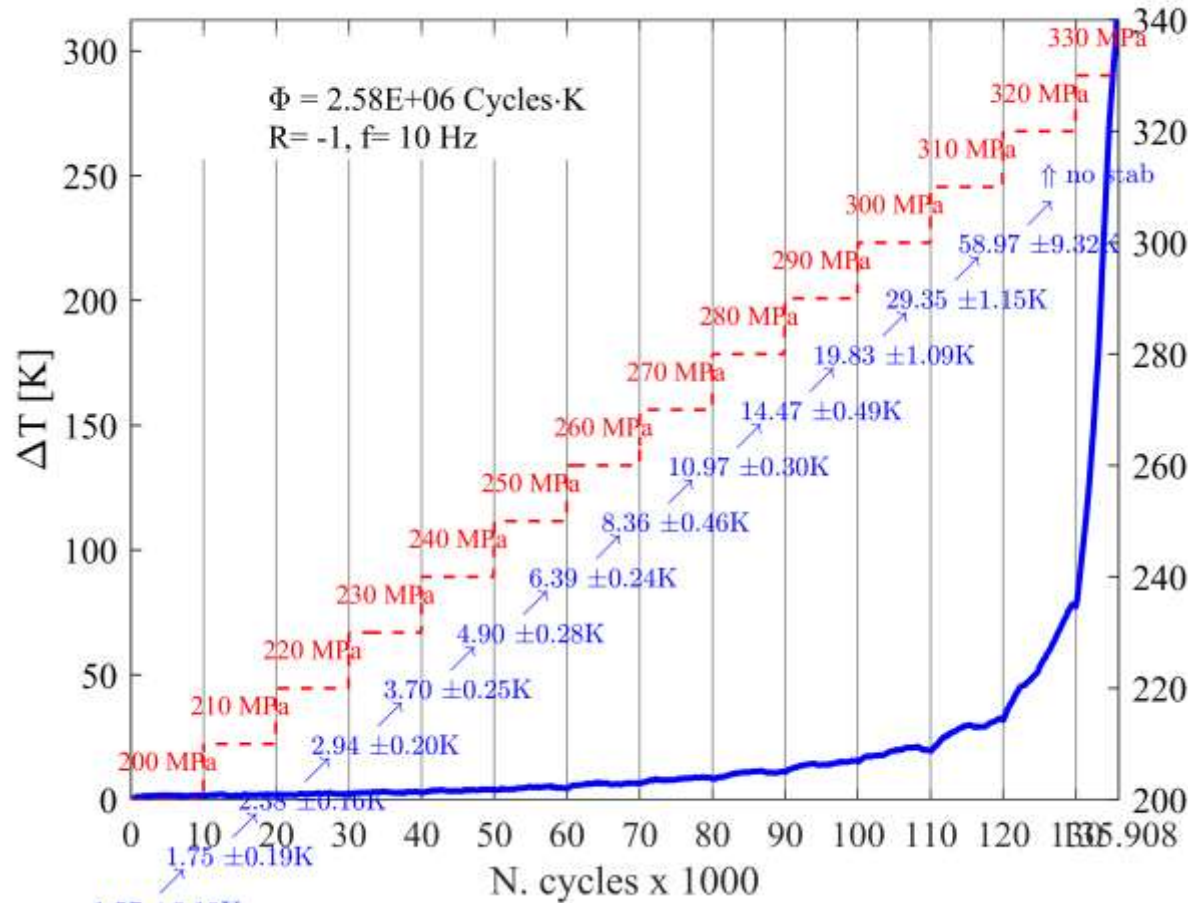
Report



Specimen type	No. Specimen	σ_U [MPa]	σ_{lim} [MPa]	$\sigma_{U\ ave}$ [MPa]	$\sigma_{lim\ ave}$ [MPa]
AISI 316L Traditional	1	707	234		
	2	709	266	714 ± 11	236 ± 30
	3	727	207		
AISI 316L AM (230W)	1	370	203		
	2	373	199	329 ± 74	191 ± 17
	3	244	171		

Test di fatica a gradino

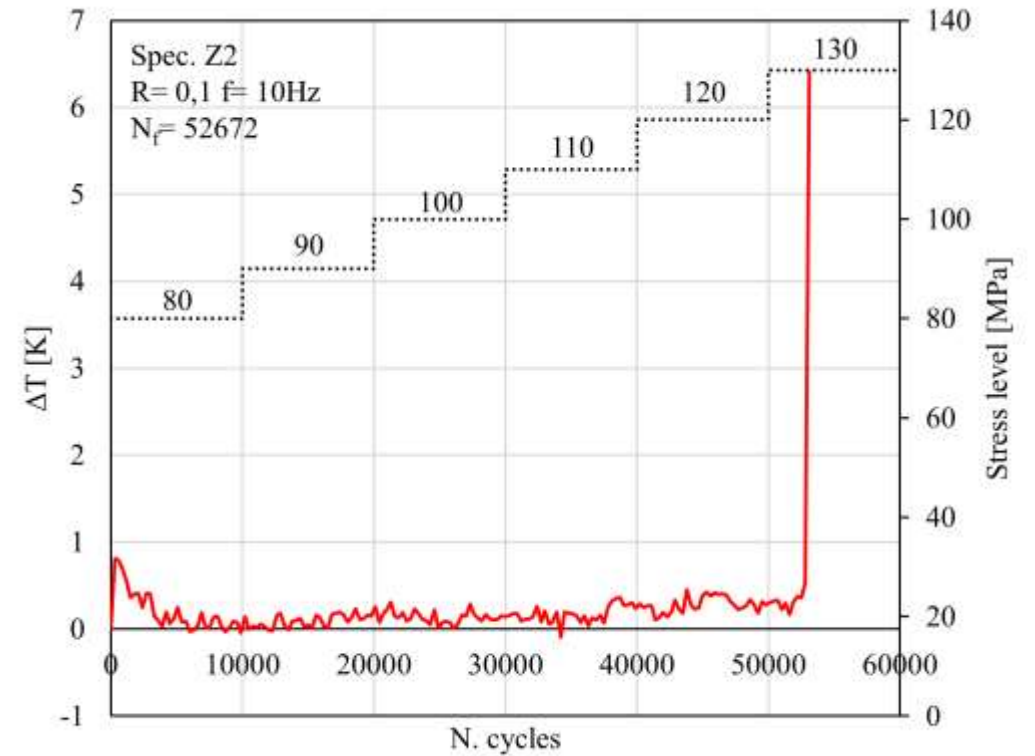
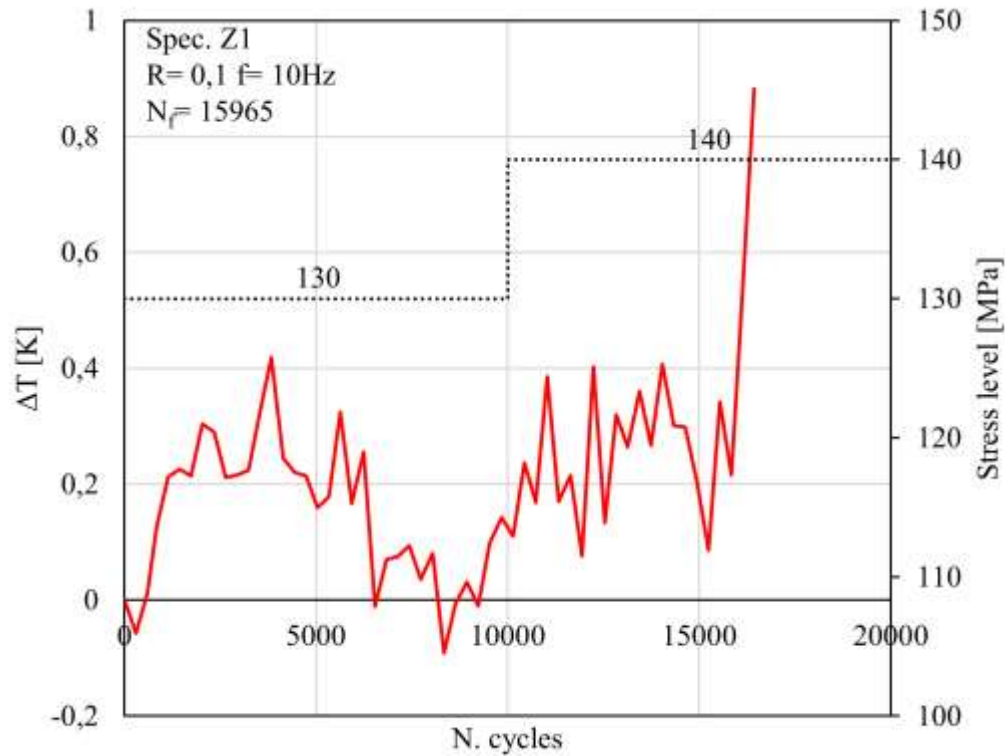
AISI 316L Tradizionale (R= -1)



Static
 Thermographic Method $\sigma_{lim} = 236 \pm 30 \text{ MPa}$

Test di fatica a gradino

AISI 316L AM





Metodologia e identificazione rapida delle caratteristiche di materiali in Additive Manufacturing



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

Informazioni identificative della domanda di Brevetto per invenzione industriale presentata il 22/04/2020

Dati aggiornati al 17/03/2023

Numero domanda: 102020000008563

Data presentazione: 22/04/2020

Data deposito: 22/04/2020

Tipologia domanda: Brevetto per invenzione industriale

Tipo deposito: DEPOSITO ON LINE

Tipo domanda: Ordinaria

Tipo registrazione: Primo Deposito

Stato domanda: Concessa

Data concessione: 20/09/2022

Numero domanda precedente formato:

Numero concessione: 102020000008563

Titolo: MACCHINA COMPATTA PER TEST RAPIDI DI FATICA DEI MATERIALI (RAPID TEST MACHINE) E METODI ATTUATI CON DETTA MACCHINA

Anticipata accessibilità: Si

Classi

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo	Note
G	01	N	3	32	Classificazione inserita dall'EPO
G	01	N	3	06	Classificazione inserita dall'EPO

Inventori

Cognome e nome
Risitano Antonino
Risitano Giacomo
D'Andrea Danilo
Santonocito Dario Francesco

Titolari

Denominazione/cognome e nome	Tipo società	Partita I.V.A./C.F.	Diritti %	CAP	Città	Provincia	Nazione
Università degli Studi di Messina	le universita'	00724160833	0	98122	Messina	Messina	Italia



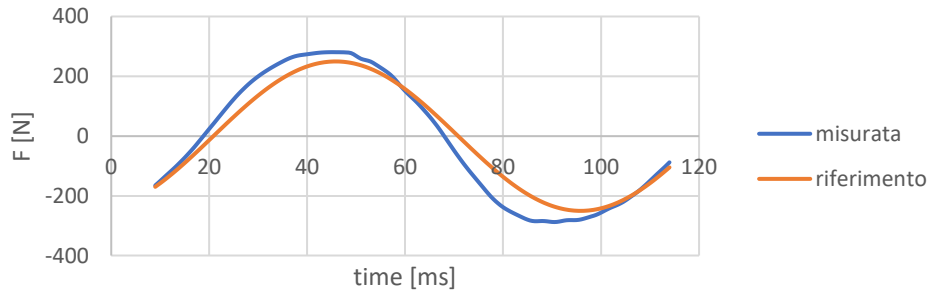
In partnership
con



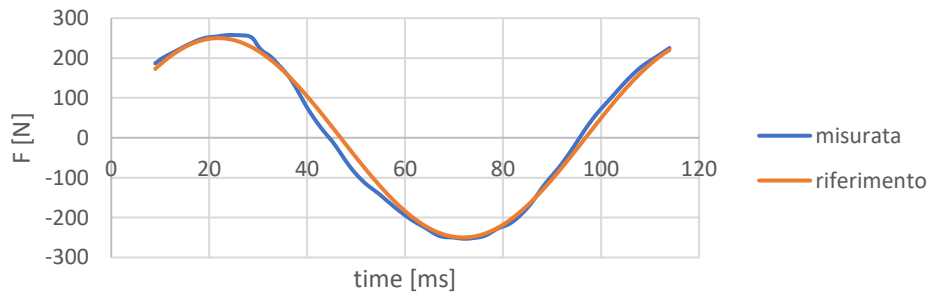
- Static tensile test -> Static Thermographic Method (**STM**)
- Fatigue test -> Thermographic Method (**TM**)
- Designed specifically for rapid fatigue assessment of **Additive Materials**

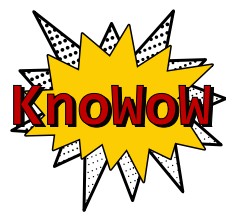
Rapid Fatigue Testing Machine

Regolazione del PID con $P=0.1$; $I=0.1$; $D=0.1$;
 $F_{max}=280\text{ N}$; $F_{min}=-286\text{ N}$



Regolazione del PID con $P=0.25$; $I=0.025$; $D=0.1$;
 $F_{max}=258\text{ N}$; $F_{min}=-253\text{ N}$





Layout di test

Termografia



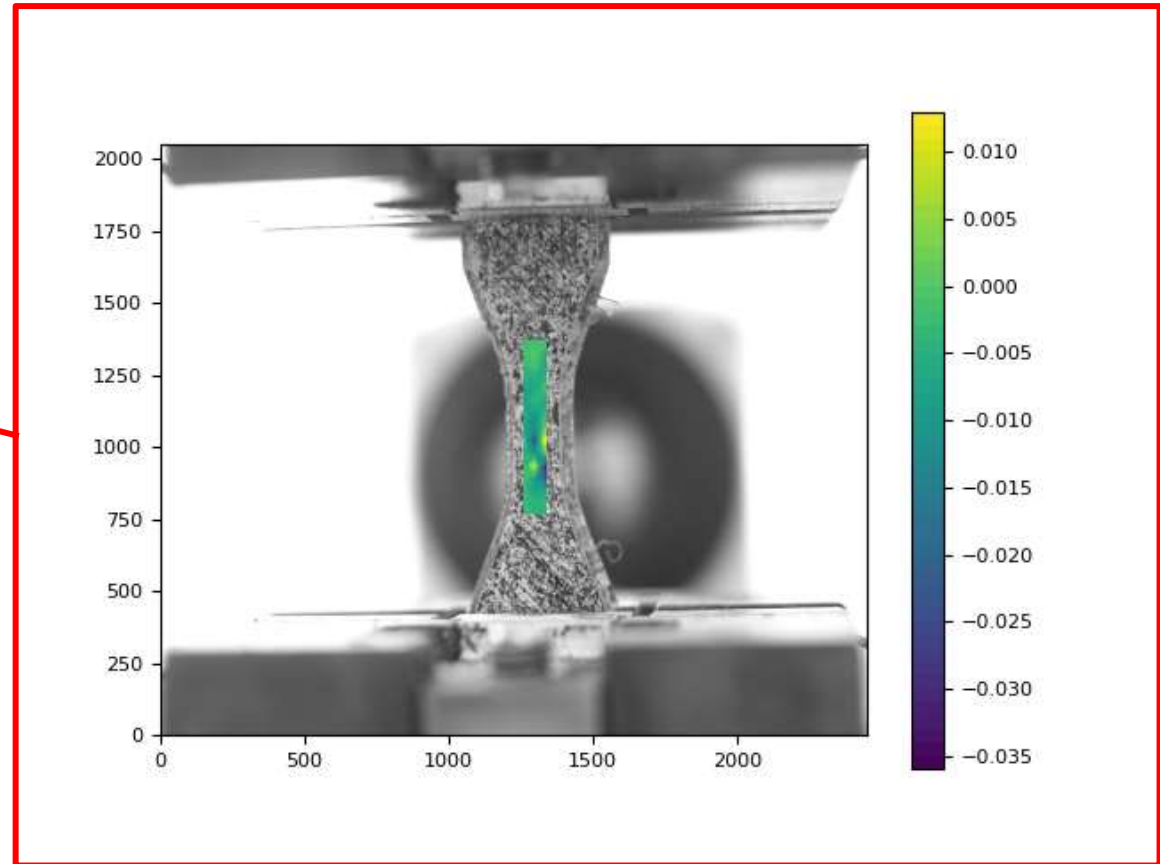
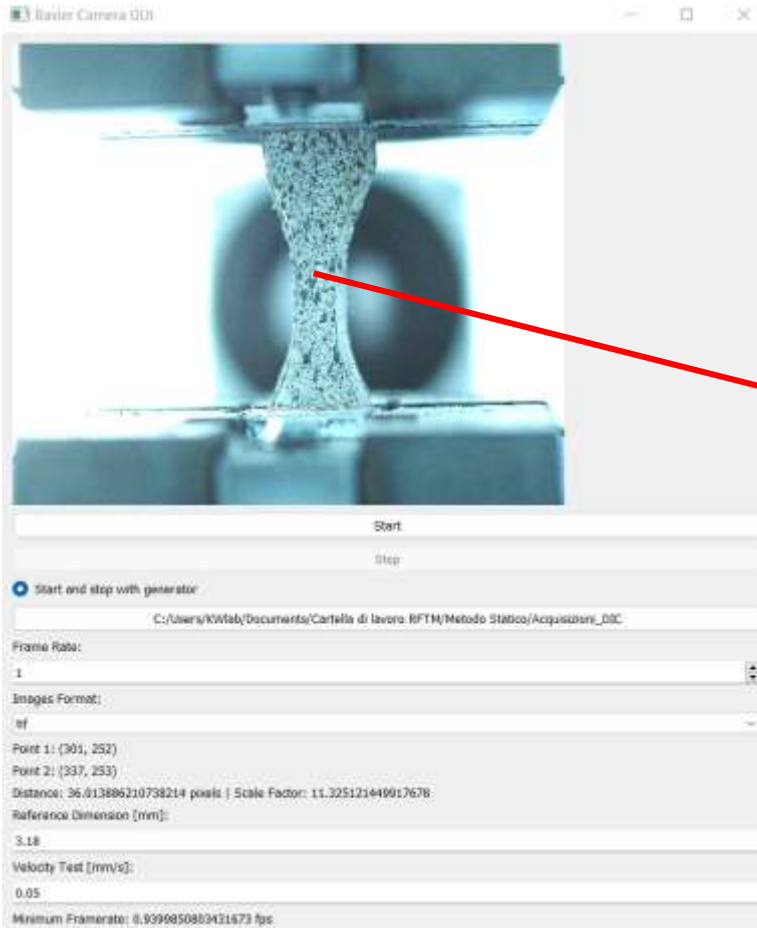
**Acquisizione immagini
Digital Image Correlation
(DIC)**



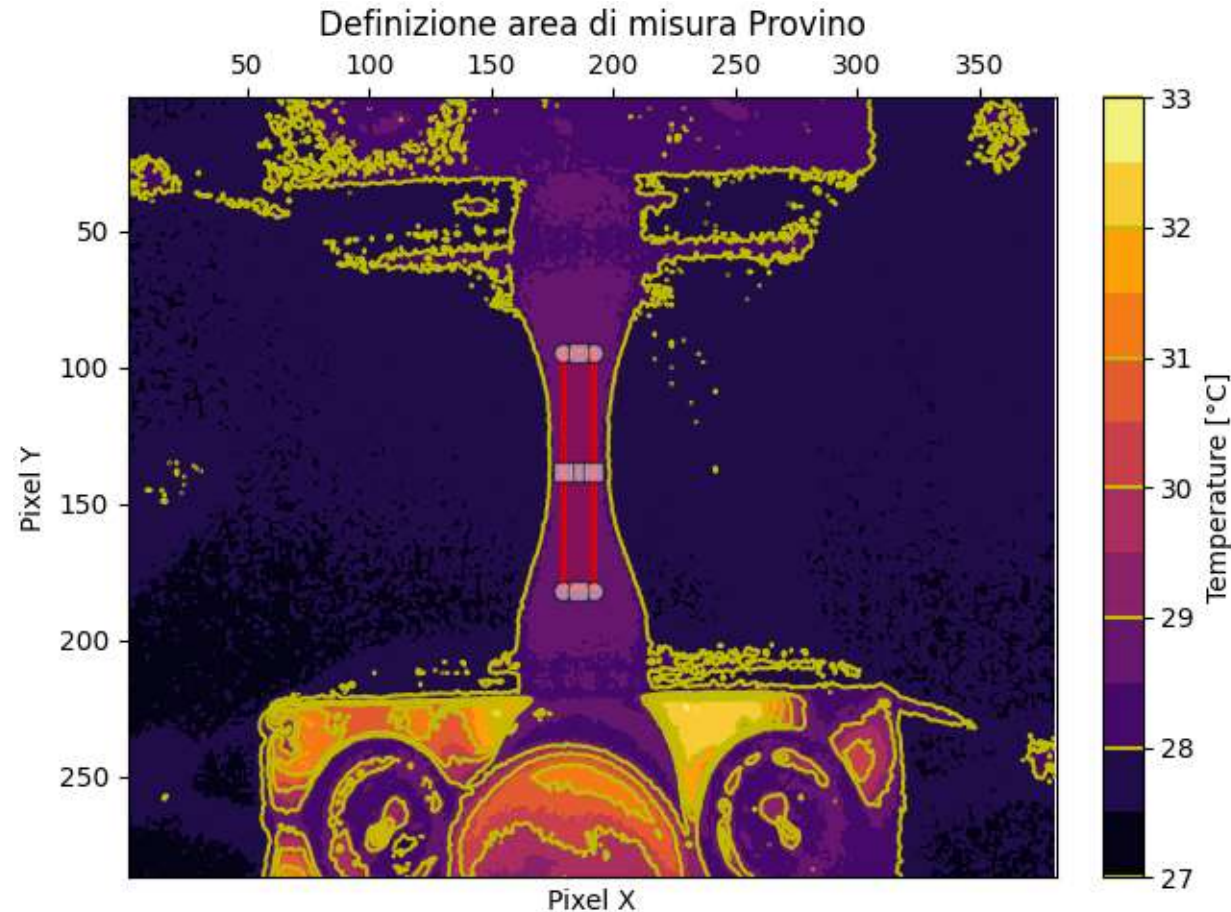
Preparazione dei provini



Digital Image Correlation (DIC)



Termocamera



Definizione caratteristiche prova a fatica

Frequency [Hz]:

Acquisition after [cycles]:

Block number:

Cycles for block:

Load Ratio:

Nominal Section A_0 [mm²]:

Fornisci valori

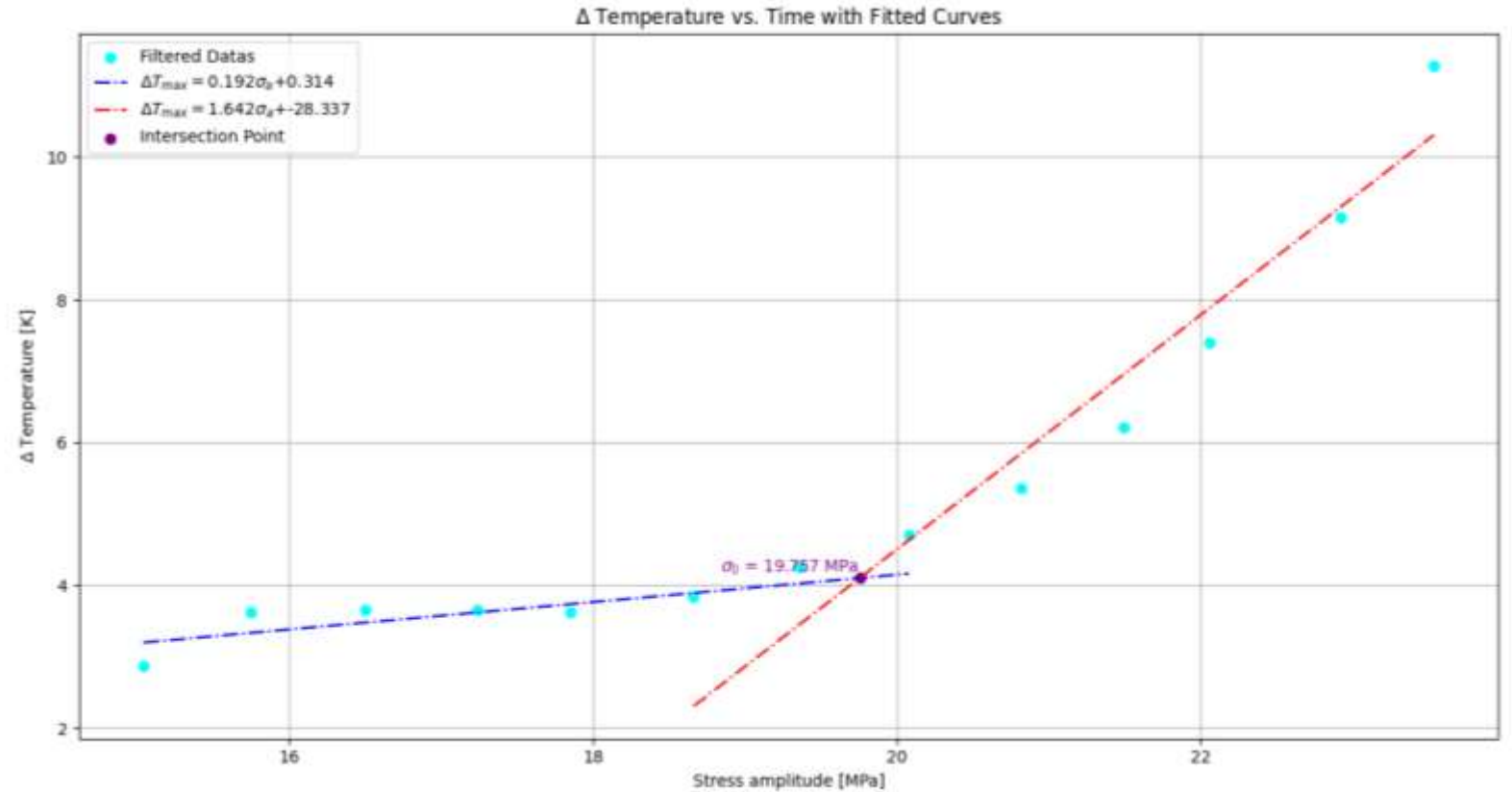
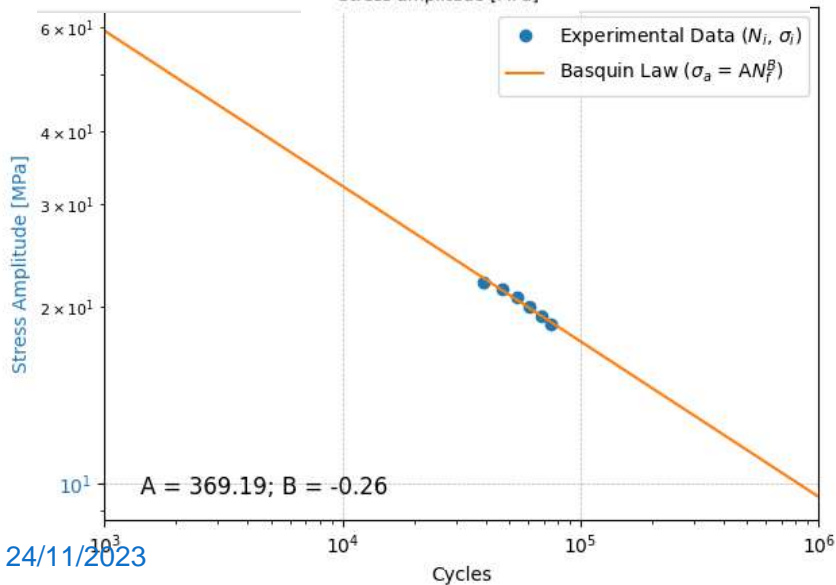
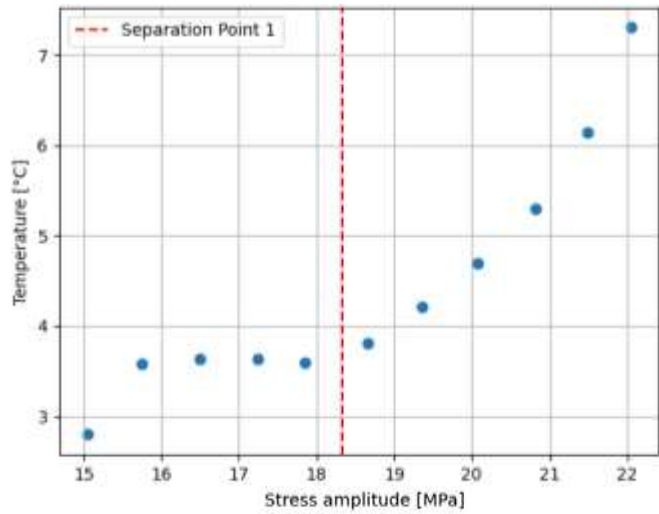
Close

Time step

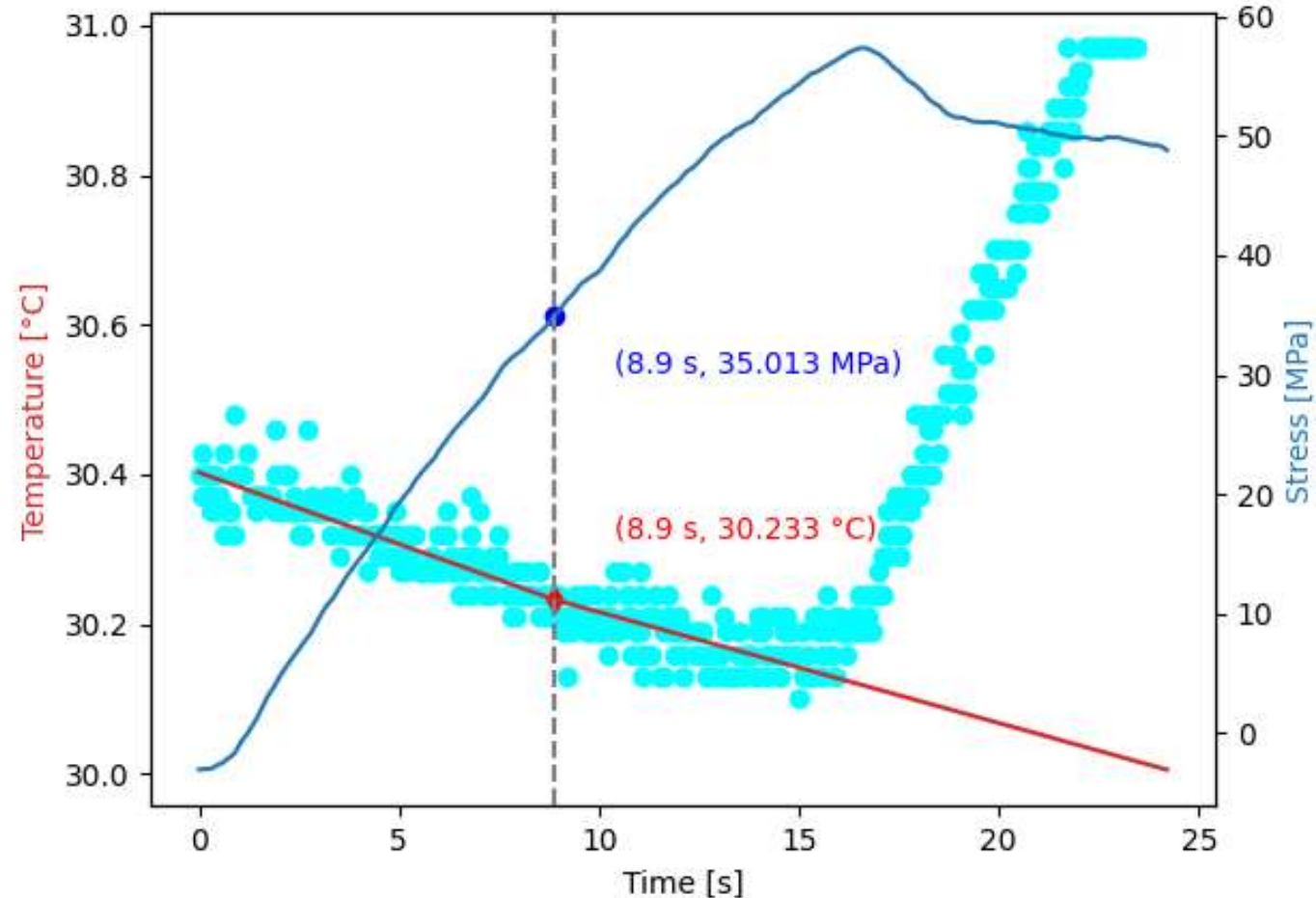
Ogni quanto vengono acquisite le immagini termiche? [s]

OK Cancel

Processamento dati Thermographic Method

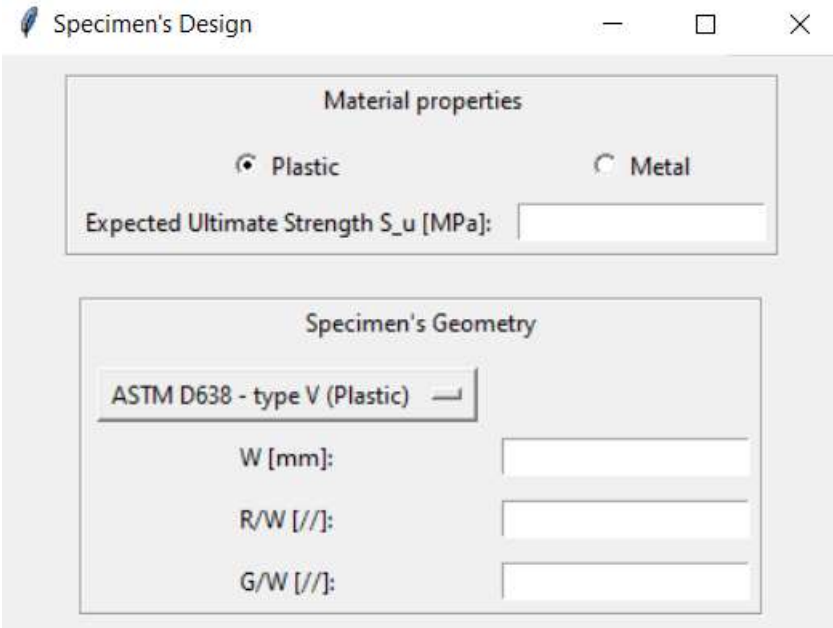


Processamento dati Static Thermographic Method





Metodologia e identificazione rapida delle caratteristiche di materiali in Additive Manufacturing



.stl, .step, .msh

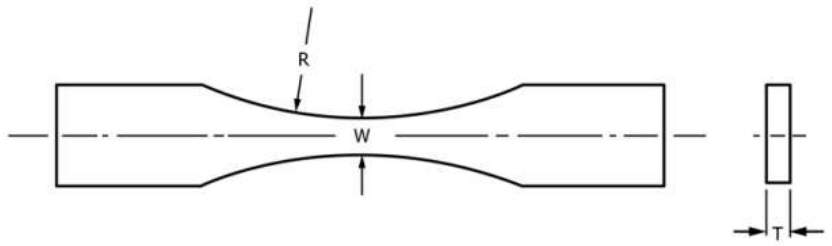


FIG. 2 Specimens with Continuous Radius Between Ends

ASTM E466 - 15

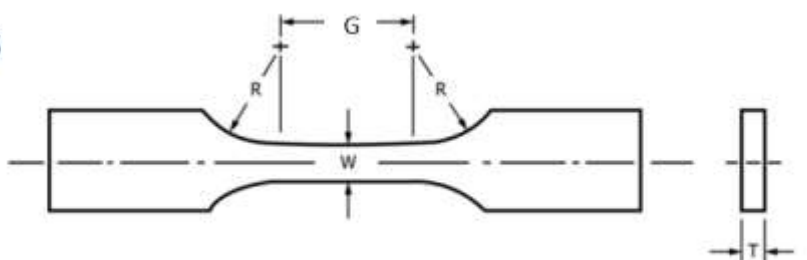
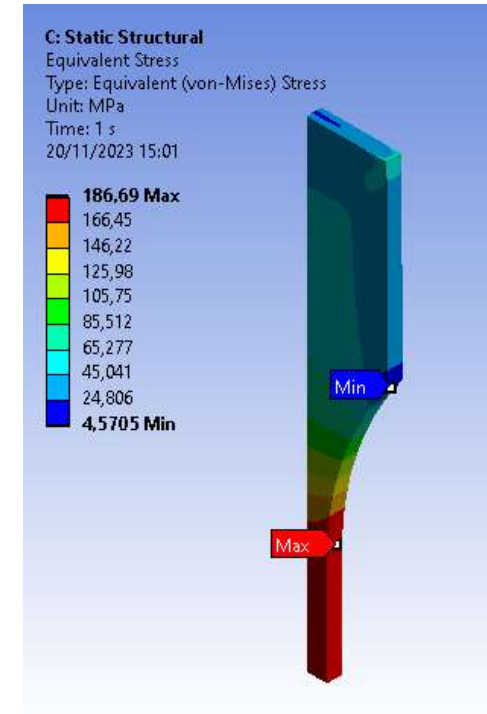
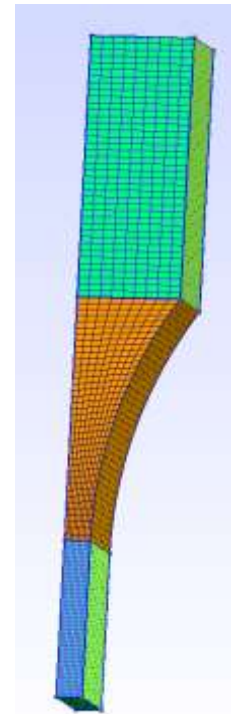


FIG. 4 Specimens with Tangentially Blending Fillets Between the Uniform Test Section and the Ends





Università di Messina
Dipartimento di Ingegneria



Metodologia e identificazione rapida delle
caratteristiche di materiali in Additive
Manufacturing



Grazie
per
l'attenzione!

Dario Santonocito

dsantonocito@unime.it

Davide D'Andrea

davide.dandrea@studenti.unime.it