

MILANO, 4 MAGGIO 1983

GRUPPO ITALIANO FRATTURA
1° CONVEGNO NAZIONALE

ENERGIA A FRATTURA : QUANTA E QUALE

OVVERO

QUANTO LAVORO INUTILE PER ROMPERE

G. CAGLIOTI, ISTITUTO DI INGEGNERIA NUCLEARE,
POLITECNICO DI MILANO

LA FRATTURA COME UNA INSTABILITÀ DINAMICA DI UN SISTEMA
ALLONTANATO DALL'EQUILIBRIO TERMODINAMICO
IRREVERSIBILITÀ, DISSIPAZIONE

"ALTHOUGH IT IS ESTABLISHED THAT NINE-TENTHS OF THE
WORK DONE IN PLASTICALLY DEFORMING A METAL AT ROOM
TEMPERATURE IS AT ONCE CONVERTED INTO HEAT, LITTLE
IS KNOWN OF THE MECHANISM OF THIS CONVERSION"

F. R. N. NABARRO, 1967

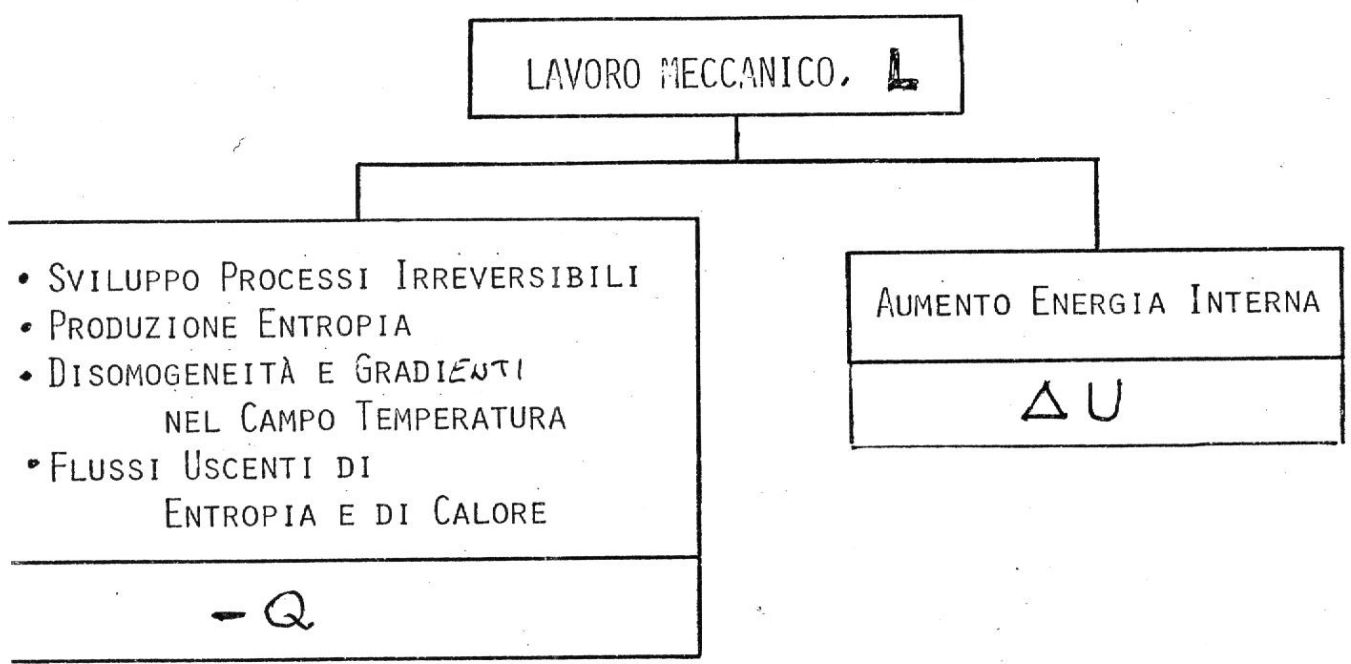
SINOPSI

IL LAVORO MECCANICO L , SOLO IN PARTE VIENE IMMAGAZZINATO
NEL PROVINO SOTTO FORMA DI ENERGIA INTERNA ΔU UTILE
AI FINI DELLA ROTTURA

UNA PARTE ANCHE COSPICUA, $-Q$, COSTITUISCE UNA SORTA
DI TASSA CHE OCCORRE SPENDERE PER PRODURRE DISORDINE O
LAVORARE NEL DISORDINE.

SINOPSI

$$\Delta U = L + Q$$



? Esiste una soglia U^* di energia interna di basso contenuto entropico, superata la quale il materiale cede? ?

CEDIMENTO:

A) ATTRAVERSO SUCCESSIONE STATI DI EQUILIBRIO
ESEMPIO: FUSIONE (FIG.1)

B) ATTRAVERSO PROCESSI IRREVERSIBILI DI NON EQUILIBRIO
ESEMPIO : FATICA (FIG.2)
ESEMPIO DI QUASI REVERSIBILITÀ: PROVE LENTE, AL LIMITE
ISOTERME, DI SCORRIMENTO VISCOSO (CREEP) (FIG.3,4)
O DI TRAZIONE (Fig. 5)

$$3K_B (T_f - 300K) = 360 \text{ meV/atomo Cu}$$

$$240 \text{ meV/atomo Al}$$

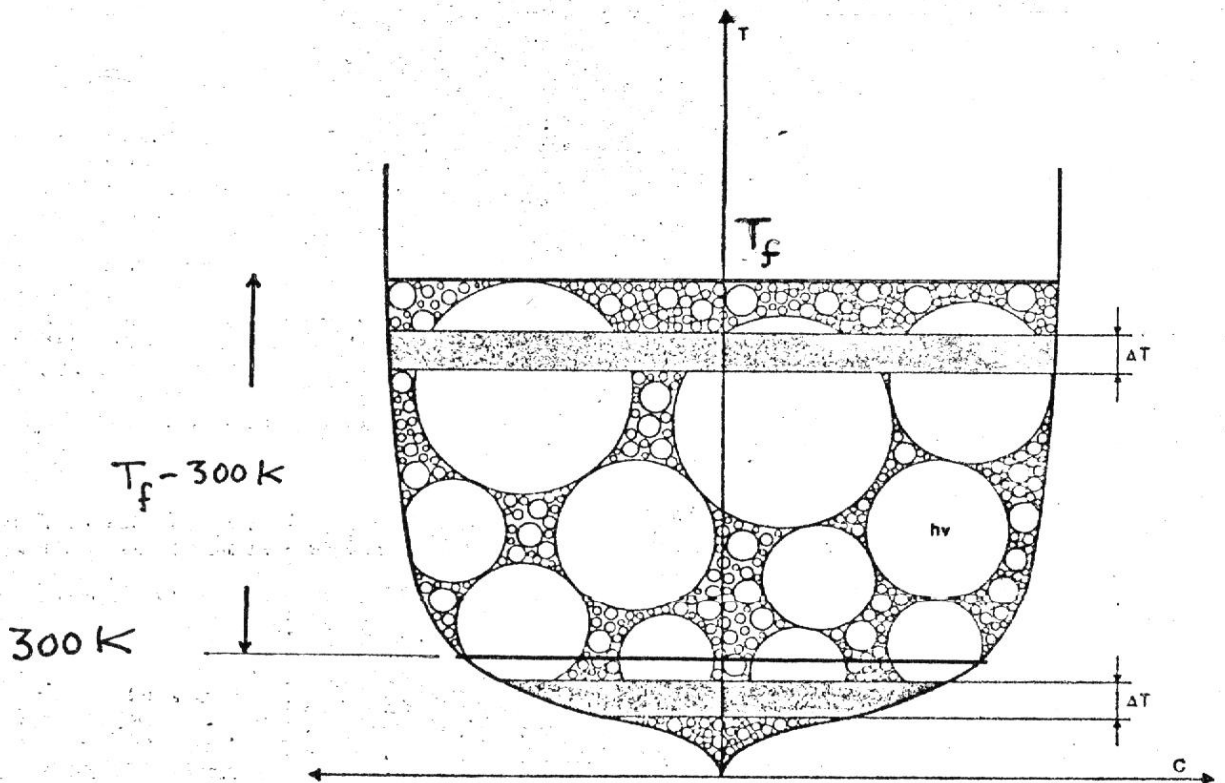


Fig. 1

Il contenuto di energia termica in un materiale cresce con la temperatura T in modo regolato dal calore specifico C . Per ottenere uno stesso incremento ΔT di temperatura, occorre somministrare dall'esterno quantità di calore crescenti al crescere della temperatura (*aree in colore*). Le cose vanno come se il materiale ricevesse il calore sotto forma granulare, e cioè per quanti di energia $h\nu$. Tale energia è rappresentata dall'area dei grani, cioè dei cerchi in figura. I grani ospitati sono selezionati dal serbatoio termico in relazione al loro ingombro (area $h\nu$) e alla temperatura che determina la capienza del serbatoio stesso. Il loro numero, secondo la statistica di Bose, è fortemente crescente con il rapporto fra temperatura e frequenza.

da S. Boffi & G. Caglioti, *Le Scienze*, 112, p. 98, 1977

1 Cr 1 Mo 1/4 V

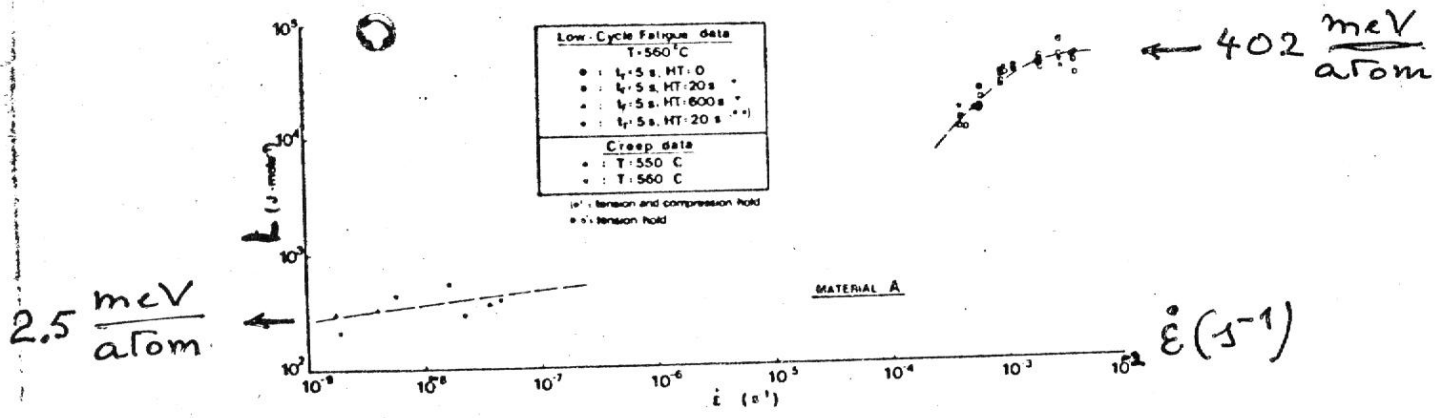


Fig. 3 Total failure energies for steel A determined in fatigue tests and in pure creep tests

DA V. BICEGO, C. FOSSATI, S. RAGAZZONI, IN
 MATERIAL BEHAVIOR AT ELEVATED TEMPERATURES AND
 COMPONENTS ANALYSIS-PVP, VOL. 60, EDRS-Y. YAMADA,
 R. L. ROCHE AND F. L. CHO
 THE AMERICAN SOC. OF MECHANICAL ENGIN., NEW YORK

Fig. 2

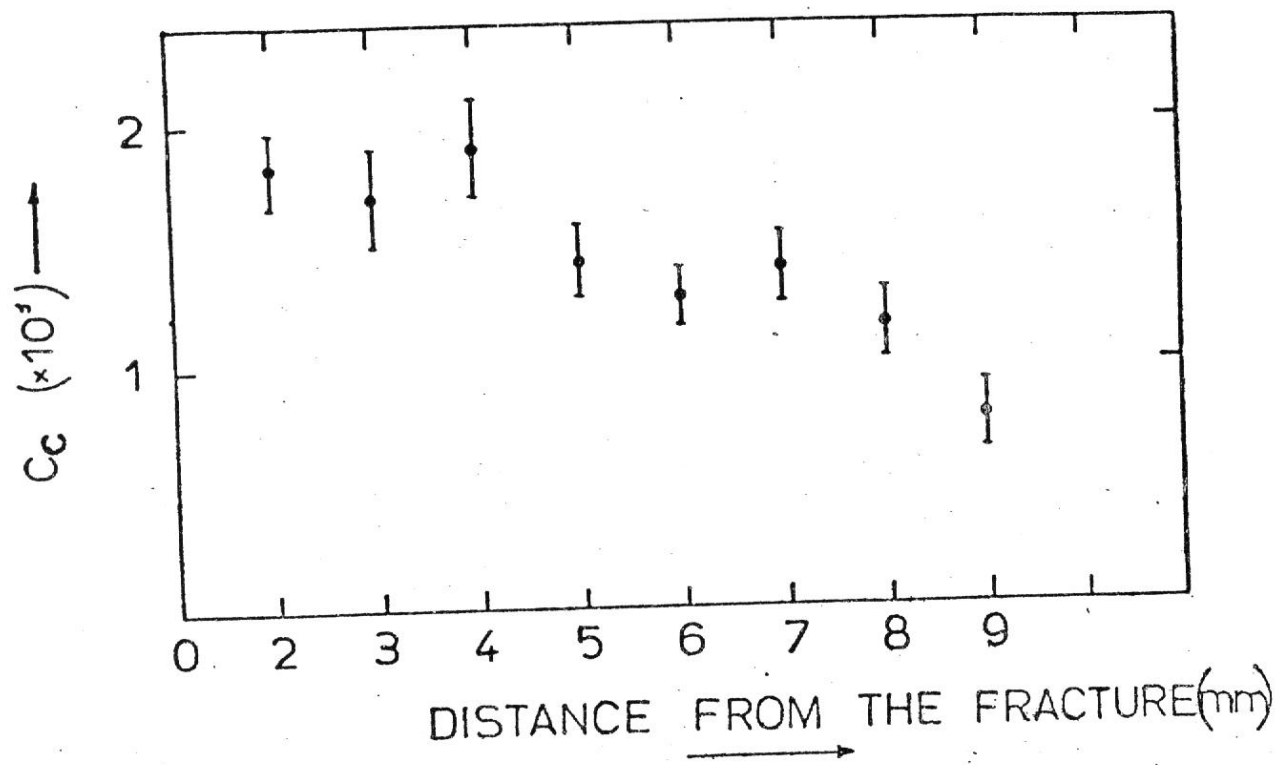


Fig. 72 - Volume Fraction of Cavities C_c Along a Fractured Sample Submitted to Creep Treatment under a Stress of 211 MPa for 250 h

A. BOEUF, R. COPPOLA, R. MATERA, P. PULITI, S. MELONE, F. RUSTICHELLI, F. ZAMBONARDI, SMALL ANGLE NEUTRON SCATTERING STUDY OF THE DAMAGE INDUCED BY CREEP DEFORMATION IN AISI 304 STAINLESS STEEL, EUR REPORT 7321 EN, 1982

Fig. 3

Table 1. Summary of existing data of density measurements in creep rupture experiments in different metals and alloys.

N°	MATERIAL	TEST CONDITIONS			Max $-\Delta\rho/\rho \cdot 10^{-2}$	$-\Delta\rho/\rho \sim E^m$						Ref
		Temp °C	Stress MPa	Envir		α	β	γ	δ	ϵ		
1	Aluminium	250	21.6	air	1.1	-	3.4	-	-	-	-	6
2	Al-7%Al ₂ O ₃ Alloys	450	Accelerated Creep	air	10	-	-	-	-	-	-	8
3		450	637-666	air	20	-	-	-	-	-	-	9
4		450	57.9	air	33	13	1	-	-	-	-	10
5		Al-0.7%Al ₂ O ₃ Alloys	450	66.0	air	70	-	-	-	-	-	-
6	Copper	400-550	13.8-34.5	argon (air, H ₂)	35	2.3-3.5	1.9-2.2	-	-	-	-	7
7		400	38.9	argon	0.5	-	1.5	-	-	-	-	12
8		400-500	20.7-34.5	argon	3.5	-	-	1	$\frac{22500}{R}$	2.3	1	13
9		500	20.7-27.4	argon	0.8	-	-	1	-	3	1	14
10	Magnesium	300	4.8	air	2.5	-	2.5 4.0 #	-	-	-	-	15
11		300	4.83-6.25	argon	2.2	-	-	1 1.5 #	-	3 4.5 #	1 4.5 #	14
12	Mg-0.8%Al Alloys (Mgno ₂)	275	17.2	air	1.2	1	2.5	-	-	-	-	16
13	Nickel	525	100-213	air	0.9	-	-	1	-	7.5	1	17
14	Ni-0.1%Pd Alloys	500	97.2-209	air	0.4	1	1.7 #	-	-	-	-	16
15		500	100-215	air	0.4	-	-	1 1.5 #	-	3 4.5 #	1 1.5 #	14
16	Ferritic Steel 1%Cr-Mo	535-650	14.9-209	air	1	1.0	1.5-1.7	-	-	-	-	18
17	Stainless Steels	20Cr 25Ni	750	41.5-62	Secondary vacuum	2-2.5	2.24-2.54	3.0 4-5 #	-	-	-	19
18		20Cr 25Ni (Nb)	750	62-93	Secondary vacuum	1.8	5.3 #	7.5 #	-	-	-	20
19		AISI 310	600	216-245	argon	0.6	-	7-8 #	-	-	-	21
20		AISI 347	650	166	air	0.7	1.08	1.36-1.86	-	-	-	22
21		AISI 316	650	166	air	0.7	0.55	1.1	-	-	-	22
22	Uranium (adjusted) Cycles	400-600	16.0	argon	1	1.75	2.65	-	-	-	-	23
23	Zinc Cycles	100-350	0.98	argon	0.6	1.44	1.01	-	-	-	-	23
24	Copper	500	tensile zone hydrostatic 87-16	argon	0.8	-	-	1	-	(6-P-3) 3	1	24

Value corresponding to tertiary creep stage

CREEP DAMAGE AND RUPTURE IN AISI 310 AUSTENITIC STEEL*

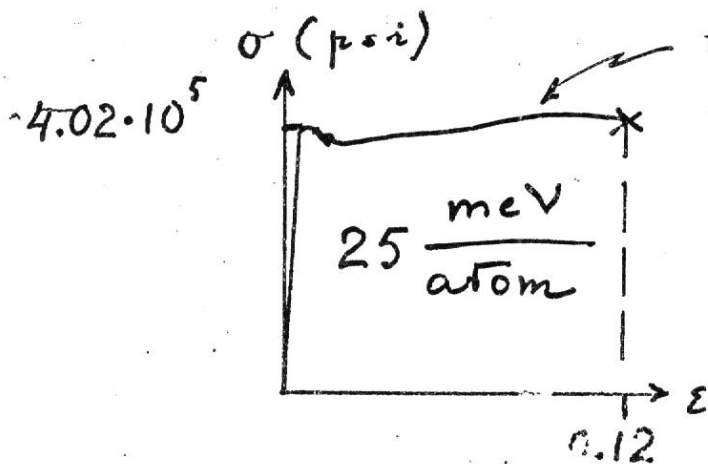
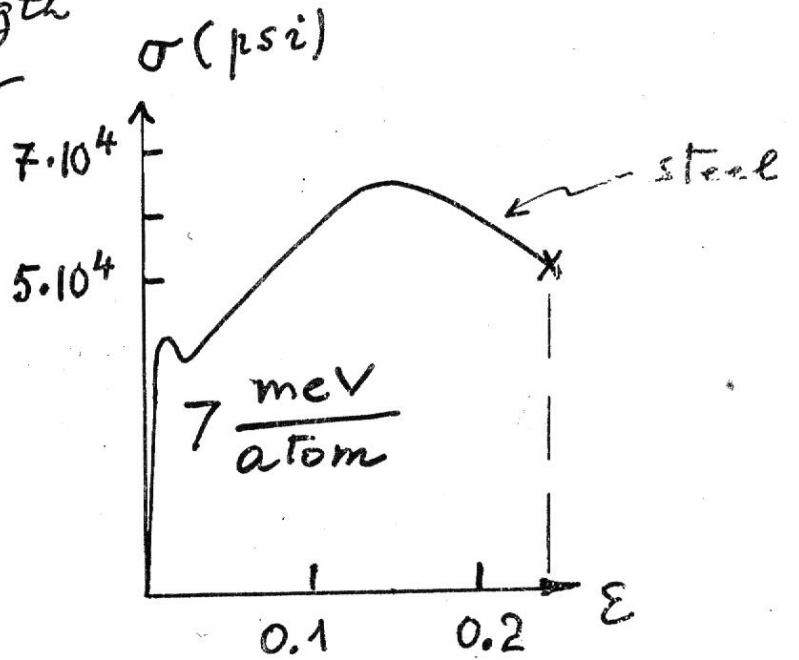
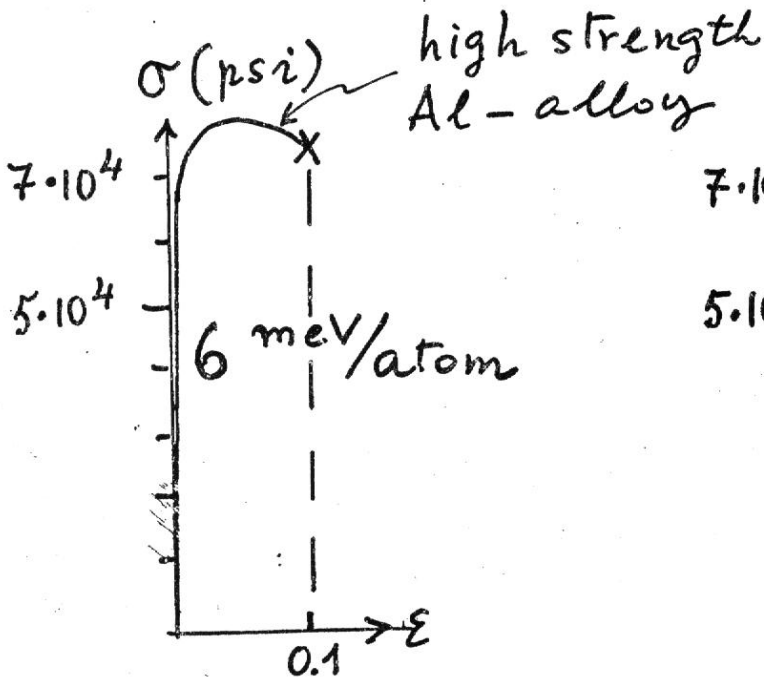
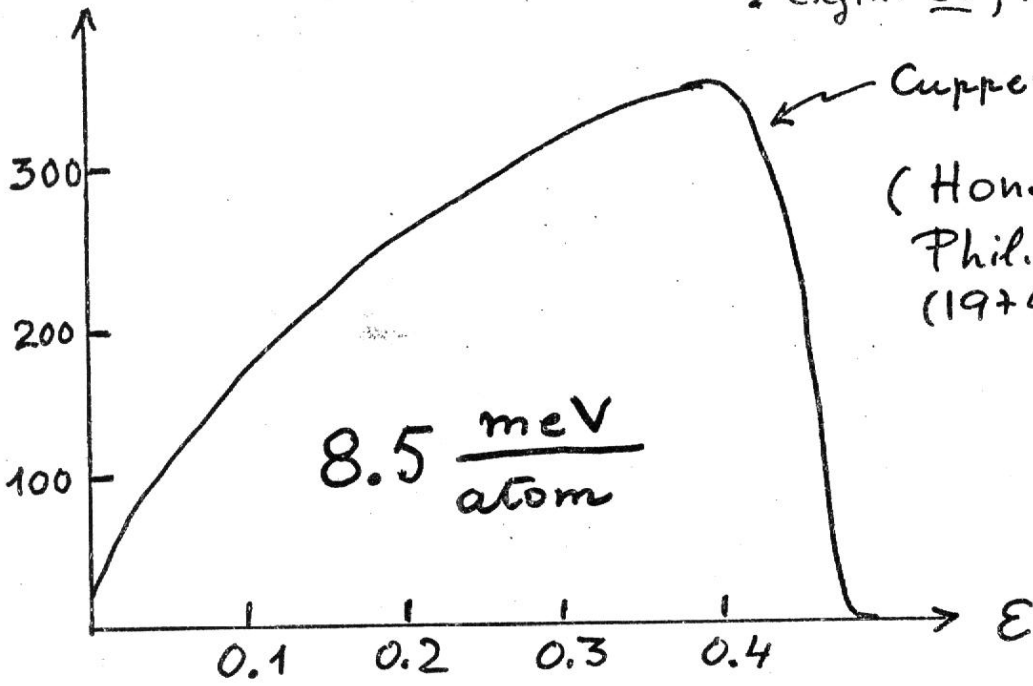
Giulio Belloni,** Giuseppe Bernasconi** and Giovanni Piatti***

IN MECCANICA, JNL OF THE ITALIAN ASSOCIATION OF THEORETICAL AND
APPLIED MECHANICS, JUNE 1977

σ (MPa)

da G. Caglioti, Mat'ls Science & Engin. 26, 153 (1976)

(8)



Austformed H-11 steel,
deformed 80%,
quenched and tempered at 600°F,
strained 2% at 300°F,
aged at 600°F,
tested at 70°F

Fig. 5

CONCLUSIONI

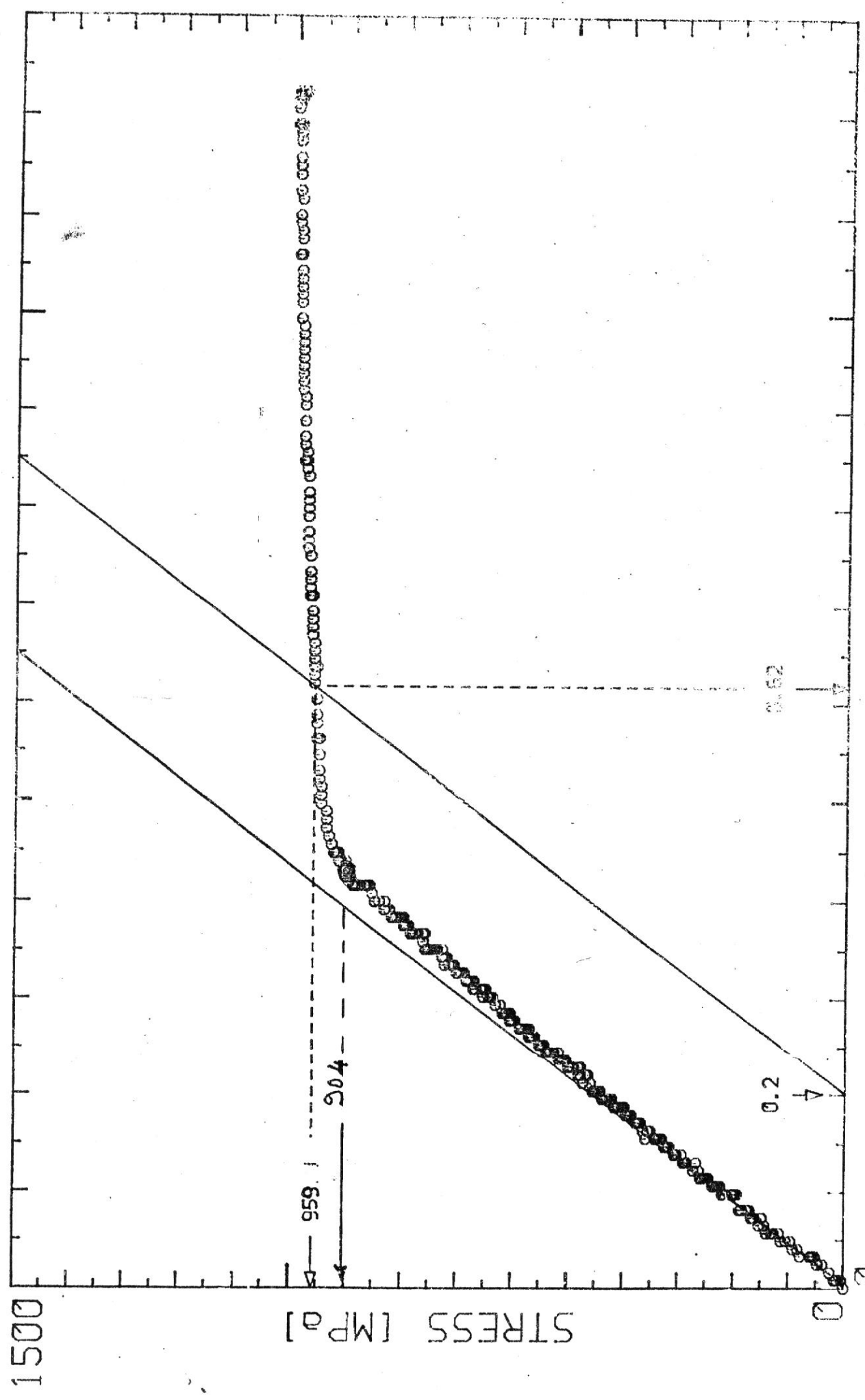
1. L'ENERGIA A FRATTURA DIPENDE ENORMEMENTE DALLE MODALITÀ DI SOLLECITAZIONE
2. SOLO UNA PARTE DEL LAVORO MECCANICO, L , FATTO DALLA SOLLECITAZIONE ESTERNA, E MISURABILE, VA A PRODURRE ENERGIA INTERNA ΔU UTILE PER ROMPERE. UNA PARTE CHE PUÒ ESSERE PERCENTUALMENTE ENORME DEL LAVORO MECCANICO VIENE DISSIPATA SOTTO FORMA DI CALORE, $-Q$, CHE FLUSCE VIA DAL SISTEMA
 ΔU È IN LINEA DI PRINCIPIO ACCESSIBILE IN TERMINI DI $L+Q$
3. TENERE Q SOTTO CONTROLLO È INTERESSANTE, SE NON DOVEROSO (CFR. STUDI SULL'INSTABILITÀ TERMOELASTOPLASTICA)
4. SE ESISTESSE UNA ENERGIA INTERNA CRITICA U^* PER OGNI TEMPERATURA DEL PROVINO, IL DANNEGGIAMENTO POTREBBE ESSERE INTERPRETATO IN TERMINI DI INCREMENTO DI U , CIOÈ DI $\Delta U = L+Q$

da W.E. DORRAN & S. VAGHATI, INSTITUTE OF METALS, 1962

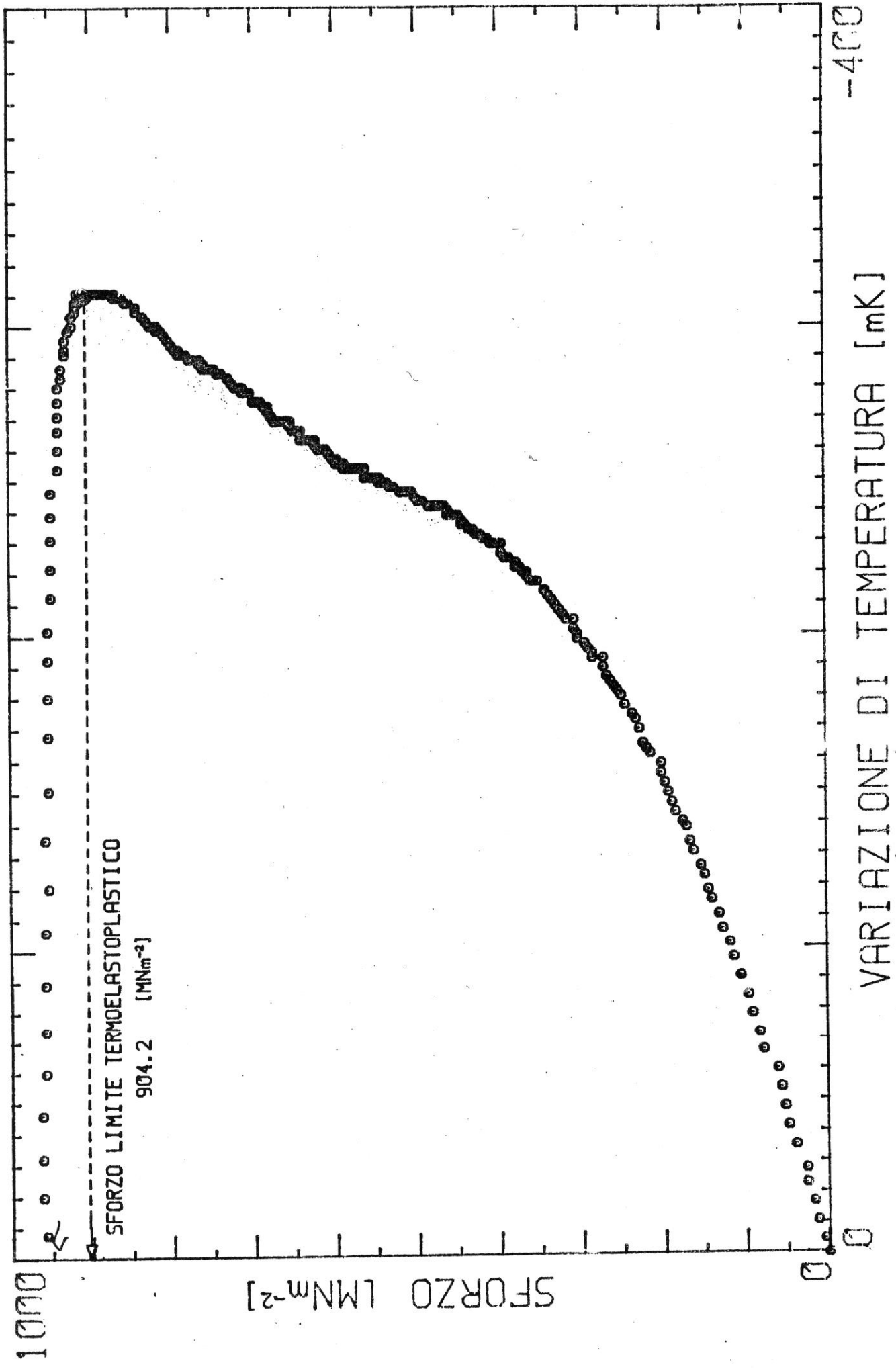
(10)

1.3

STRAIN [%] ϵ



(10)



alla temperatura a -100 mK