

IGF8 - VIII Convegno Nazionale
Gruppo Italiano Frattura
Genova, 27 - 29 maggio 1992

STUDIO DELLE PROPRIETA' DI UN ACCIAIO PER ECONOMIZZATORE IN AMBIENTE ACQUOSO

Autori: L. Torri*, G. Gabetta*, G.M. Quaglia*, F. Bregani**

* CISE Tecnologie Innovative, Segrate (Milano)

** ENEL/DSR-CRTN, Milano

SOMMARIO

Il comportamento a tensocorrosione di un acciaio per economizzatore è stato studiato, in ambiente che simula le condizioni di esercizio, nell'ambito di una collaborazione ENEL/CRTN-CISE. I materiali utilizzati sono stati AQ45, ricavato da un collettore esercito, e A106 Gr.C. Il collettore esercito presentava alcune cricche, nucleatesi da pit di corrosione e propagatesi per tensocorrosione o per corrosione-fatica.

Oltre alle prove classiche di tensocorrosione su campioni cilindrici lisci, sono state svolte alcune prove utilizzando tecniche e campioni di meccanica della frattura. Inoltre alcuni campioni sono stati preparati in modo da mantenere sulla loro superficie esterna l'ossido formatosi in esercizio. Tutti i risultati sono stati analizzati con tecniche di meccanica della frattura, che hanno permesso di valutare la velocità di crescita del difetto e la soglia in termini di sollecitazione o di fattore di intensificazione degli sforzi.

INTRODUZIONE

I materiali sottoposti a carichi variabili nel tempo in ambienti aggressivi sono soggetti a fenomeni corrosivi che possono dare luogo a difetti localizzati che agiscono come siti preferenziali per l'innescò di cricche che si propagano per tensocorrosione e/o corrosione-fatica.

Nell'ambito di una collaborazione ENEL-CRTN è in corso al CISE un programma di prove per caratterizzare il comportamento a tensocorrosione e corrosione-fatica di materiali per componenti di impianti termoelettrici.

In particolare viene considerato il collettore dell'economizzatore di una caldaia a combustibile fossile. Il collettore in questione, mostrato in Fig.1, è un recipiente in pressione con un elevato numero di bocchelli che lo collegano al circuito del preriscaldatore ed ai banchi di tubi dell'economizzatore. Esso contiene acqua in pressione che, nel funzionamento a regime, si trova a temperatura di 200°C. Il ciclaggio termico legato ai transitori operativi può dare luogo a fenomeni di cricatura, tipicamente nella zona di raccordo dei bocchelli, dove più elevata è la concentrazione di sforzi.

E' quindi importante la conoscenza del comportamento del materiale in condizioni che simulano i transitori; in particolare, per una eventuale previsione di vita del componente in presenza di difetti, occorre conoscere la velocità di crescita delle cricche per fatica in ambiente e per tensocorrosione [1]. Un altro aspetto del problema è rappresentato dalla presenza di uno strato di ossido, che può avere influenza sull'innescò di cricche e/o di pit di corrosione.

Nel corso del programma di lavoro descritto nel seguito, sono state utilizzate campioni e tecniche di elaborazione dei dati tipiche della meccanica della

frattura; i risultati hanno dimostrato che questi metodi sono promettenti anche per quanto riguarda lo studio della suscettibilità a corrosione localizzata.

ATTIVITA' SPERIMENTALE

Dopo una prima parte di attività svolta su materiale non esercito (A106 Gr.C), si è passati alla caratterizzazione di materiale (AQ45) ricavato da un collettore della centrale di Livorno, ritirato dall'esercizio per difetti. La composizione chimica dei due materiali è riportata in Tab.1 e 2. Entrambi i materiali hanno struttura di tipo ferritico-perlitica e caratteristiche meccaniche analoghe, per cui sono confrontabili tra di loro.

Sono state effettuate su campioni cilindrici lisci prove di tensocorrosione di tipo Slow Strain Rate (SSR), nelle quali i campioni sono sottoposti, in ambiente, ad una trazione lenta con velocità di deformazione costante. Le velocità di deformazione adottate sono state di $1 \cdot 10^{-6}$, $5 \cdot 10^{-7}$ e $3.3 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$. I campioni sono stati provati sia nella condizione "tal quale" che dopo preossidazione effettuata mantenendoli nello stesso ambiente di prova, per periodi variabili di tempo (Tab.3).

Sono stati inoltre utilizzati campioni C(T) 1", entrambi in A106 Gr.C, sottoposti, in ambiente, ad una trazione lenta con velocità di trazione costante ($1 \cdot 10^{-6}$ e $5 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$).

Sia le prove di tensocorrosione tradizionali che le prove su campioni C(T) sono state effettuate in acqua satura di ossigeno alla temperatura di 200°C , pressione 8 MPa e conducibilità di $10 \text{ }\mu\text{S/cm}$, ottenuta con aggiunta di ammoniaca.

Inoltre sono stati utilizzati alcuni campioni di disegno particolare, mostrato in Fig.2, su cui, in alcuni casi, è stato mantenuto lo strato di ossido formatosi in esercizio, per studiarne l'effetto sulla nucleazione e successiva propagazione dei difetti. Lo strato di ossido sul collettore (esaminato al SEM e con raggi X) è formato in gran parte di magnetite (Fe_3O_4) che esternamente si presenta sotto forma ottaedrica.

Le prove su tale tipo di campioni sono state svolte a carico costante, in un'autoclave contenente acqua satura di ossigeno a 200°C , pressurizzata a 100 atm e avente conducibilità di $10 \text{ }\mu\text{S/cm}$; i campioni, posti in trazione dalla pressione interna dell'autoclave, avevano spessori differenti in modo da ottenere differenti livelli di sollecitazione (da $0.6 \sigma_{s0}$ fino a $1.3 \sigma_{s0}$).

I campioni, al termine delle prove, sono stati osservati al microscopio ottico ed al microscopio a scansione per esaminarne la microstruttura, lo spessore di ossido e la superficie di frattura.

ANALISI DEI RISULTATI

Prove SSR

I risultati delle prove SSR sono riassunti in Tab.4. Per poter ottenere altri parametri utili per definire il comportamento del materiale (tempo di innesco, carico di innesco, velocità di propagazione dei difetti) si è utilizzato un metodo di elaborazione dei risultati sperimentali che utilizza l'analisi elasto-plastica semplificata del campione secondo EPRI Engineering Approach [2,3]. Tale metodo si basa sul confronto tra la curva carico-allungamento del campione, ottenuta in ambiente, ed una famiglia di curve teoriche relative alle diverse profondità di cricca (Fig.3). Utilizzando questa famiglia di curve si riesce a determinare graficamente il carico effettivo corrispondente all'innesco di una cricca. Dato che le prove si svolgono a velocità di trazione costante, è possibile sovrapporre ai valori dell'allungamento i corrispondenti valori di tempo. Questo permette di stimare il tempo di innesco, e i valori di velocità di propagazione media della cricca.

Il tempo di innesco calcolato con i metodi di meccanica della frattura è in buon accordo con quello stimato utilizzando la procedura descritta nella norma ISO 7539-7, entrambi riportati in Tabella 4. I tempi calcolati secondo normativa sono conservativi rispetto a quelli ottenuti con l'elaborazione

elasto-plastica.

Utilizzando il grafico carico-tempo di prova ed associando ad ogni valore di carico il corrispondente valore di profondità di cricca, si può inoltre ottenere il grafico da/dt vs K relativo alla coppia materiale-ambiente in esame, mostrato in Figura 4.

Prove su campioni C(T)

Sono state effettuate due prove su campioni C(T): il primo campione, siglato 1T, è stato provato nella condizione "tal quale", dopo precriccatura a fatica con lunghezza di cricca pari a 28.3 mm; il secondo campione, siglato 2T, è stato provato dopo preossidazione di 45 giorni ma senza precriccatura iniziale. La crescita delle cricche nel corso delle prove è stata monitorata con la tecnica del Potential Drop [4]. I parametri di prova ed i risultati più importanti sono riassunti in Tabella 5. Per il calcolo del K , nel caso del campione non precriccato, è stato utilizzato il metodo di calcolo relativo alle piccole cricche, ipotizzando che l'ossido si comporti come una cricca di profondità pari allo spessore dell'ossido stesso [5].

Prove a carico costante

Sono stati provati 15 campioni a carico costante in autoclave, di cui cinque nella condizione "tal quale", cinque preossidati nello stesso ambiente di prova per 20 giorni ed infine cinque su cui è stato mantenuto l'ossido originale. Le condizioni sperimentali ed i risultati ottenuti sono riassunti in Tabella 6.

Anche in questo caso con i metodi di meccanica della frattura [6] è possibile fare una stima sia pure approssimata del livello di K corrispondente all'inizio della fase di crescita del difetto, essendo presente sulla superficie di frattura dei campioni con ossido originale una cricca o pit da cui si è avuta la propagazione. Il valore di K così ottenuto può essere confrontato con quelli ottenuti utilizzando gli altri metodi di prova.

Osservando i risultati si può notare che:

- soltanto un campione tal quale e tre campioni con ossido originale sono giunti a rottura;
- il campione con il valore di K di 5 MPa \sqrt{m} aveva subito un leggero disassamento nella fase di montaggio;
- i tre campioni, con ossido originale, che si sono rotti avevano una sezione resistente ridotta dalla presenza di cricche o pit formatisi in esercizio. Un esempio della superficie di frattura di uno di questi campioni è mostrata in Fig.5: è evidente la presenza di una cricca iniziale da cui si è avuta la propagazione.

CONCLUSIONI

Le prove svolte hanno permesso di ottenere una stima della suscettibilità a tensocorrosione del materiale del collettore dell'economizzatore, in ambiente che simula l'esercizio. In Fig.6 sono riassunti i dati ottenuti, che permettono di affermare che:

- il valore di K di soglia per la crescita delle cricche in ambiente è di circa 10 MPa \sqrt{m} ;
- la velocità di propagazione è dell'ordine di 10^{-5} mm/s.

Dal confronto tra i risultati ottenuti con tipi di campioni e tecniche di prova differenti emerge chiaramente che i metodi di analisi dei dati utilizzati nella meccanica della frattura sono utili per determinare i parametri di tensocorrosione.

La presenza di ossido sulla superficie dei campioni ha causato un abbassamento del K di soglia (vedi Fig.6), ma non ha nessuna influenza sulla velocità di propagazione dei difetti, come peraltro era da aspettarsi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] B.A.James ed al. "Low Cycle Fatigue Crack Initiation in SA-210 Carbon Steel Boiler in Contaminated Boiler Water", PVP-Vol.195, Fatigue, Degradation and Fracture, 1990
- [2] EPRI NP-1931 "An Engineering Approach for Elastic-Plastic Fracture Analysis", Luglio 1981
- [3] G.Gabetta ed al. "A Model for Environmentally Assisted Crack Growth Rate", Environmentally Assisted Cracking, ASTM-STP 1049, 1990
- [4] V.Bicego ed al. "J-R Curve Testing Utilizing the Reversing Direct Current Electrical Potential Drop Method", ASTM Symposium on the application of Automation Technology, 1989
- [5] H.J.Westwood ed al. "Corrosion Fatigue Cracking in Fossil-Fueled Boilers", J. Mater. Eng., Vol.9, 1987, pp. 163-173
- [6] C.Newman e I.S.Raju "An Empirical Stress Intensity Factor Equation for the Surface Crack", Engn. Fracture Mech., Vol.15, 1981

Tab.1 Analisi chimica (% in peso) dell'acciaio A106 Gr.C

C	Mn	Si	P	S	Al
0.21	1.00	0.25	0.008	0.018	0.005

Tab.2 Analisi chimica (% in peso) dell'acciaio AQ45

C	Mn	Si	P	S	Al
≤0.22	0.5	0.10+0.35	≤0.035	≤0.035	/

Tab.3 Tempi di pre-ossidazione dei campioni per prove di tensocorrosione

Campione	Materiale	Tempo di pre-ossidazione (giorni)
C7	A106 Gr.C	22
C9	A106 Gr.C	0
C20-C21	AQ45	0
C30	AQ45	20
C31	AQ45	30

Tab.4 Risultati delle prove SSR su campioni cilindrici lisci

Campione	C7	C9	C20	C21	C30	C31
Velocità deformazione (s ⁻¹)	1*10 ⁻⁶	1*10 ⁻⁶	1*10 ⁻⁶	1*10 ⁻⁶	5*10 ⁻⁷	3*10 ⁻⁸
Tempo di innesco ISO 7539-7 (ore)	4.3	8	8.1	4.6	47	450
Tempo di innesco elab. elasto-plastica (ore)	4.8	4.9	4.8	4.8	40.6	476.6
Strizione %	20.4	19.7	19.8	16.7	11	8
% TGSCC	11.7	8.3	8.8	8	9.4	27
σ _{massima} (MPa)	495	490	477	471	457	370
σ _{rottura} (MPa)	490	485	414	408	424	293
da/dt (mm/s)	2.2*10 ⁻⁵	2*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻⁵	1.6*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻⁶	4.8*10 ⁻⁶
K _I (MPa)	21.4	19.5	15	16	9.1	15.7

Tab.5 Condizioni sperimentali e risultati dei campioni C(T)

Campione	K _I (MPa√m)	da/dt (mm/s)
1T	75*	2.2*10 ⁻⁵
2T	12.6	2.9*10 ⁻⁶

*nel corso di tale prova si è avuta la rottura delle spine del campione

Tab.6 Condizioni sperimentali e risultati delle prove a carico costante (campioni rotti).

Campione	Spessore (mm)	Stato superficia le	Cricca iniziale (mm)	σ applicata (MPa)	K_I (MPa \sqrt{m})
E1	1.27	ossido originale	1.2	302.2 ($1.6\sigma_{sn}$)	15.2
D1	1.37	ossido originale	1.54	297.7 ($1.57\sigma_{sn}$)	17.1
B1	1.83	ossido originale	0.2	179 ($0.95\sigma_{sn}$)	5.1
D2	1.37	tal quale	/	231 ($1.2\sigma_{sn}$)	/

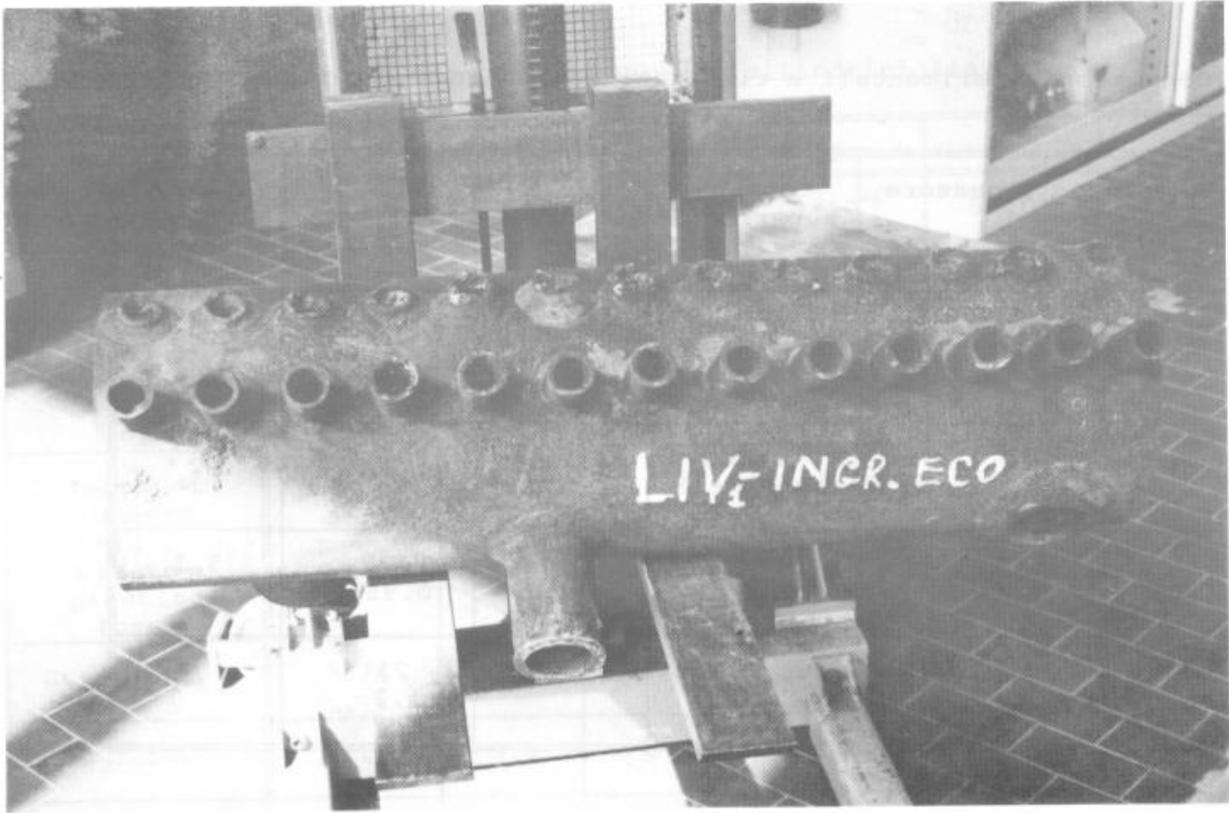


Fig.1 - Foto del collettore di economizzatore esaminato

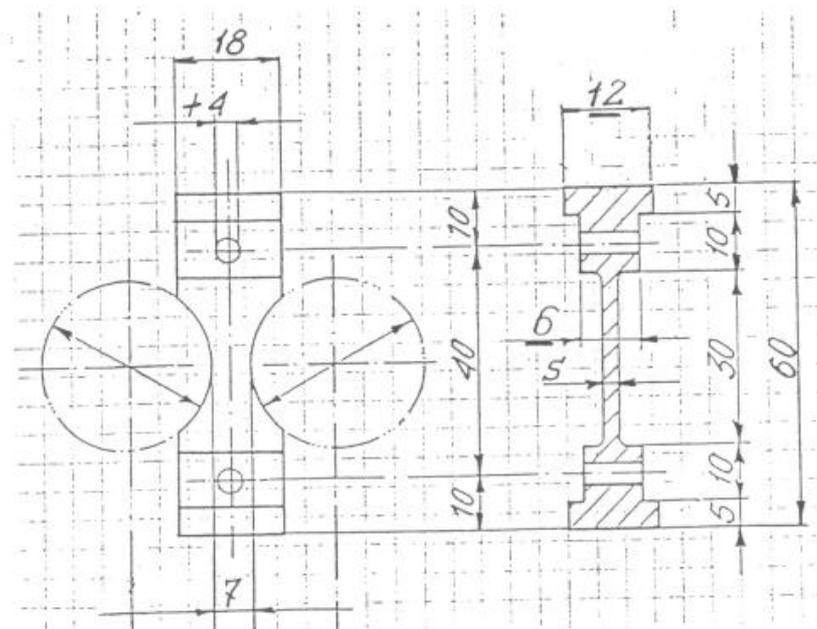


Fig.2 - Disegno dei provini ricavati dal collettore esercito su cui è stato mantenuto l'ossido prodottosi in esercizio

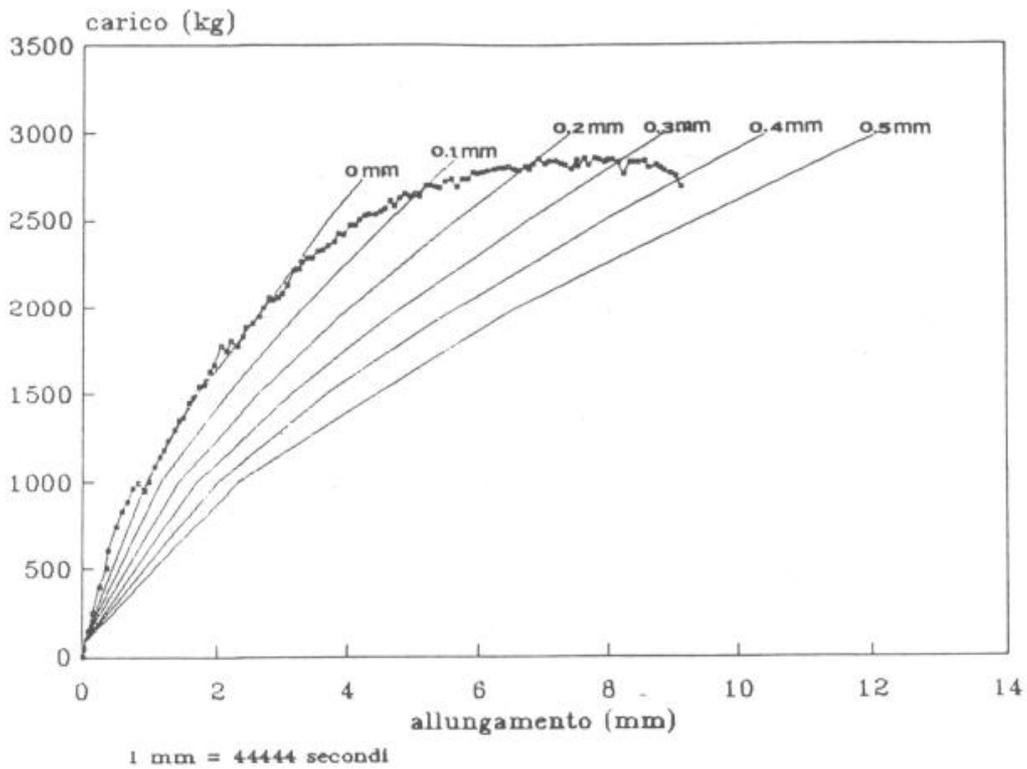


Fig.3 - Confronto tra la curva carico-allungamento sperimentale e la famiglia di curve ottenute con l'elaborazione elasto-plastica.

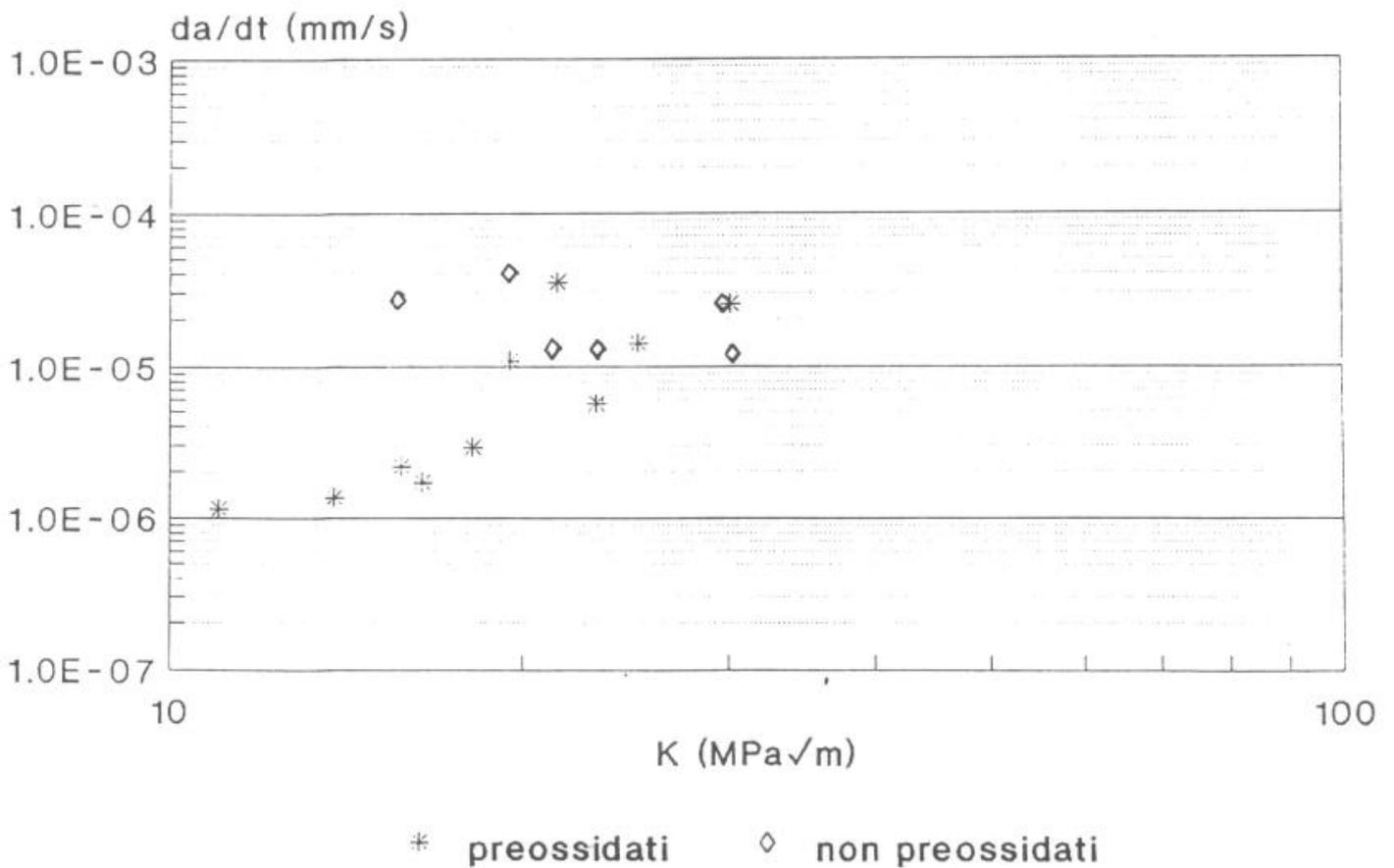


Fig.4 - Grafico da/dt vs K relativo ai campioni cilindrici lisci.

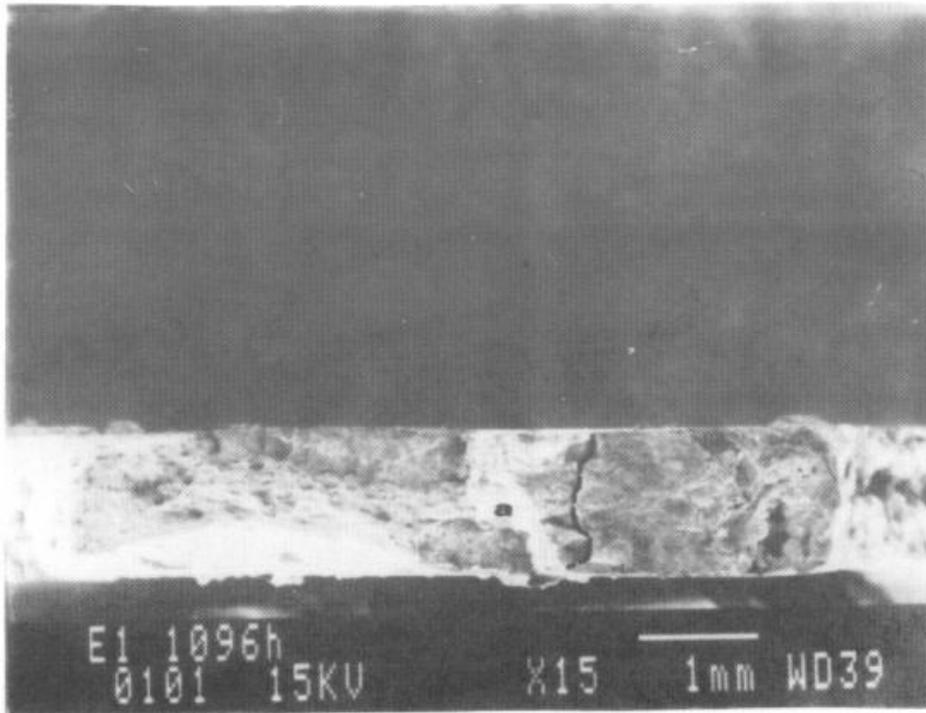


Fig.5 Superficie di frattura di un campione con ossido originale (si può notare la cricca iniziale)

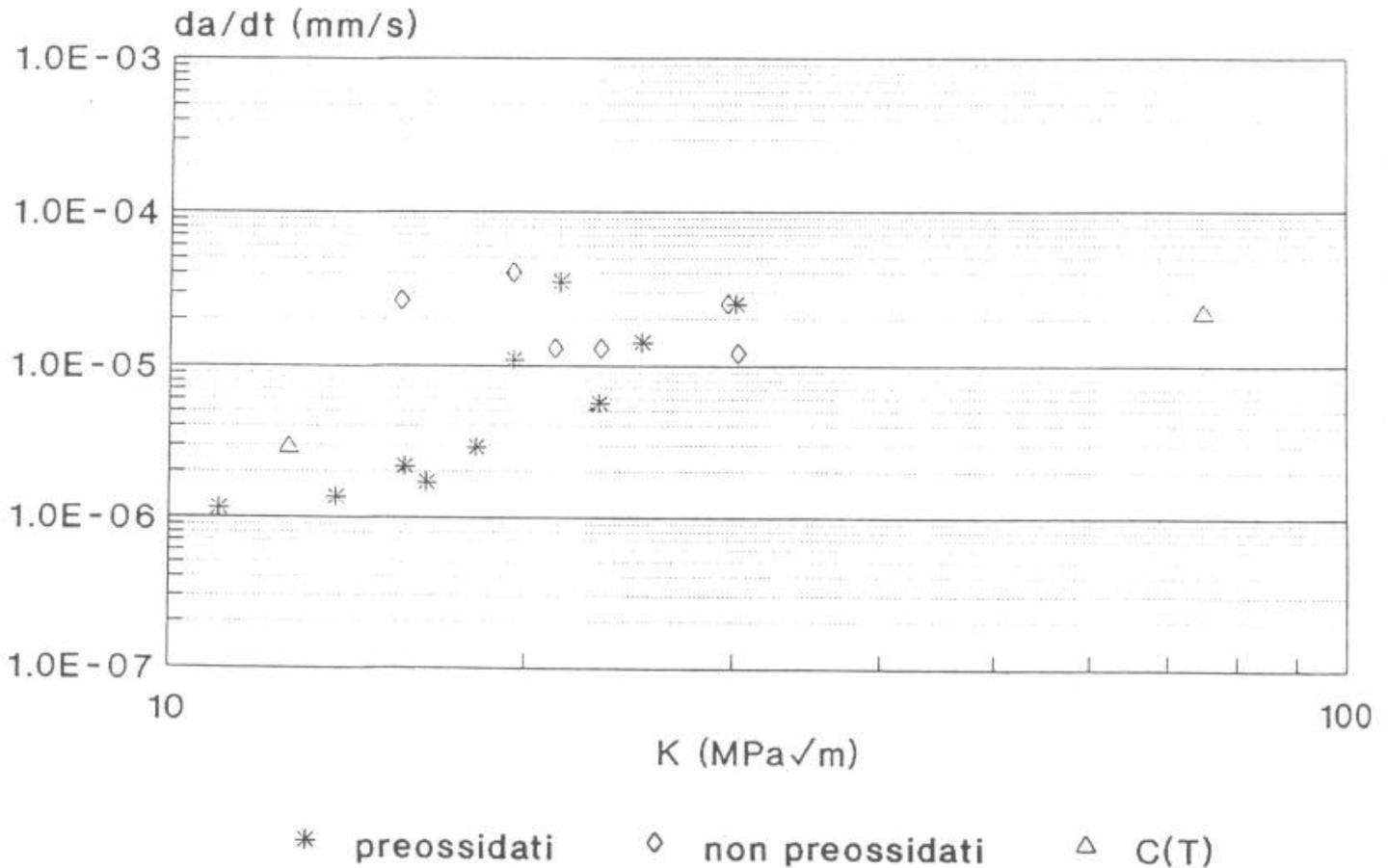


Fig.6 - Repilogo delle velocità di tensocorrosione ottenute con le diverse tecniche sperimentali