

# Tecniche analitiche e frattografiche di caratterizzazione di un fenomeno di rottura

M. Mantovani, P. Miselli

*Nel presente lavoro viene studiata la causa di rottura di un albero motore di un autocarro durante l'esercizio, attraverso differenti tecniche analitiche e microscopiche in grado di evidenziare le cause che hanno provocato tale anomalo comportamento del materiale.*

*Scopo di tale lavoro è pertanto quello di mostrare come alcune delle tecniche analitiche siano in grado di caratterizzare un prodotto di questo tipo e di portare quindi alla risoluzione del problema attraverso opportuni interventi sul materiale.*

**Parole chiave: fatica, acciaio, microscopia elettronica**

## INTRODUZIONE

Nel presente lavoro viene studiata l'improvvisa rottura, avvenuta durante l'esercizio, di un albero motore usato su autocarro; tale frattura si è verificata in modo imprevisto senza alcun preavviso dopo una vita in esercizio pari a circa 100000 Km percorsi, unica informazione per altro circa le modalità di utilizzo.

Assieme al saggio, è stato consegnato anche un disegno di progetto e le relative specifiche richieste al particolare in esame (tabella I).

Da segnalare che la rottura in esame è da considerarsi un caso isolato in quanto, gli alberi appartenenti allo stesso lotto ed in generale allo stesso tipo di produzione, hanno mostrato una vita in esercizio molto superiore.

## PROCEDURA SPERIMENTALE

Per cercare di fornire una eventuale spiegazione circa le cause e le modalità della rottura si è proceduto prima di tutto ad effettuare un esame visivo che, oltre ad avere lo scopo di mettere in evidenza la presenza di eventuali anomalie, consente anche di ottenere informazioni utili circa le modalità di frattura.

L'esame visivo prevede inoltre uno studio della superficie di rottura e delle zone a questa adiacenti, attraverso l'osservazione sia ad occhio nudo che attraverso l'ausilio di uno stereomicroscopio (Nikon SMZ-2T).

In seguito sono stati prelevati diversi saggi per consentire sia un esame metallografico al microscopio ottico (Nikon OPTIPHOT) sia un'osservazione al microscopio elettronico a scansione (JEOL JSM-5500); per tali analisi i campioni sono stati opportunamente preparati attraverso un inglobamento di una sezione trasversale al piano della propagazione. I tagli sono stati effettuati con una troncatrice metallografica e, infine, i campioni sono stati lucidati con carte abrasive (si è partiti da carta abrasiva con granulometria 180 fino

a panni con pasta diamantata da 1  $\mu\text{m}$ ).

Viste le dimensioni del campione sottoposto all'esame, è stato possibile fare sia una prova di trazione (con GALDABINI PM 20t) che un monitoraggio di microdurezza superficiale (microdurometro SHIMADZU TYPE M) oltre che una analisi chimica del materiale (tramite spettrometro di emissione al plasma THERMO JARREL ASH IRIS II ADVANTAGE) per poter verificare se le specifiche di progetto siano state o meno rispettate.

## RISULTATI

### Esame visivo

Dall'esame visivo è stato possibile osservare che la rottura è avvenuta in corrispondenza del raccordo alla base del contrappeso. Dall'immagine di seguito riportata si rileva una superficie sostanzialmente piatta, priva di deformazioni plastiche evidenti; si riscontra inoltre la presenza di segni dalla morfologia concoidale (linee di arresto) tipiche del fenomeno di fatica ed imputabili alle variazioni del carico di esercizio (fig.1).

Da una attenta osservazione della superficie di rottura è possibile distinguere chiaramente la presenza di alcuni ratchet

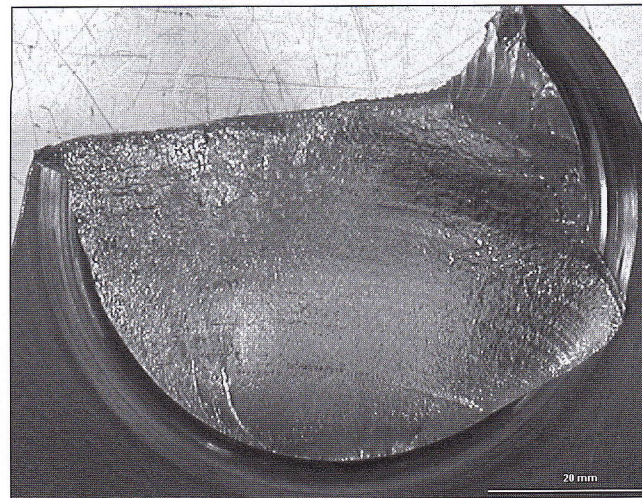


Fig.1 - Immagine al microscopio ottico (circa 1X) della zona di frattura.

Fig.1 - Optical microscope image ( $\approx 1X$ ) of the fracture surface.

M. Mantovani,  
EuroLab Garanzia Qualità s.r.l., Campogalliano, MO

P. Miselli,  
Laboratorio di Caratterizzazione dei Materiali e Polveri,  
DemoCenter Soc. Cons. a r.l., Modena

Parametri del campione	Specifiche di progetto	Risultati ottenuti
Carico di rottura minimo	850 MPa	943MPa
Profondità efficace di indurimento	0.2 mm	0.2 mm

Tabella I - Specifiche del materiale in esame.

Table I - Characteristics of the material in examination.

marks posizionati con geometria radiale in corrispondenza della parte esterna del diametro.

Lo stadio di propagazione stabile della cricca di fatica interessa oltre metà della superficie di rottura; oltre questa zona si rileva la presenza di una struttura fibrosa che è probabilmente stata prodotta durante la fase di propagazione instabile (schianto finale).

Da tali osservazioni non si rilevano tuttavia particolari anomalie che possano giustificare la prematura rottura del componente.

**Specifiche di progetto**

Al fine di confermare l' idoneità del materiale, sono state effettuate prove di caratterizzazione fisiche e chimiche del campione. La tabella I riporta le specifiche di progetto fornite con il campione e i risultati ottenuti dalle caratterizzazioni effettuate.

Il valore di resilienza medio rilevato è pari a KV = 64 J.

Dall' analisi chimica, il materiale è classificabile come un 42CrMo4 secondo la UNI 7845, come richiesto dalle specifiche di progetto consegnate (vedi tabella II).

Tutti i parametri meccanici verificati, unitamente alla com-

C	0.41 %
Mn	0.80 %
Si	0.24 %
P	0.006 %
S	0.036 %
Cr	1.12 %
Ni	0.12 %
Mo	0.19 %
Cu	0.17 %
Sn	0.010 %
Al	0.024 %
Ti	0.016 %

Tab. II - Composizione chimica (% in peso).

Tab. II - Chemical composition (% in weight).

posizione chimica dell' acciaio, sono quindi risultati conformi alle specifiche di progetto.

**Esame microstrutturale**

L' esame, eseguito attraverso il microscopio elettronico a scansione, è stato effettuato sia sulla superficie di rottura del componente che in corrispondenza della superficie laterale maggiormente prossima.

Le immagini di seguito riportate mostrano la presenza di striature di fatica collocate nella zona del campione soggetta alla propagazione stabile della cricca (fig.2).

La presenza di striature di fatica, sebbene poco marcate a causa della complessità microstrutturale dell' albero, confermano tuttavia il fatto che la frattura si sia verificata a causa di un fenomeno di fatica.

La figura 3 mostra la zona molto probabilmente responsabile dell' innesco del fenomeno di fatica; la zona evidenziata in figura manifesta la presenza di un evidente difetto superficiale. Le immagini di figura 4 evidenziano la presenza di un notevole numero di difetti localizzati nell' area immediatamente adiacente quella di rottura del componente.

La morfologia dei difetti riscontrati è riconducibile a pitting di corrosione, alcuni dei quali risultano anche uniti da cricche trasversali all' asse dell' albero.

Per verificare l' eventuale presenza di elementi anomali re-

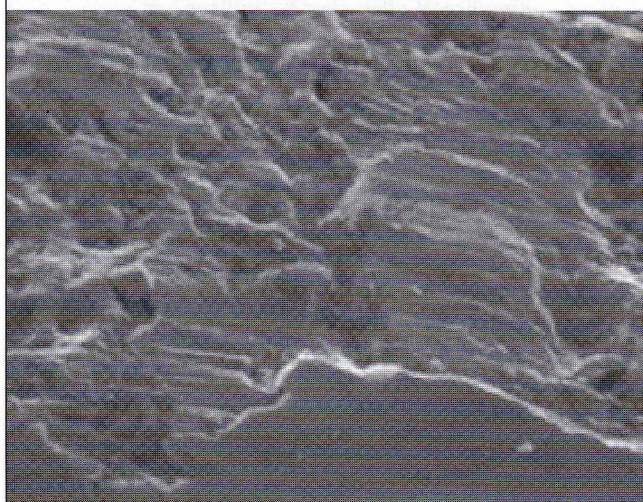
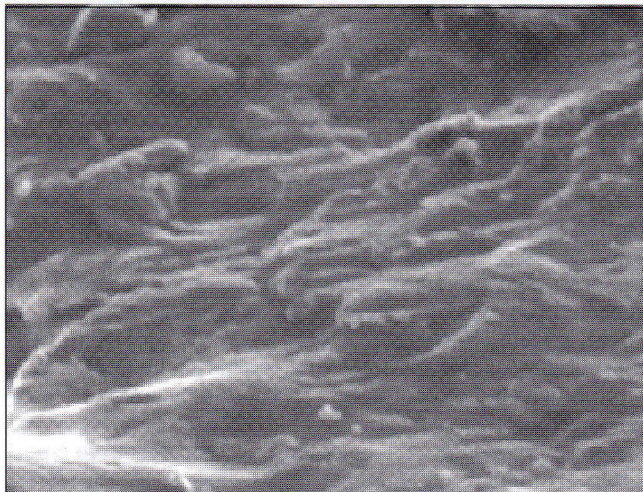


Fig. 2 - Immagini SEM (1250X) in corrispondenza della zona di frattura.

Fig.2 - SEM images (1250X) on the fracture surface.

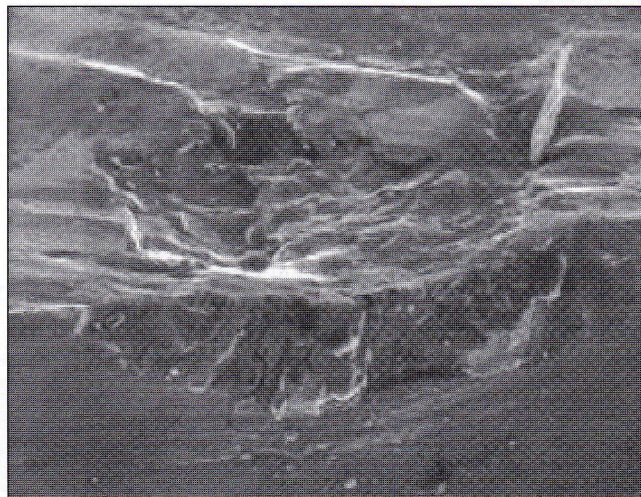


Fig. 3 - Immagine SEM (330X) del difetto superficiale sulla superficie di frattura.

Fig.3 - Sem image (330X) of the superficial defect on the fracture surface.

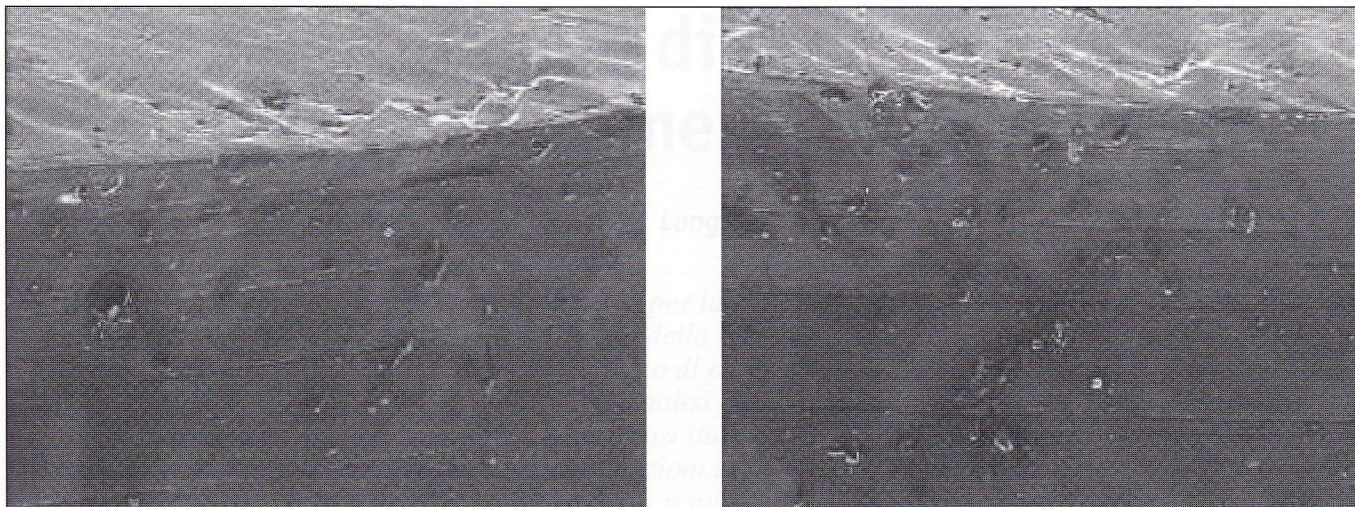


Fig. 4 – Immagini SEM (80X) dell'area adiacente alla superficie di rottura.

Fig. 4 – Sem images (80X) of the failure's adjacent area.

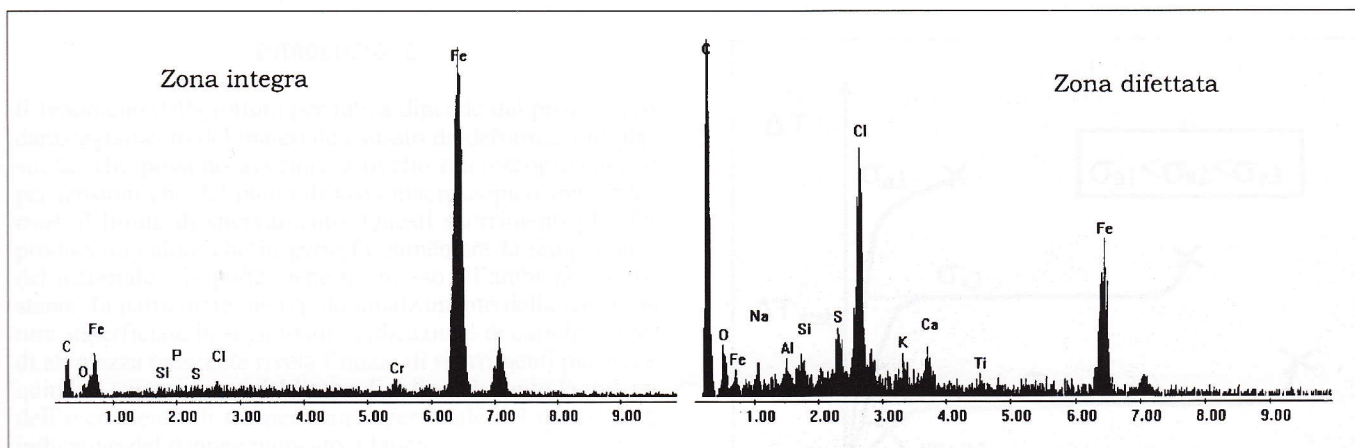


Fig. 5 – Spettri EDS della composizione chimica qualitativa della zona integra e di quella difettata.

Fig. 5 – EDS spectra performed in an entire and defected area.

sponsabili della formazione dei pits sono stati raccolti spettri di composizione chimica attraverso la microanalisi in dispersione di energia (Philips DX-4) del microscopio elettronico a scansione; comparando gli spettri qualitativi rilevati in corrispondenza del fondo di alcuni pits con quello rilevato in zone non interessate dal fenomeno corrosivo (prive di difetti) è stato evidenziata la presenza di Cl in elevata concentrazione in corrispondenza del fondo delle cavità superficiali riscontrate (figura 5).

**Esame metallografico**

L'esame metallografico del provino inglobato ha posto in evidenza la presenza di martensite allo stato di rinvenimento distribuita in modo omogeneo e priva di particolari anomalie; la dimensione del grano appare conforme.

Si è rilevata inoltre la presenza di un rivestimento superficiale di nitrurazione che è risultato generalmente uniforme; lo spessore medio dello strato di coltre bianca è risultato pari a 12 µm.

La figura 6 mostra come in alcune zone vi sia la formazione di cavità da cui si dipartono delle cricche di fatica concorrenti a quella che hanno portato alla rottura del componente. Come si osserva dall'immagine sopra riportata, la morfologia della propagazione è di tipo transgranulare con direzione di propagazione perpendicolare alla superficie esterna, a conferma nuovamente di una tipica morfologia del fenomeno di fatica.

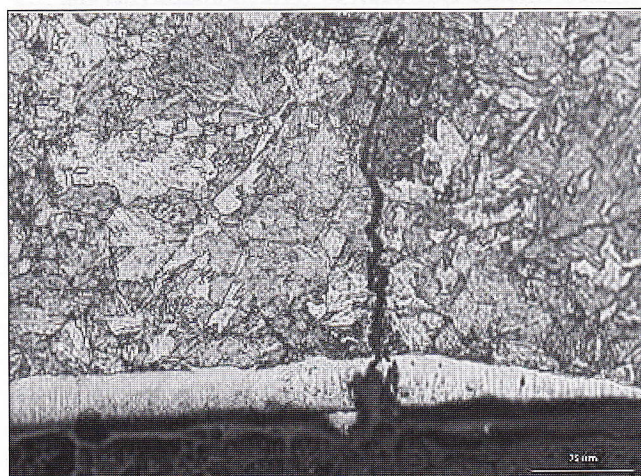


Fig. 6 – Immagine al microscopio ottico(520X) di una cricca.

Fig. 6 – Optical microscope image of a superficial crack (520X).

**CONCLUSIONI**

Da un punto di vista sia meccanico che geometrico l'albero è risultato conforme alle specifiche di progetto; dai risultati ottenuti dalle prove di caratterizzazione del campione, la scelta del materiale ed il suo stato di fornitura appaiono

conformi al tipo di applicazione di destinazione.

La rottura è probabilmente da imputarsi alla formazione dei pits che in corrispondenza del raccordo hanno creato un punto di concentrazione delle tensioni di esercizio.

Il fatto che il materiale in esame sia del tipo attivo - passivo e la concentrazione anomala di Cl rilevata in corrispondenza delle cavità portano a confermare l'ipotesi sopra evidenziata.

Si ritiene quindi che la causa che ha portato il componente alla rottura sia classificabile come un fenomeno di rottura a fatica che si è innescato in corrispondenza di pits di corrosione preesistenti.

Pertanto il fenomeno di rottura potrebbe essere evitato assicurandosi che lo stato superficiale dell'albero non venga a diretto contatto con ambienti nocivi da un punto di vista corrosivo ed effettuando comunque controlli non distruttivi periodici per mantenere monitorato il materiale evitando così improvvise rotture.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] "Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys", autori vari, ASM international, 1990.
- [2] "Failure analysis and prevention", autori vari, ASM international, 1995.
- [3] "Metallography and microstructures", autori vari, ASM international, 1998.
- [4] "Corrosione e protezione dei metalli", G. Bianchi F. Mazza, Masson, 1989.
- [5] "Corrosion", autori vari, ASM international, 1998
- [6] "Handbook of case histories in failure analysis vol.1 e 2", autori vari, ASM international, 1996
- [7] "I criteri di scelta e di trattamento degli acciai da costruzione e da utensili", C.Cibaldi, Edito in proprio dall'autore e dalla soc. ANALISI DI CIBALDI DOTT. CESARE & C. snc, 1990

#### A B S T R A C T

##### ANALYTICAL AND FRACTOGRAPHIC TECHNIQUES FOR CHARACTERIZATION OF A MECHANICAL FAILURE

*The case in examination concerns the sudden failure of a track's drive shaft occurred during services.*

*The breakage occurred without any advise after a service life of about 100000 km.*

*There aren't ulterior informations concerning the utilizing of the shaft except that above mentioned involving the during services.*

*The sample was given with its specifics design of the producer to verify if the project requests were respected.*

*It's important to underline that the failure which involved the drive shaft was a sporadic case and that in general the services life of the batch components was greatly major.*

*In this article we expose the technical approach to the shaft's failure for investigate the reason of the premature damage.*

##### Experimental procedure

*The inspection was done in order to find the failure's causes and the breakage mechanism involved; in doing this the first test performed was the visual inspection.*

*The as received failed shaft was carefully examined both visually and with the aid of a stereoscopic microscope in order to discover the presence of some anomalies and to better understand the failure mode.*

*In a second moment samples were cut for SEM, metallography, chemical and mechanical inspection.*

*Some of this samples were prepared by mounting them in plastic and then grinding and polishing.*

*The metallographic test was conducted in a direction perpendicular to that involved in the crack's propagation stage. The cuts were done by a cutoff wheel; the grinding and polishing stages were performed in the known modalities.*

*The drive shaft's dimensions permit also to conduct a tensile test, a chemical inspection, a microhardness examination and a Charpy toughness test to verify if the project requests were respected.*

*The toughness test was done on three samples obtained in the longitudinal direction.*

##### Conclusion

*All the tests performed on the shaft have shown that the material was conforming to the specific of project.*

*The inspection effected by SEM has clearly evidenced the presence of striations in a large portion of the fracture surface.*

*An ulterior inspection has put in evidence the presence of pitting of corrosion containing an anomalous concentration of chlorine near the nucleation area (the nucleation area was identified by the presence of several ratchet marks around the external diameter).*

*A direct correlation between the corrosion process (pitting) and the stable propagation crack was found so we can say that from these pittings a fatigue crack nucleated and lead the shaft to failure (the stress concentration produced by the pit has shortened the first stage of the fatigue life of the shaft).*