



## Complex damaging analysys: integrated approach among fractography and other disciplines of evaluation and investigation

### Analisi di danneggiamenti complessi: approccio integrato tra frattografia ed altre metodologie di controllo ed analisi

A. Scanavini, F. Papazzoni, D. Cassinera  
TEC Eurolab Srl, , viale Europa 40, 41011, Campogalliano (MO)

---

**ABSTRACT.** *Failure analysis* is a scientific discipline that, by means of the correct laboratory testing, allow to identify the physical rootcauses of failure and describe how the component missed the designed expectation. But a failed component is not just a fractured particular: for instance a deformed pipe under creep service conditions could not present a fracture surface if its damage is detected in the second step of stationary creep damage or a brazed vessel which loses inner pressure since the base material is affected by Liquid-Metal Embrittlement.

A particular case of Failure Analysis is the fracture of mechanical components; in this case the aim of the analysis is to identify the initiation points, the fracture mechanism and the eventual critical points.

This information, combined to the quantitative understanding of stressors, consents to formulate hypotheses about the failure causes.

The right methodological *modus operandi* to approach a Failure Analysis, is constituted by a series of steps that we may reassume in this way: Collecting of background data (design data, assembly data, specification data, base material specifications, heat treatments, superficial coatings, etc), Inspection and sampling (to avoid contamination and damaging of strategic sources of information like surfaces of fracture), Photographic documentation as it, Macrographic analysis and Fractographic analysis.

This information combined allows to identify the mechanism of damaging (brittle, ductile or fatigue mechanism or more often a great mix of the previous ones), the context of the rupture and the origin of the problem.

Further analysis such: Non Destructive Test (Visual Test, Magnetic particles Test, Ultrasonic Test, Penetrant Test, Radiographic Test, Eddy Current Test and Metallographic Replica Test), Extensometric analysis, Material characterization (chemical and mechanic properties), Micrographic examination and Micrographic and Fractographic check in the origin point, synergically combined with the previous information, give us tools to generate hypotheses about the root causes of the damaging.

In case of simple damage, every contribute fits with the others in a natural way.

In case of complex damage, the interaction between different discipline and competence rises to a critical point and the scheduling of the inspection test is not so easy to define.

A series of practical examples will show how the synergism between the Fractographic analysis and the other investigation methods guide successfully the analyst in the approach to complex cases characterized by multiples boundary conditions.



A mixture of a crushed piston and its coupled liner coming from a power generation engine has been investigated with classical failure analysis test; the root cause could be found by means of physical and chemical parameters checking of the cooling fluid.

A GMAW welding connecting a pipe and a bottom plate systematic failure has been investigated with a crossed approach starting from NDT examination to define the magnitude of the damaging to a Finite Element Method to redesign the geometry of the chamfer. The new drawing was certificated with welding procedure specification and also the welders were trained and certified too.

A low voltage cable consisting of multiples silver plated copper microwires has been observed wire to wire in order to define the failure mode. Several fracture surfaces were investigated founding multiple flexural loads fatigue due to material damages. Anomalous assembly lay out and non metallic coating not correctly fixing the wire were the root causes.

An heat exchanger dedicated for food purpose was preliminarily investigated with Remote Visual Inspection with endoscopy in order to find out the best location to be sampled and sent to the failure lab. The austenitic sample was affected by several types of corrosion phenomena (pitting corrosion, crevice corrosion, stress corrosion cracking) and the root cause was identified only with chemical and physical analysis of the inner fluid, since the metallurgical checkout of the exchanger did not evidence a smoking gun unconformable results.

**SOMMARIO.** Un caso particolare di failure è rappresentato dalla rottura di un manufatto, in questo caso gli obiettivi principali della *Failure Analysis* constano nella determinazione del meccanismo di rottura, nella localizzazione dei punti di innesco e nell'identificazione delle possibili criticità. Queste informazioni, in aggiunta alla conoscenza dello stato tensionale del particolare, consentono di effettuare ipotesi sulle cause di rottura.

Il corretto modus operandi metodologico nell'approccio ad una *Failure Analysis*, prevede una serie di passi che possono essere schematizzati come segue: raccolta di informazioni preliminari sul particolare in oggetto, sopralluogo e campionamento, documentazione fotografica allo stato, analisi macrografica, analisi frattografica.

L'insieme di queste operazioni consente di identificare il meccanismo di danneggiamento, il contesto in cui è avvenuta la rottura e da dove si è originato il problema.

Ulteriori analisi come: prove non distruttive (VT, MT, UT, PT ed RT), analisi estensimetriche, verifica delle caratteristiche chimiche e meccaniche del materiale, controllo della microstruttura, controllo mirato sull'origine sia frattografico che micro strutturale, unite alle informazioni fornite dalle precedenti analisi, consentono di effettuare ipotesi sulle cause di rottura. Nel caso di danneggiamenti semplici, questi diversi contributi si integrano organicamente nel quadro generale, ma in presenza di danneggiamenti complessi le interazioni fra le diverse discipline ed aree di competenze possono rappresentare un punto critico nella pianificazione del lavoro e nel raggiungimento dell'obiettivo finale.

**KEYWORDS.** Failure analysis; Controlli non distruttivi; Approccio integrato.

---

## LA FAILURE ANALYSIS

**L**a *Failure Analysis* è la disciplina scientifica che, attraverso opportune analisi di laboratorio, consente di identificare il meccanismo mediante il quale un componente ha mancato il raggiungimento degli scopi previsti in fase di progettazione.

Un caso particolare di failure è rappresentato dalla rottura di un manufatto, in questo caso gli obiettivi principali della *Failure Analysis* constano nella determinazione del meccanismo di rottura, nella localizzazione dei punti di innesco e nell'identificazione delle possibili criticità. Queste informazioni, in aggiunta alla conoscenza dello stato tensionale del particolare, consentono di effettuare ipotesi sulle cause di rottura.

Il corretto modus operandi metodologico nell'approccio ad una *Failure Analysis*, prevede una serie di passi che possono essere schematizzati come segue: raccolta di informazioni preliminari sul particolare in oggetto

---



(disegni, specifiche cliente, schemi di montaggio, capitoli di riferimento), sopralluogo e campionamento (al fine di limitare le contaminazioni ed i danneggiamenti delle superfici significative), documentazione fotografica allo stato, analisi macrografica, analisi frattografica.

L'insieme di queste operazioni consente di identificare il meccanismo di danneggiamento (modalità fragile, duttile, fatica o più frequentemente un misto di esse) il contesto in cui è avvenuta la rottura e da dove si è originato il problema.

Ulteriori analisi come: prove non distruttive (esame visivo, esame magnetico, controllo agli ultrasuoni, esame ai liquidi penetranti, esame radiografico ed esame alle correnti indotte), analisi estensimetriche, verifica delle caratteristiche chimiche e meccaniche del materiale, controllo della microstruttura, controllo mirato sull'origine sia frattografico che microstrutturale, unite alle informazioni fornite dalle precedenti analisi, consentono di effettuare ipotesi sulle cause di rottura.

Nel caso di danneggiamenti semplici, tutti i contributi si integrano organicamente fra loro, ma in presenza di danneggiamenti complessi la gestione dell'interazione fra le diverse discipline può rappresentare un aspetto critico nella pianificazione della *failure analysis*.

In particolare relazioneremo come una corretta interazione tra PND e frattografia porti un contributo sinergico nella realizzazione della *Failure Analysis*.

## ALCUNI ESEMPI

### Motore Diesel V16

Rottura di un pistone e del relativo cilindro di un motore diesel per generazione di energia elettrica (Foto 1 e 2). Dalle analisi relative la caratterizzazione del materiale del pistone e del cilindro (analisi chimica, analisi metallografica, durezza) non è emersa alcuna anomalia, l'analisi frattografica ha messo in evidenza la rottura del pistone a fatica (Foto 3 e 4) e del cilindro per sovraccarico con modalità fragile (clivaggio). Per il raggiungimento della definizione delle root causes è stata fondamentale l'analisi del sistema di refrigerazione del basamento motore. Tale analisi ha messo in evidenza alcune anomalie nella tipologia e nei flussi del refrigerante attorno al cilindro, la cavitazione indotta da tali anomalie ha portato non solo ad una riduzione inaccettabile delle superfici resistenti, ma ha indotto anche il pistone a lavorare in condizioni non ottimali con conseguente failure del sistema.

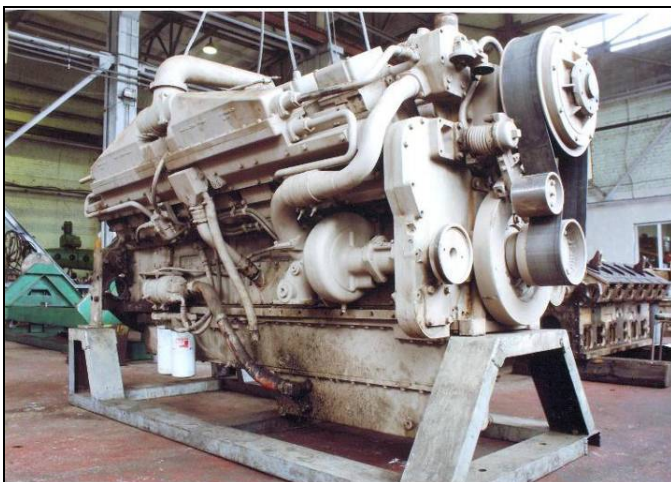


Foto 1



Foto 2





Foto 3

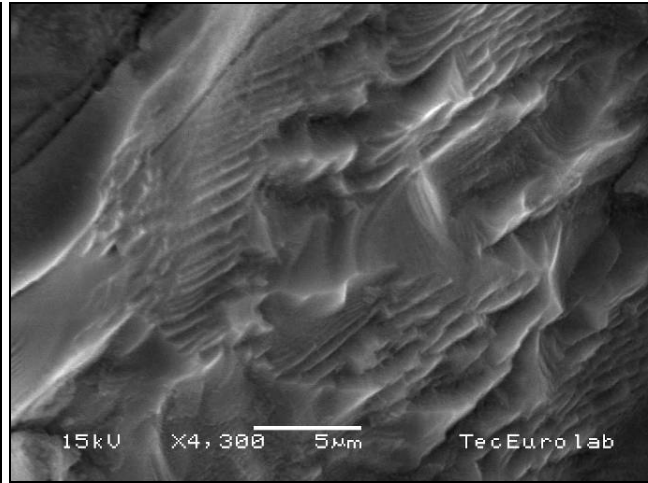


Foto 4



Foto 5

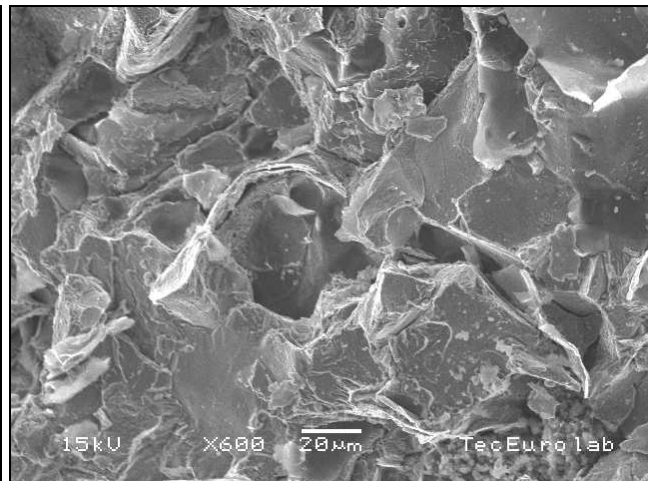


Foto 6

### *Canna oleodinamica tubo (E355) - fondello (S355)*

Una canna oleodinamica costituita da due particolari saldati mediante GMAW (Foto 7 e 8) e sottoposta in esercizio a pressioni di 280-300 bar, è stata investigata preliminarmente mediante esame visivo, magnetico ed ultrasuoni per la definizione della magnitudine del difetto, l'analisi frattografica ha messo in evidenza una rottura per fatica (Foto 9 e 10) innescatasi al vertice della saldatura. L'analisi della saldatura non ha messo in evidenza difettosità del giunto.

L'analisi mediante simulazione agli elementi finiti ha evidenziato come in corrispondenza del vertice della saldatura la concentrazione degli sforzi raggiungesse livelli inaccettabili per i materiali utilizzati (Foto 11).

La ridefinizione delle geometrie del cianfino ha consentito di risolvere il problema riportando gli sforzi a livelli accettabili (Foto 12).



Foto 7



Foto 8

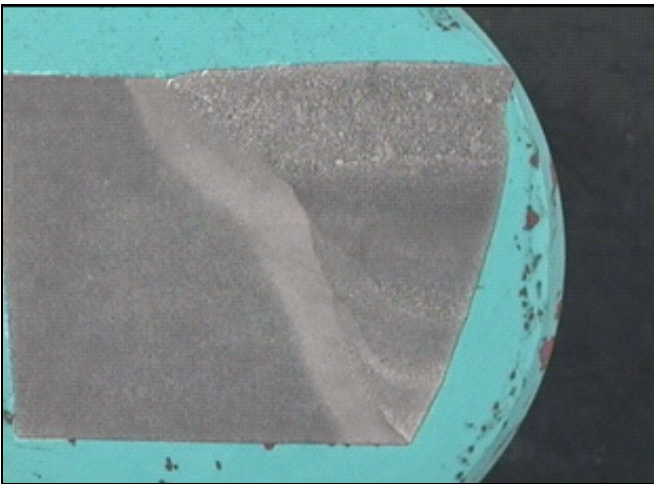


Foto 9

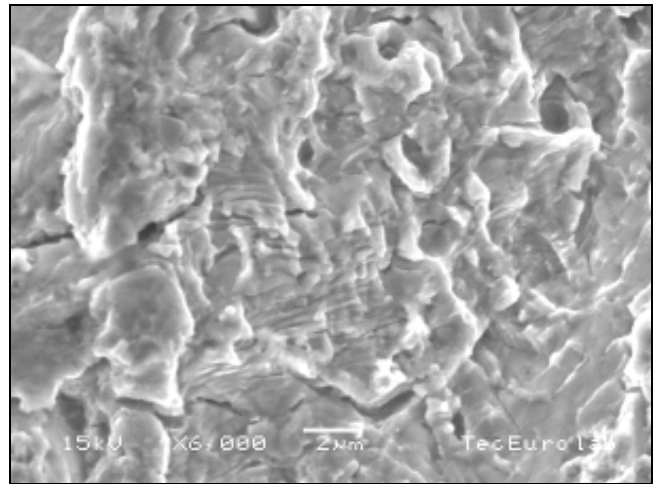


Foto 10

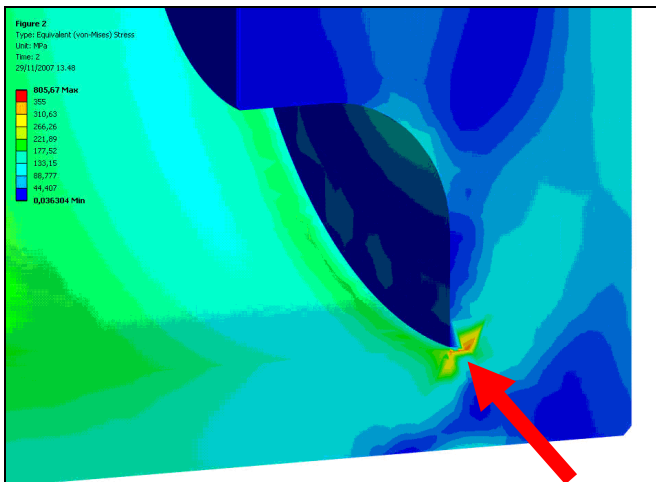


Foto 11

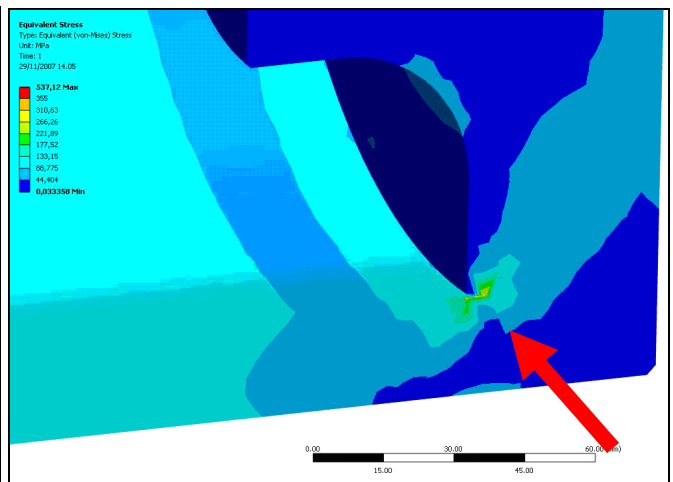


Foto 12



### *Cavo elettrico a basso voltaggio*

Un cavo elettrico a basso voltaggio costituito da un a serie di microfilari rivestiti di argento (Foto 13 e 14), è stato analizzato per stabilire le cause di rottura. Le analisi frattografiche hanno messo in luce un meccanismo di rottura per fatica (Foto 15 e 16). Nessuna anomalia metallurgica è stata riscontrata sul filo. La causa di rottura è stata identificata nel non corretto layout di montaggio e nella resinatura di protezione non conforme alle specifiche per qualità e modalità di deposizione.



Foto 13

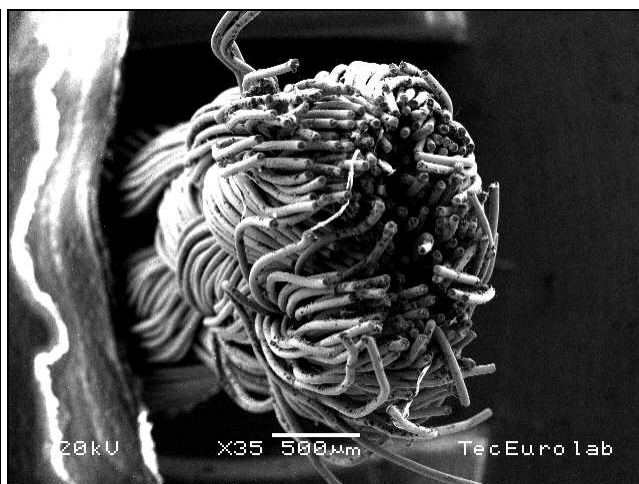


Foto 14

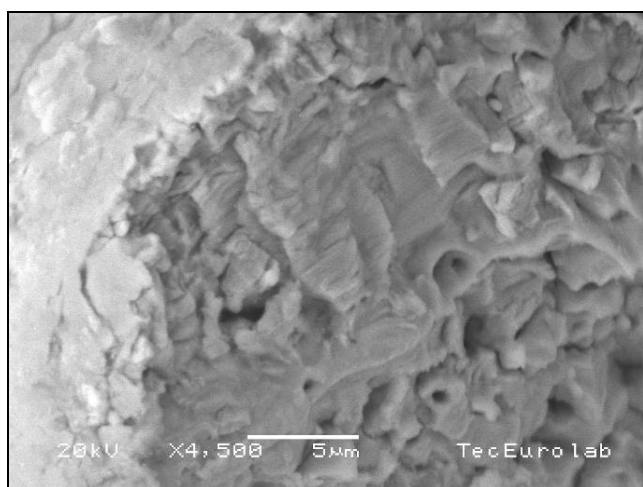


Foto 15

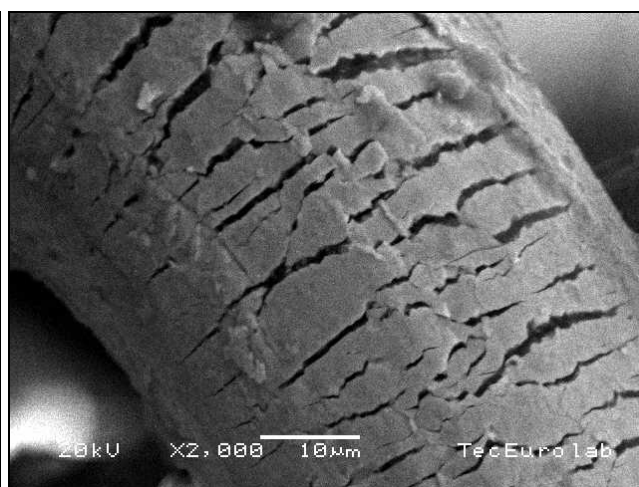


Foto 16

### *Scambiatore di calore*

Uno scambiatore di calore per applicazioni alimentari (Foto 17 e 18) è stato investigato preliminarmente mediante esame endoscopico al fine di valutare la migliore posizione per il campionamento dei saggi da inviare al laboratorio.

Il campione, costituito interamente da acciaio inossidabile austenitico, era interessato da diversi tipi di fenomeni corrosivi quali vaiolatura, corrosione interstiziale e tenso corrosione. L'analisi dei materiali, delle saldature e dei lay-out costruttivi non hanno messo in evidenza nessuna anomalia nella realizzazione del particolare.

Le *root causes* sono state identificate attraverso l'analisi dei fluidi tecnici a contatto con lo scambiatore di calore che presentavano livelli estremamente alti di cloruri e solfati, incompatibili con le tipologie di materiali utilizzati.



Foto 17

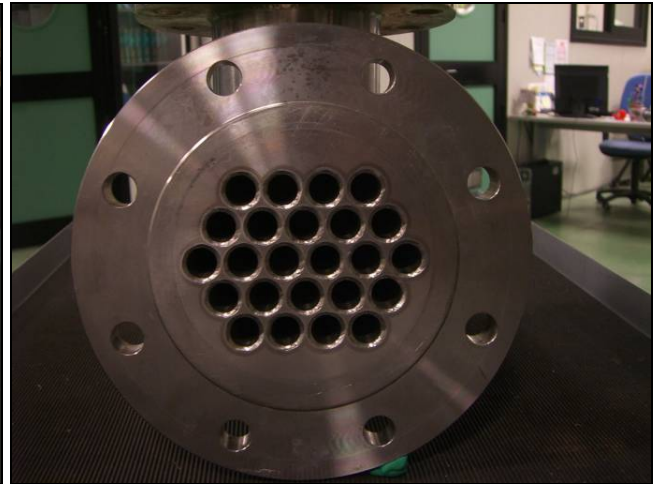


Foto 18



Foto 19



Foto 20

## CONCLUSIONI

La *failure analysis* è un'indagine che si sviluppa metodologicamente su diversi piani di conoscenze. Le molteplici competenze interagiscono sinergicamente nel raggiungimento del risultato finale, che è rappresentato dall'identificazione delle *root causes* e degli accorgimenti tecnici e procedurali atti a minimizzare la probabilità che il problema si ripresenti. La comprensione di fenomeni appartenenti ai campi più diversi, può rendere necessaria l'interazione tra gli specialisti dei diversi settori. La collaborazione armonica tra questi specialisti rappresenta la *conditio sine qua non* di competenze necessaria per affrontare e risolvere la sfida rappresentata da una *failure analysis* di un danneggiamento complesso.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ASM Metals HandBook Volume 11 - Failure Analysis and Prevention
- [2] ASM Metals HandBook Volume 12 – Fractography
- [3] ASM Metals HandBook Volume 19 - Fatigue And Fracture
- [4] D. D. Dennies, How to Organize and Run a Failure Investigation, ASM (2005).