

# Fatica ad alto numero di cicli per motori alternativi di grandi dimensioni

Fabio FRANCO, Design Manager  
Design Team, Technical Service  
Service – Wärtsilä Italia S.p.A

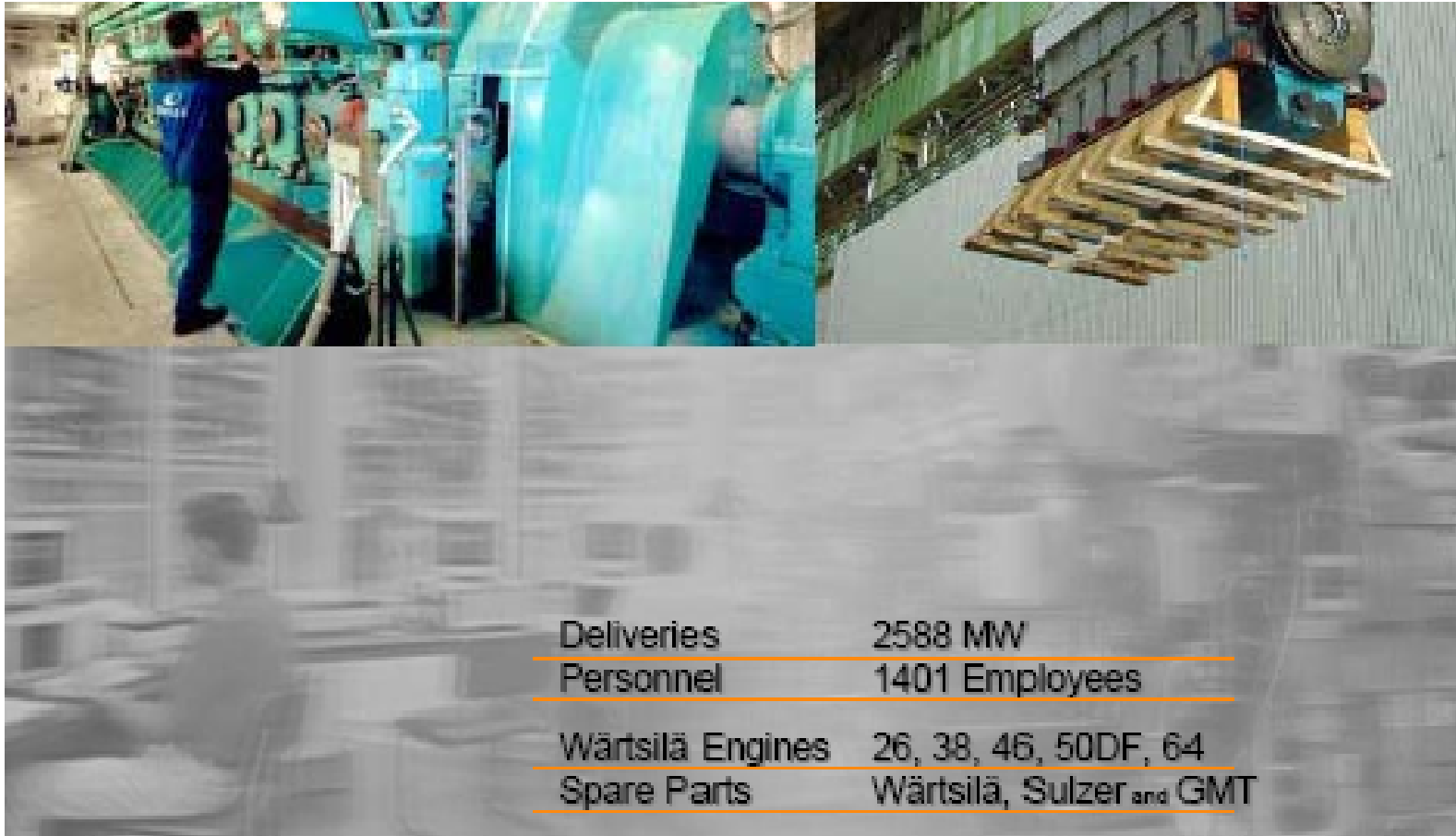
**TORINO, 05/11/2008**

# Wärtsilä Italia

- Azienda leader nel campo della progettazione, costruzione ed assistenza di motori 4T Diesel e gas per la produzione di potenza in applicazioni marine ed industriali.



# Wärtsilä Italia




# Wärtsilä – I prodotti



- La produzione di WIT è focalizzata sui motori:
  - W64
  - W50DF
  - W46
  - W38B
  - W26
- Componenti per motori Medium Speed
- Componenti di altri tipi di motori costruiti in altre unità produttive di Wärtsilä nel caso di picchi di richieste

# Motore W38



## Main data

**Cylinder bore** 380 mm  
**Piston stroke** 475 mm  
**Cylinder output** 725 kW/cyl  
**Speed** 600 rpm  
**Mean effective pressure** 26.9 bar  
**Piston speed** 9.5 m/s  
**Fuel specification:** Fuel oil 730 cSt/50°C  
 7 200 sRI/100°F  
 ISO 8217, category ISO-F-RMK  
 700  
 SFOC 173-175g/kWh  
 at ISO condition

Engine type	Rated power	
	kW	BHP
6L38	4 350	5 915
8L38	5 800	7 885
9L38	6 525	8 870
12V38	8 700	11 830
16V38	11 600	15 770

# Vita attesa motori

## Profilo operativo medio di funzionamento all'anno

### – Motori marini

- Ore impiego 5000
- Carico più frequente 80 % del carico nominale
- Tempo di applicazione del carico 70 % del tempo complessivo
- Anni impiego 20
- Ore totali 100.000

### – Motori elettrogeni

- Ore impiego 7000
- Carico più frequente 90/100 % del carico nominale
- Tempo di applicazione del carico 90 % del tempo complessivo
- Anni impiego 25
- Ore totali 175.000

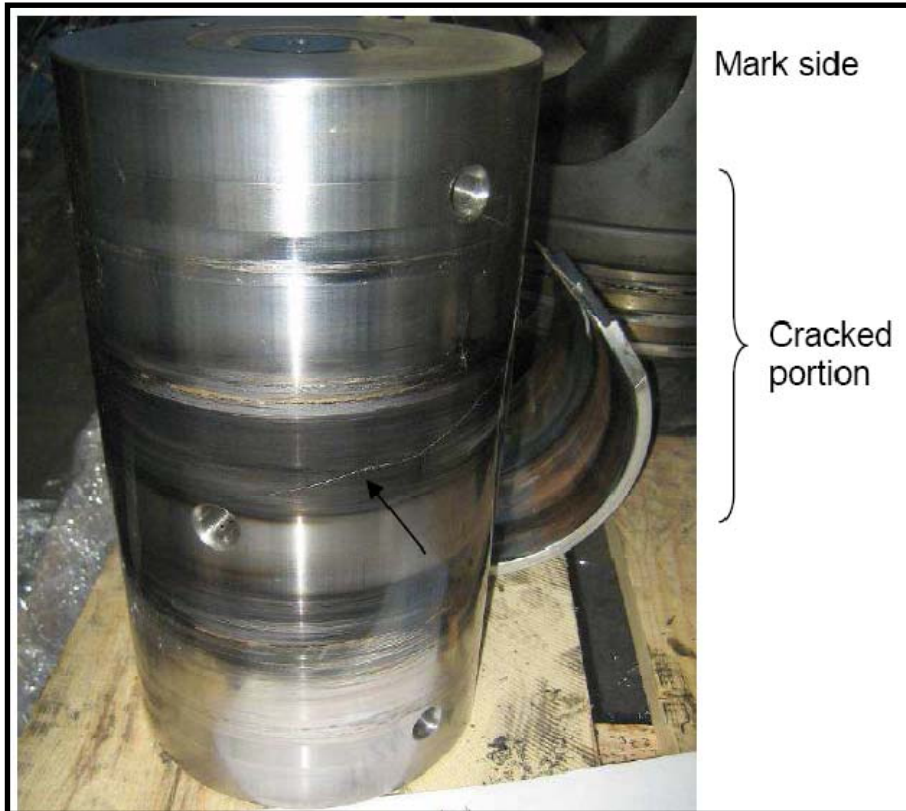
# Vita attesa motori

## Piano di manutenzione

- Cicli con controlli programmati e completi sui componenti tra 24000 – 36000 ore.
- Sostituzione eventuali componenti usurati durante controlli azzurri.

	500	1000	2000	4000	12000	24000	36000
500	1	2^	4^	8^	24^	48^	72^
1000		1	2^	4^	12*	24^	36^
2000			1	2^	6^	12^	18^
4000				1	3^	6^	9^
12000					1	2^	3^
24000						1	
36000							1

# Motore W38 – Rottura in esercizio



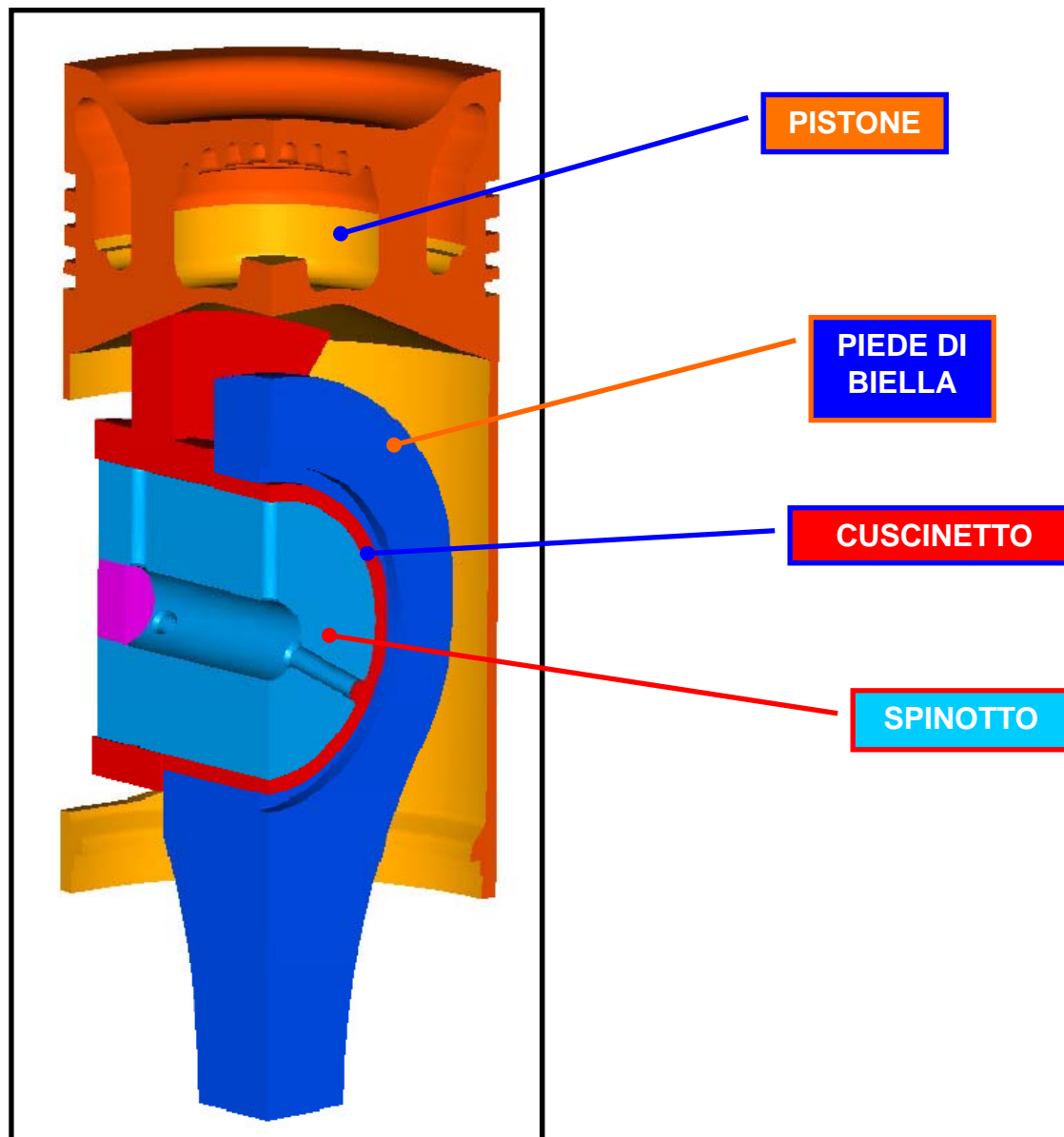
## Segnalazione avaria

- Motore: **W38**
- Impiego: **Elettrogeno  
Terrestre**
- Ore di funzionamento: **10.000**
- Velocità: **600 giri/min**
- Numero di cicli: **360.000.000**

- Componente: **Spinotto del piede di biella**
- Controllo programmato per verifica usura: **60.000 ore (2.160.000.000 cicli)**
- Inconveniente segnalato: **Grippaggio cuscinetto**



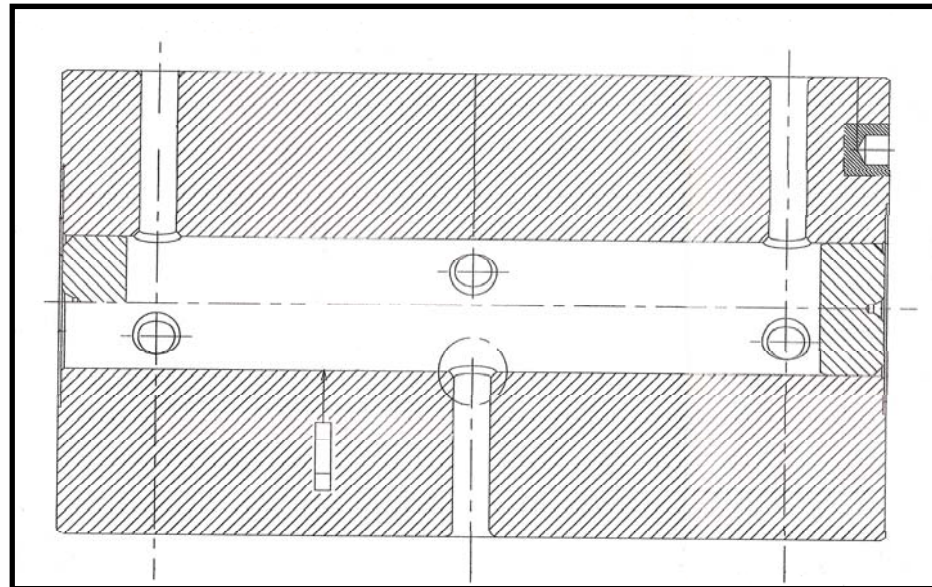
## Motore W38 – Spinotto - Descrizione



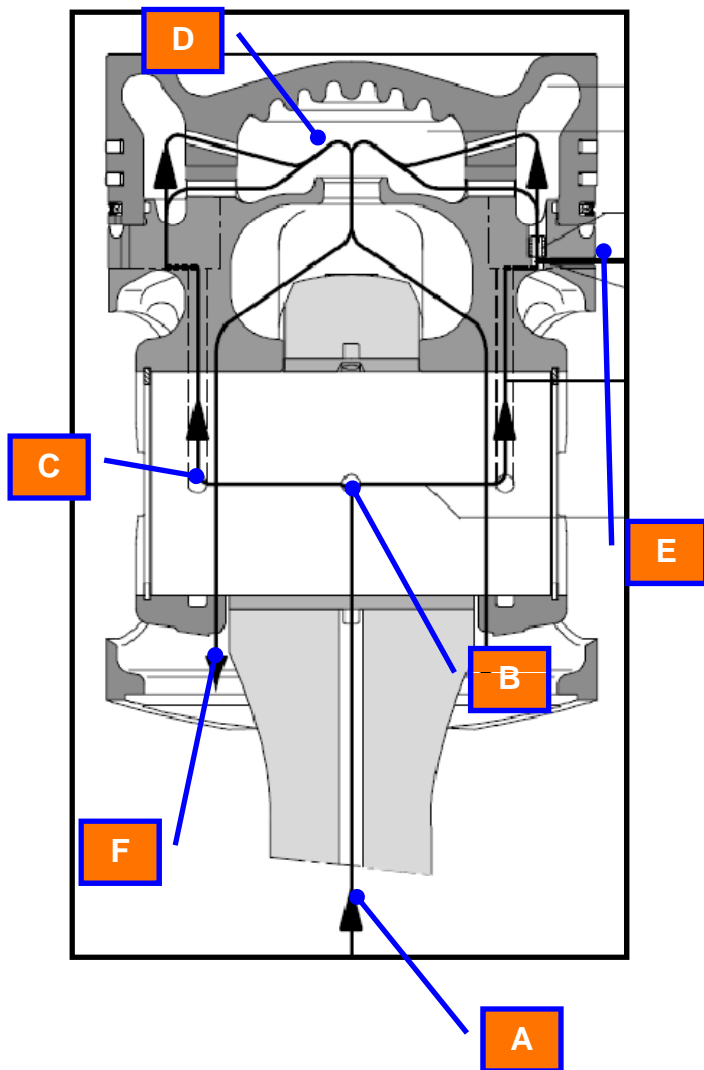
# Motore W38 – Spinotto - Descrizione

## Caratteristiche costruttive

- Materiale: Acciaio legato con cementazione superficiale e snervamento di 630 MPa
- Corpo cilindrico cavo
- Volume centrale chiuso con tappi montati ad interferenza
- Serie di tre fori a 120°



## Motore W38 – Spinotto - Descrizione



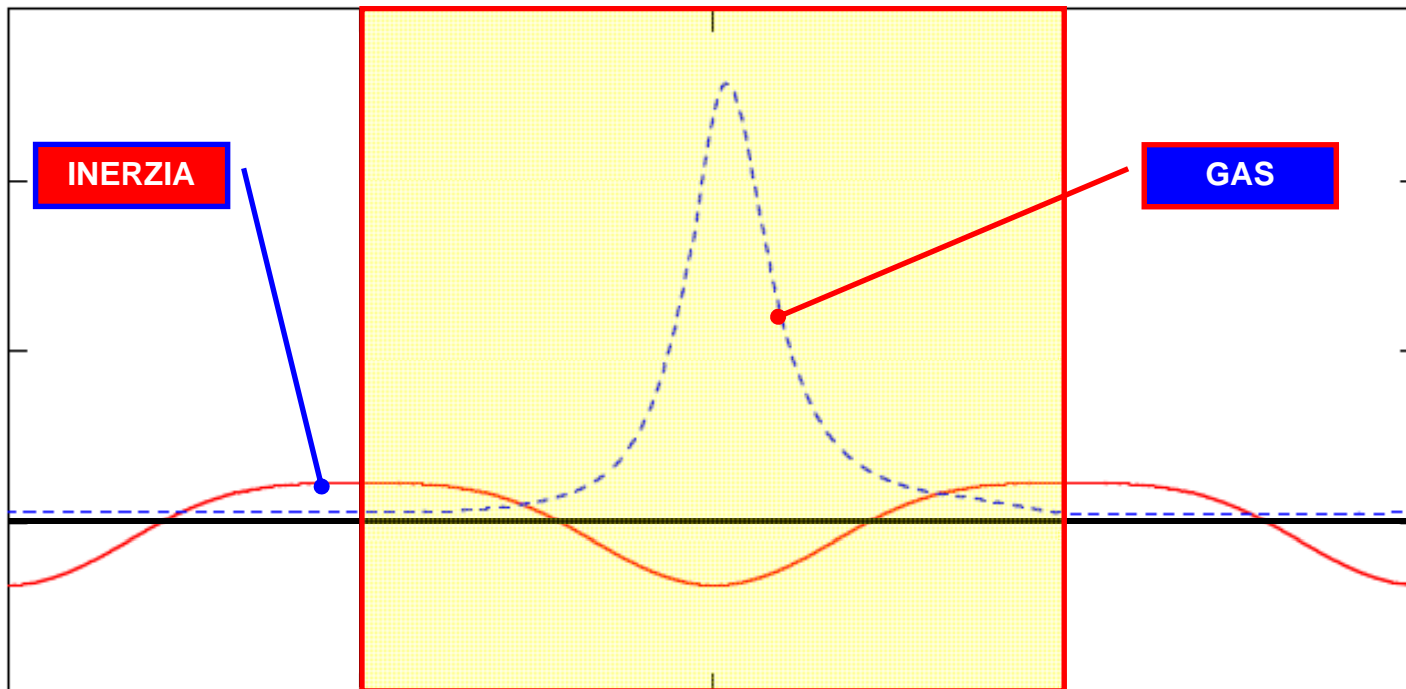
### Lubrificazione e raffreddamento pistone

- A: Arrivo olio
- B: Entrata nello spinotto
- C: Uscita dallo spinotto
- D: Raffreddamento pistone
- E: Lubrificazione camicia
- F: Uscita pistone

# Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

## Forze sul pistone

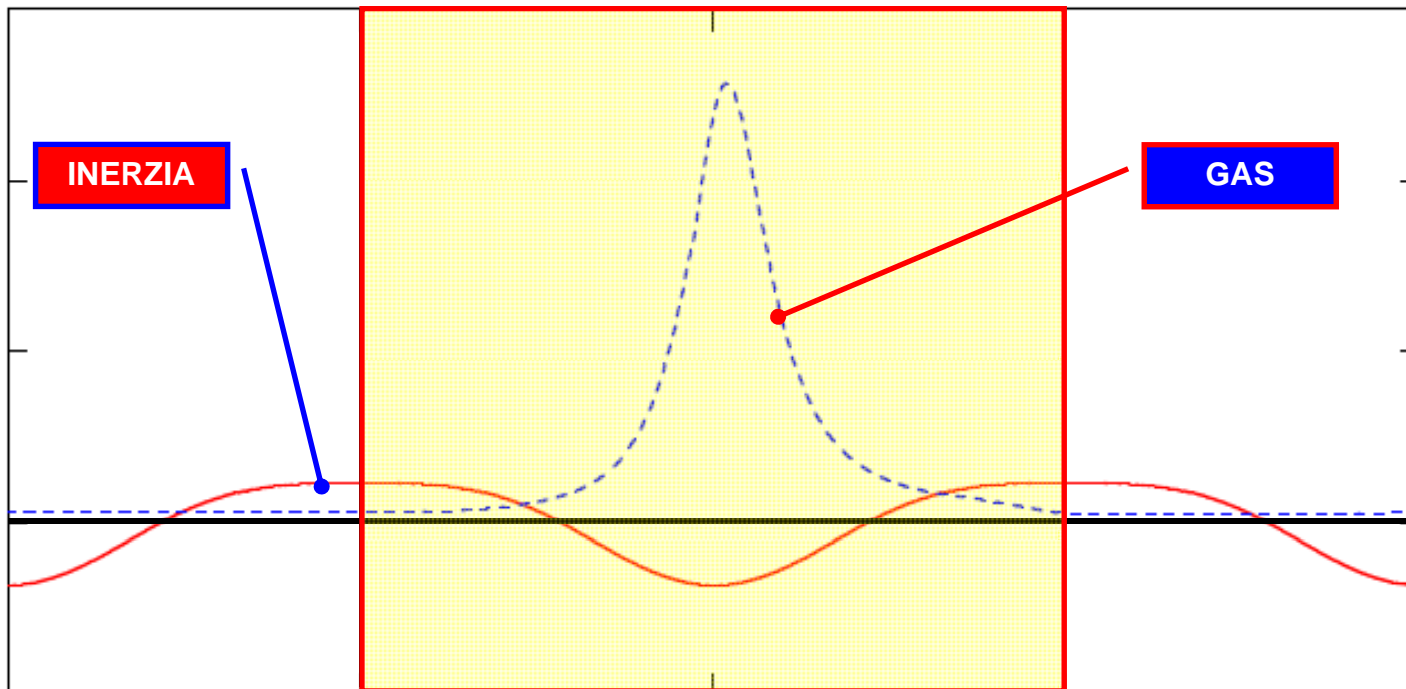
- I carichi sul pistone derivano dalle forze dei gas e da quelle d'inerzia
- Tra i PMI del ciclo primario sono sempre di compressione
- Tra i PMI del ciclo secondario sono di trazione e compressione



# Motore W38 – Spinotto \_ Stato tensionale

## Cicli di fatica

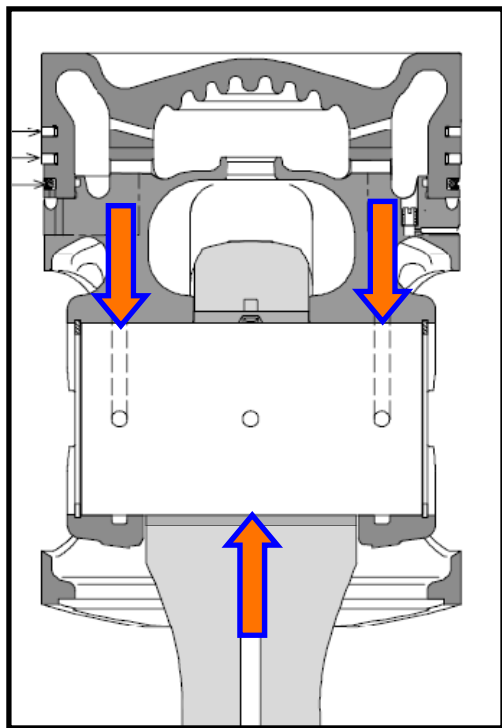
- Si possono considerare due cicli affaticanti in successione tra i PMI e della durata di un giro
- Ciclo affaticante primario (zona gialla) con carichi dello stesso segno
- Ciclo affaticante secondario (zona bianca) con carichi inferiori di segno opposto



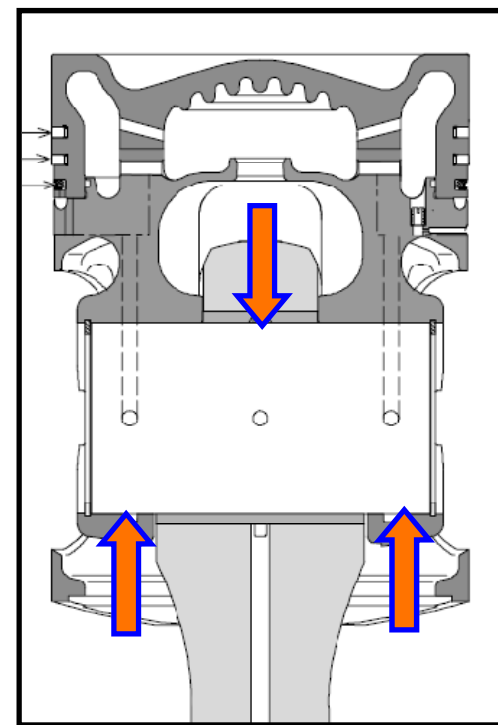
# Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

## Carichi sullo spinotto

Compressione su pistone



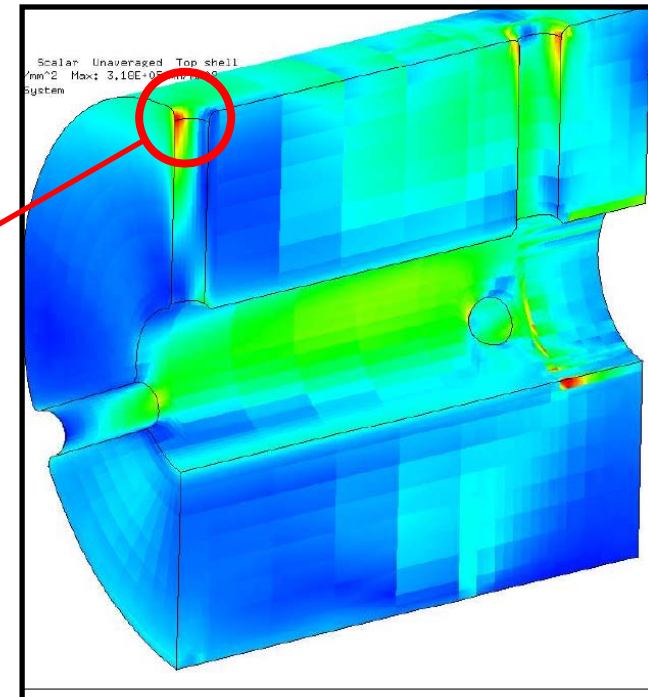
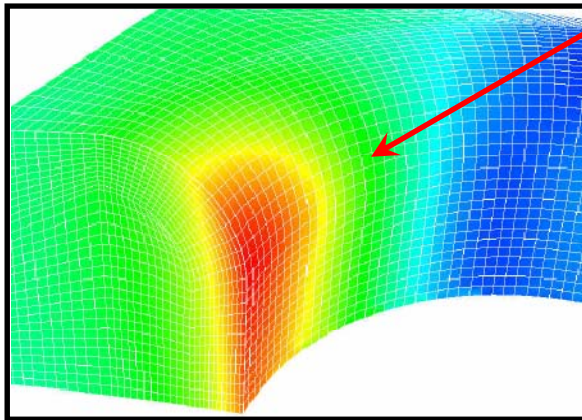
Trazione su pistone



# Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

## Analisi FEM

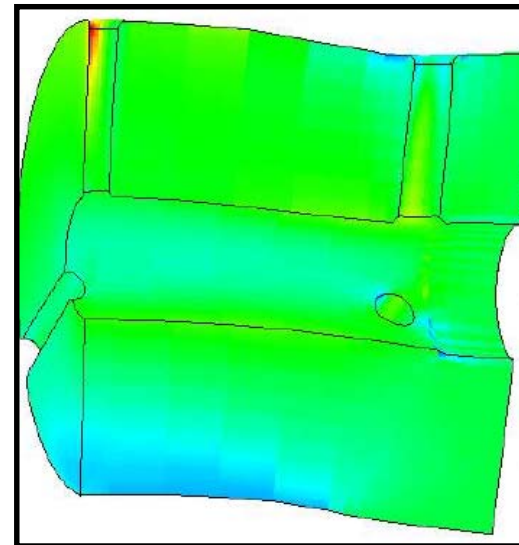
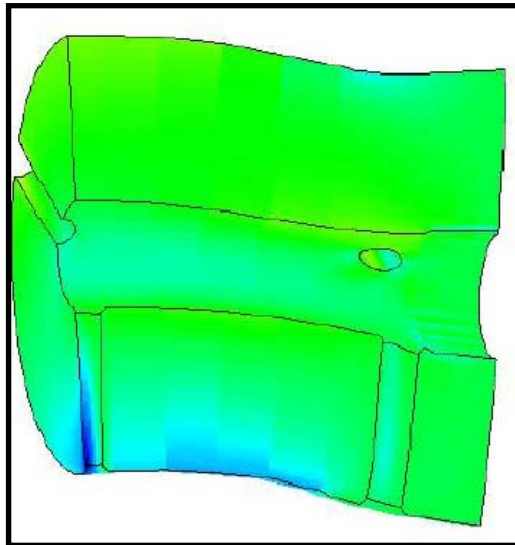
- Calcolo a 600 giri/min e potenza massima
- Carichi:
  - Forze inerzia
  - Gas
  - Pressione olio
- Massima sollecitazione su smussi esterni fori olio



## Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

### Rotazione spinotto

- Durante il funzionamento motore lo spinotto ruota
- Tutti i fori sono sottoposti ad un ciclo di fatica che si sovrappone ai cicli di fatica principali

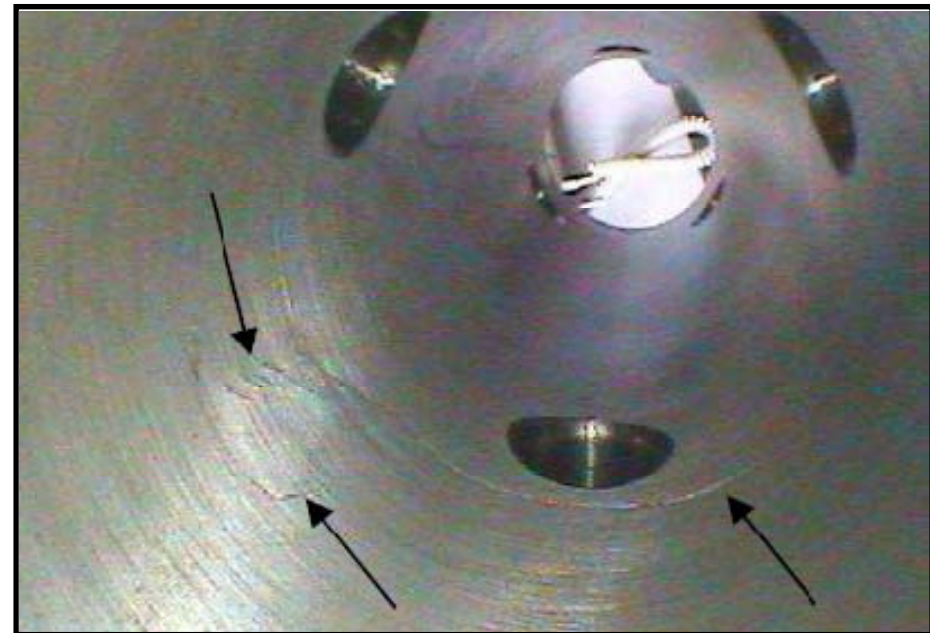




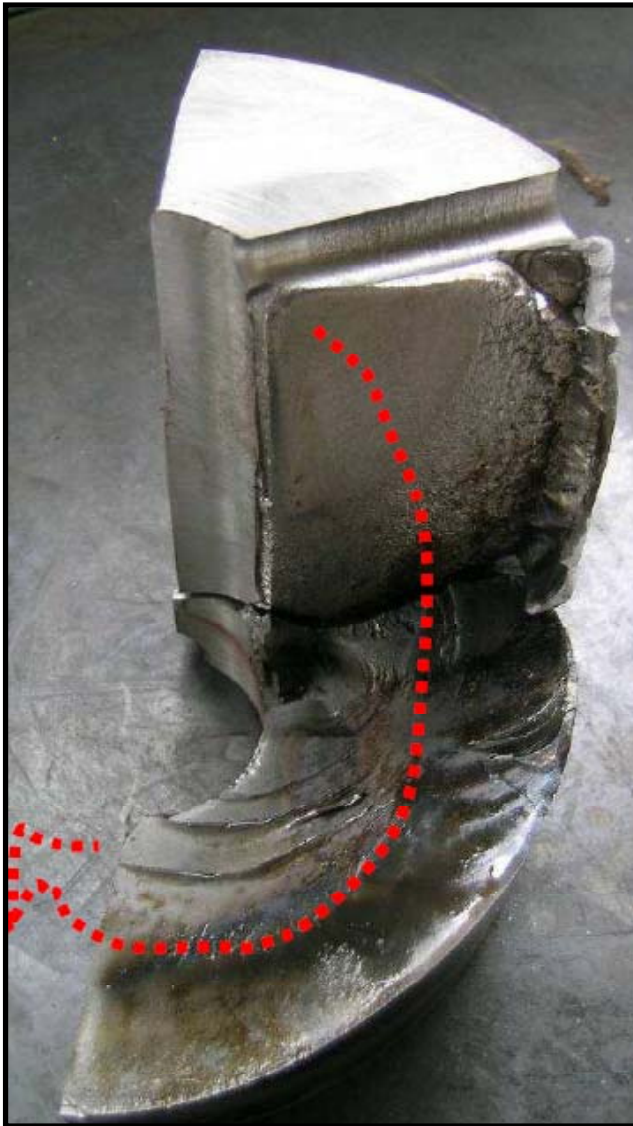
# Spinotto - Rottura

## Frattura

- Dopo lo smontaggio dello spinotto per la segnalazione del grippaggio, si sono scoperti segni di frattura, in corrispondenza di un foro, sia sulla superficie esterna che su quella interna



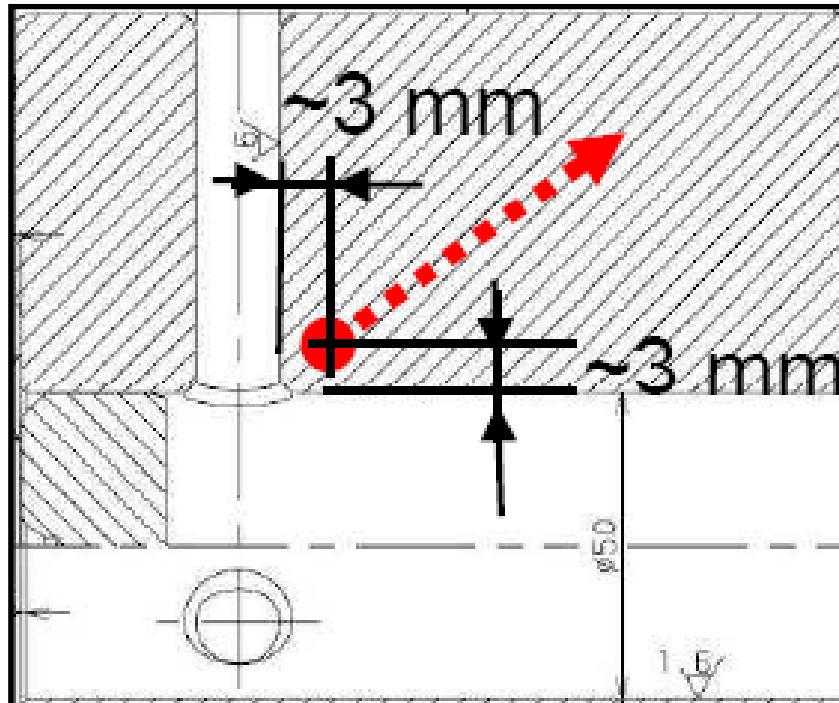
# Spinotto - Rottura



## Frattura

- Dopo il taglio dello spinotto la frattura presenta la configurazione della foto.
- Il punto d'origine della frattura è in corrispondenza del raccordo interno di un foro laterale.
- Secondo l'analisi FEM tale zona non risultava la più sollecitata.

## Spinotto – Analisi frattura

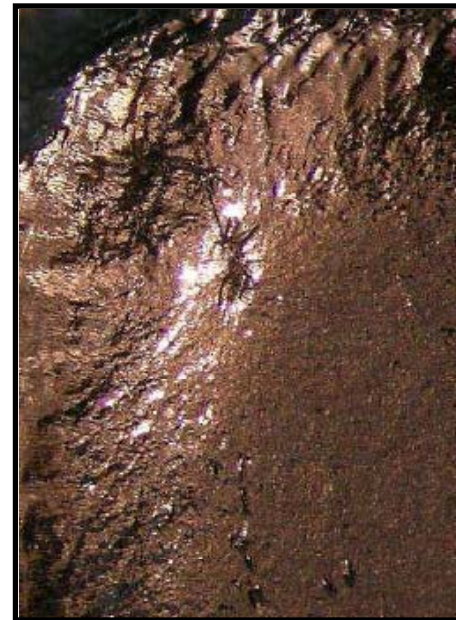


- L'origine della frattura è posizionata sotto la superficie dello smusso ad una profondità di circa 3 mm ed è proseguita verso l'interno del corpo.

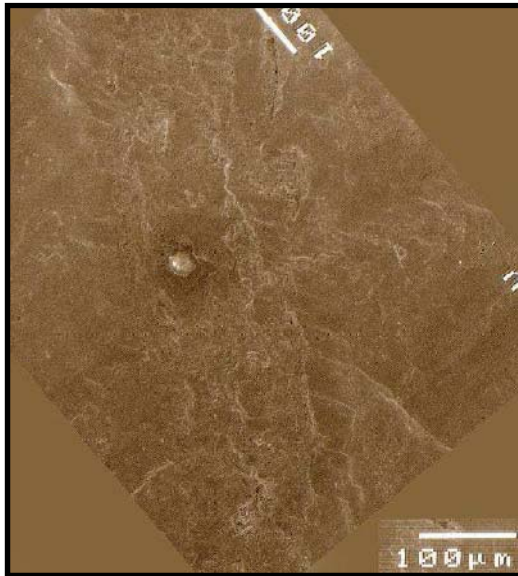
## Spinotto – Analisi frattura



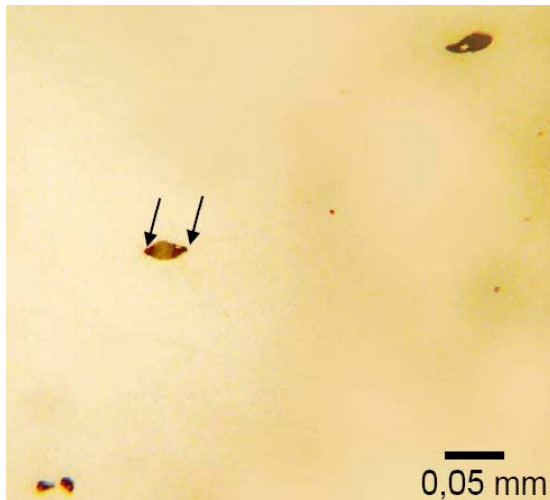
- Macro fotografie della zona d'innescò della frattura.
- Si evidenzia una discontinuità sotto la superficie del raccordo.
- Esecuzione irregolare dello smusso con rugosità superiore a quanto prescritto.



## Spinotto – Analisi frattura

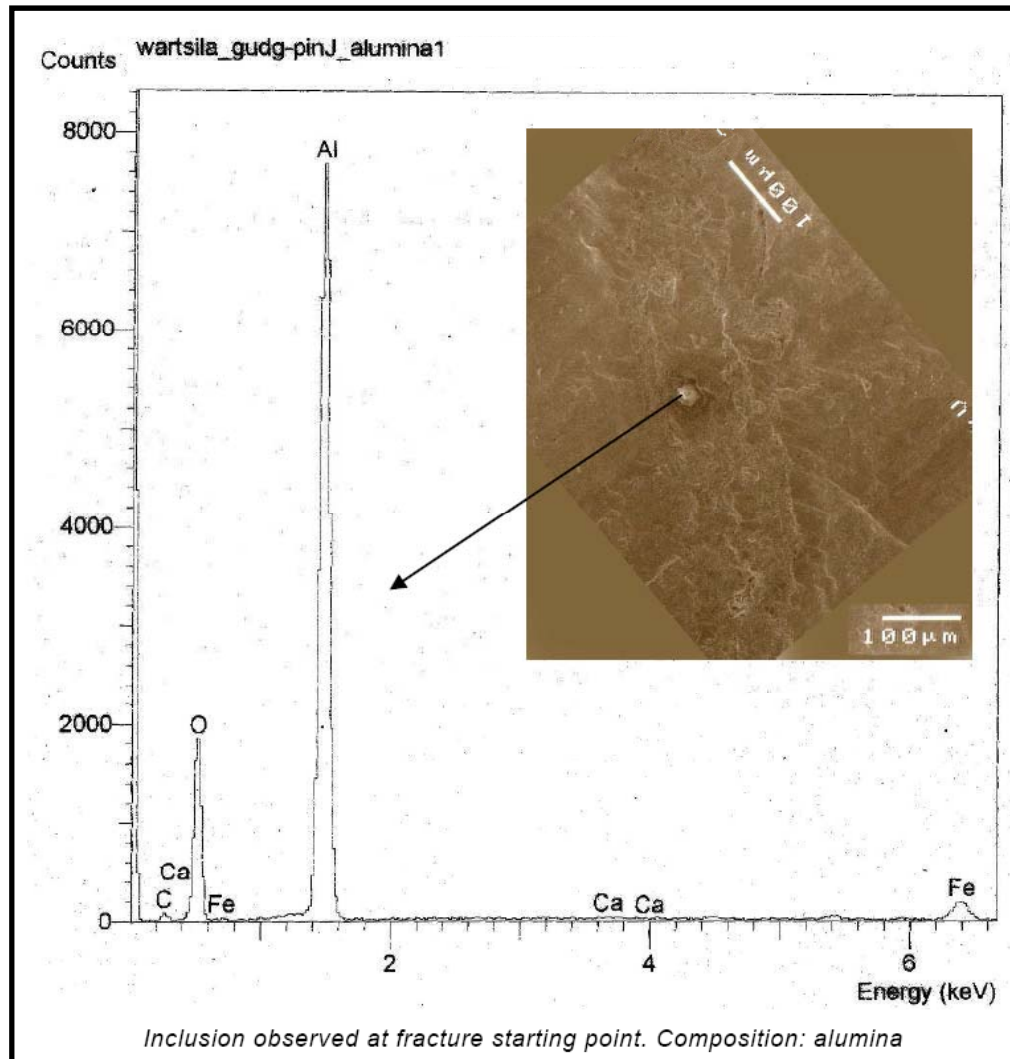


- Microfotografie della discontinuità nella zona di origine della frattura.
- Rilevata la presenza di un'inclusione non metallica di circa 30 μm nella zona in esame.



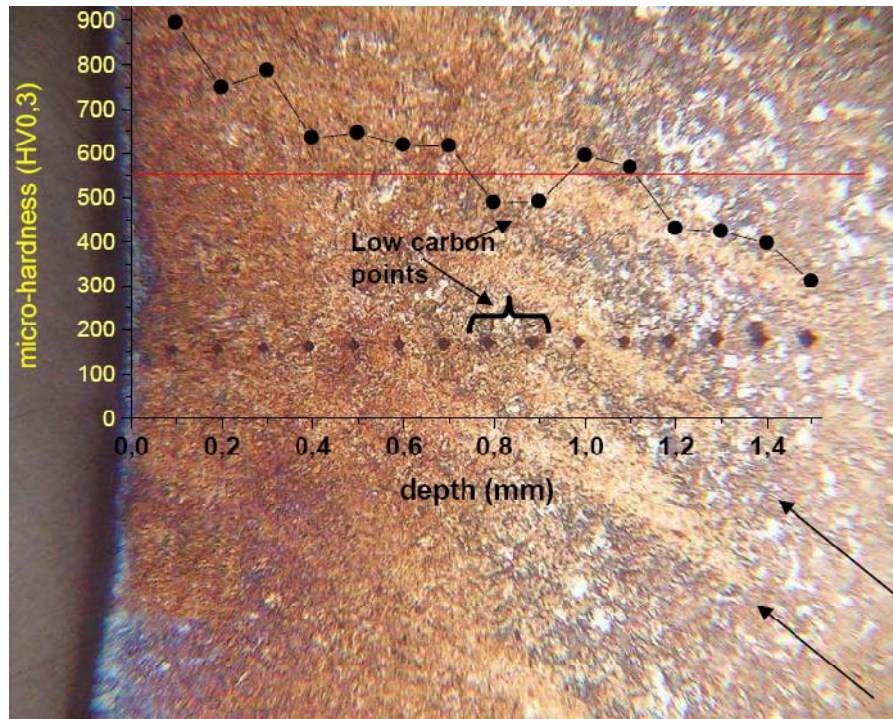
- Estendendo la zona d'indagine si sono trovate altre inclusioni, la cui densità rientra nella norma DIN 50602.

# Spinotto – Analisi frattura



- Scannerizzazione della zona di partenza della frattura mediante **Scanning Electron Microscope**
- Evidenziata la composizione dell'inclusione
- L'inclusione risulta essere di Allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

# Spinotto – Analisi frattura



- Misura microdurezze in profondità.
- Durezza inferiore a quanto richiesto.
- Discontinuità nell'andamento delle durezze.
- Non uniformità nella penetrazione della cementazione.
- Minori durezze in corrispondenza delle zone con minor carbonio.

# Spinotto – Conclusione analisi

## Cause innesco rottura

- ⇒ Smusso non regolare
- ⇒ Superficie smusso con lavorazione di qualità inferiore a quanto richiesto
- ⇒ Trattamento termico superficiale non uniforme
- ⇒ Durezze inferiori a quanto richiesto
- ⇒ Presenza inclusione nella zona dello smusso origine rottura



# Spinotto – Conclusione analisi

## Considerazioni

- La rottura, dopo un numero elevato di cicli ( $4 \times 10^8$ ), non era attesa per un componente progettato per vita infinita.
- Su un elevato numero degli stessi componenti in lavoro non si sono avute altre segnalazioni di rotture pur con durate di funzionamento ben più lunghe.
- La rottura è dovuta al sovrapporsi di diversi fattori di carattere geometrico, di lavorazione e di materiale.
- Si ritiene che la presenza di inclusioni nella zona di partenza della frattura sia il fattore scatenante favorito dalla presenza di un trattamento di indurimento non omogeneo.

# Spinotto – Modifiche apportate

## Azioni migliorative

Wärtsilä ha introdotto alcune varianti nel progetto e nei controlli per eliminare la possibilità del presentarsi di tale avaria:

- Aumento dello smusso mantenendo la sua dimensione costante lungo tutto lo spigolo di intersezione con il volume centrale
- Nuova procedura per il controllo dello stato delle superfici interne
- Nuovo materiale: acciaio con caratteristiche meccaniche superiori e più adatto ad assicurare la continuità del trattamento di indurimento della superficie

# **Fatica ad alto numero di cicli per motori alternativi di grandi dimensioni**

Grazie per l'attenzione