

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

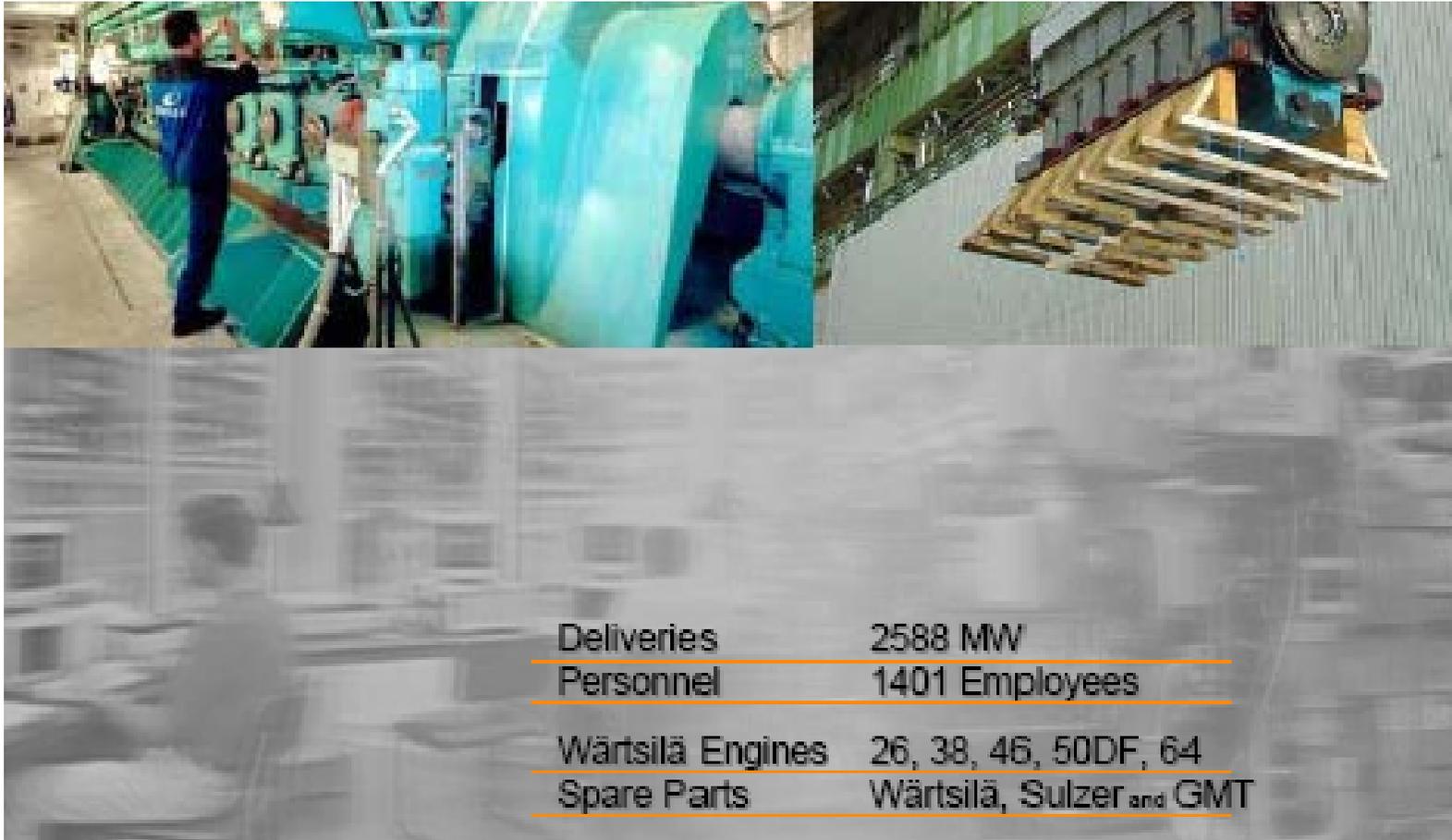
TORINO, 05/11/2008

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

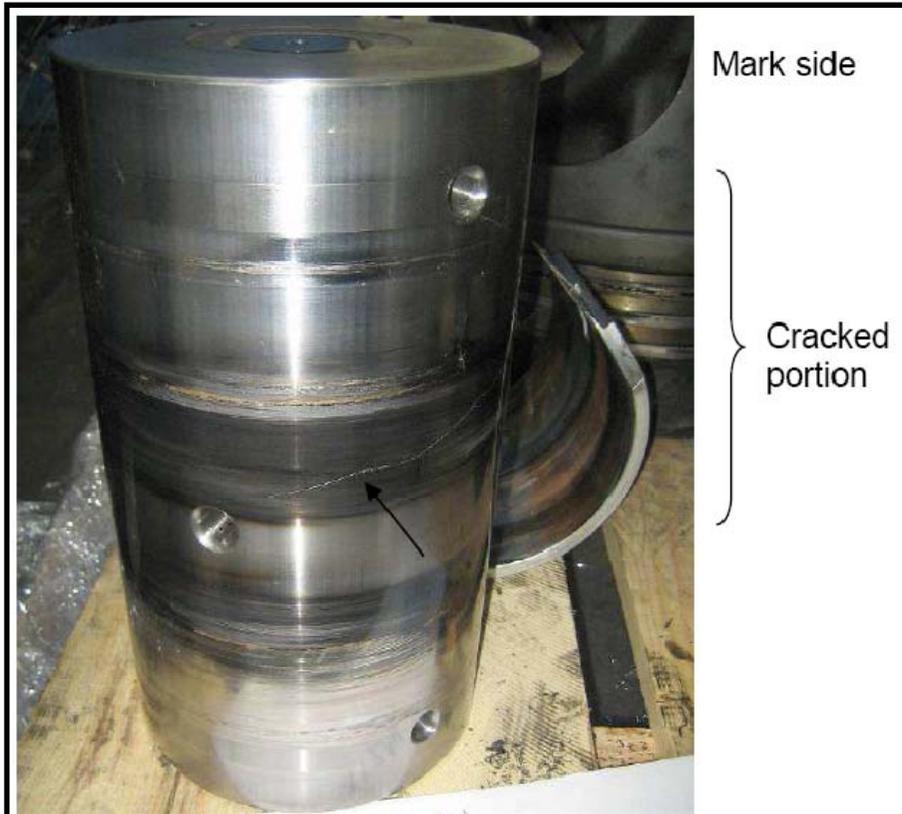
Vita attesa motori

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

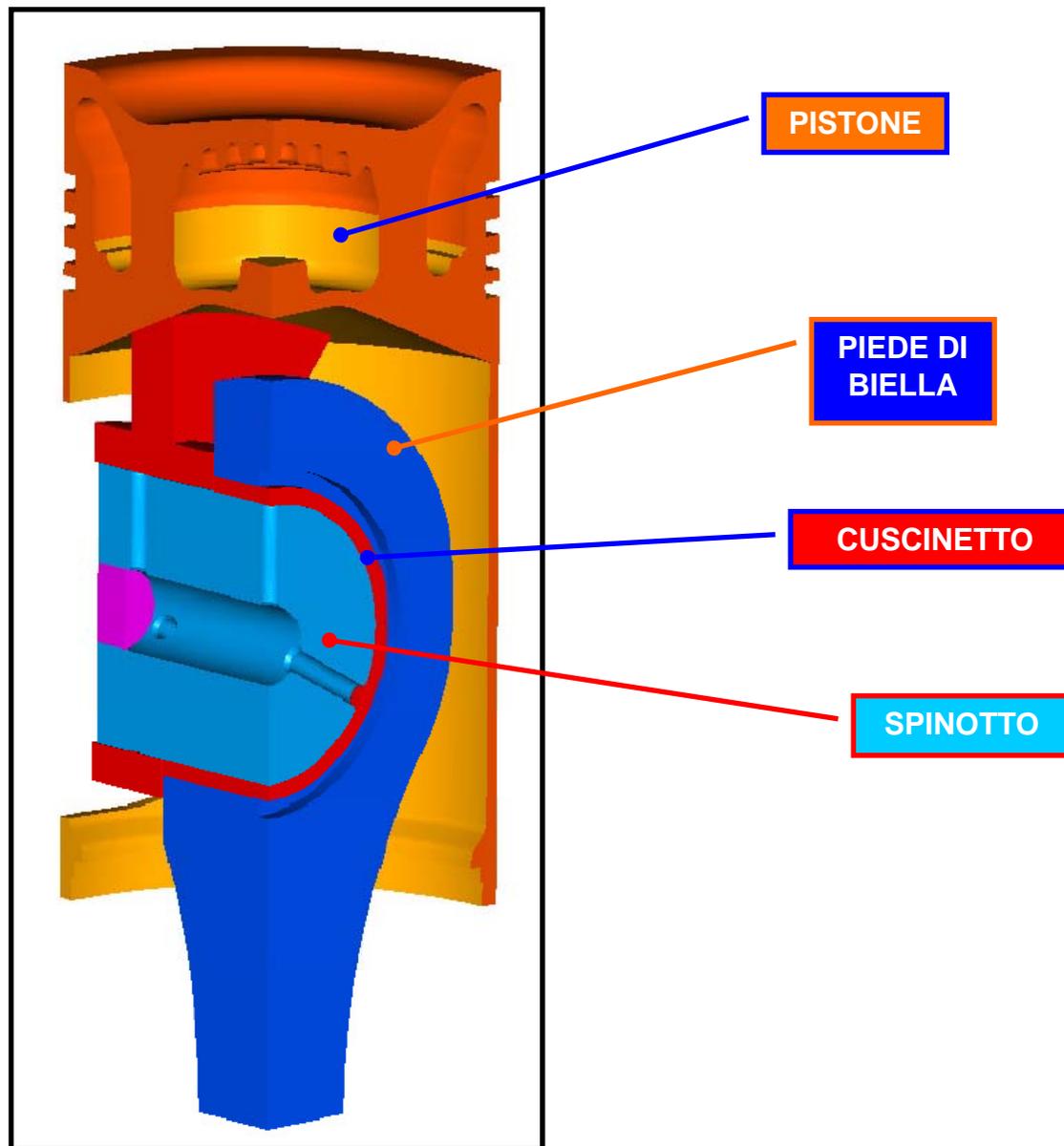


Segnalazione avaria

- 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**

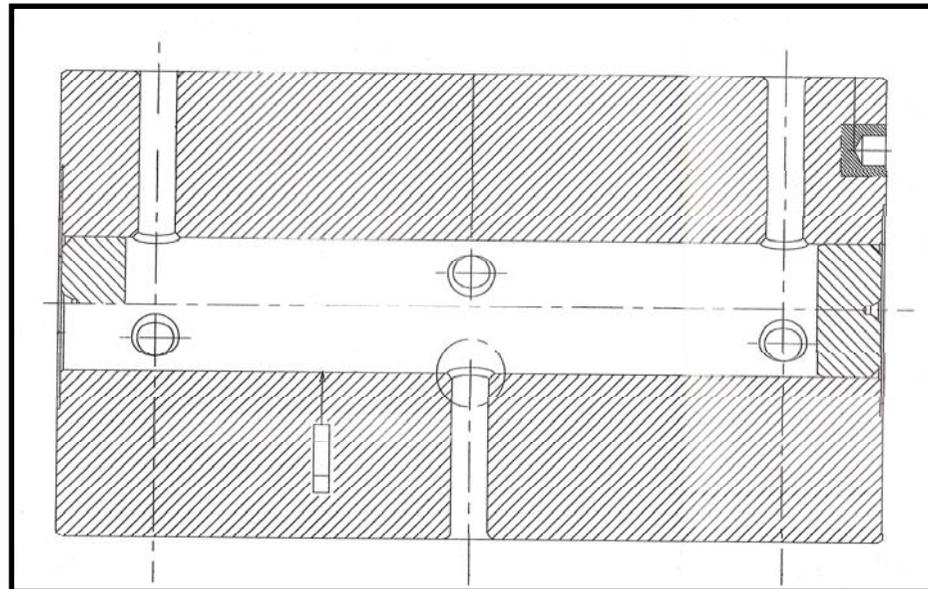
Motore W38 – Spinotto - Descrizione



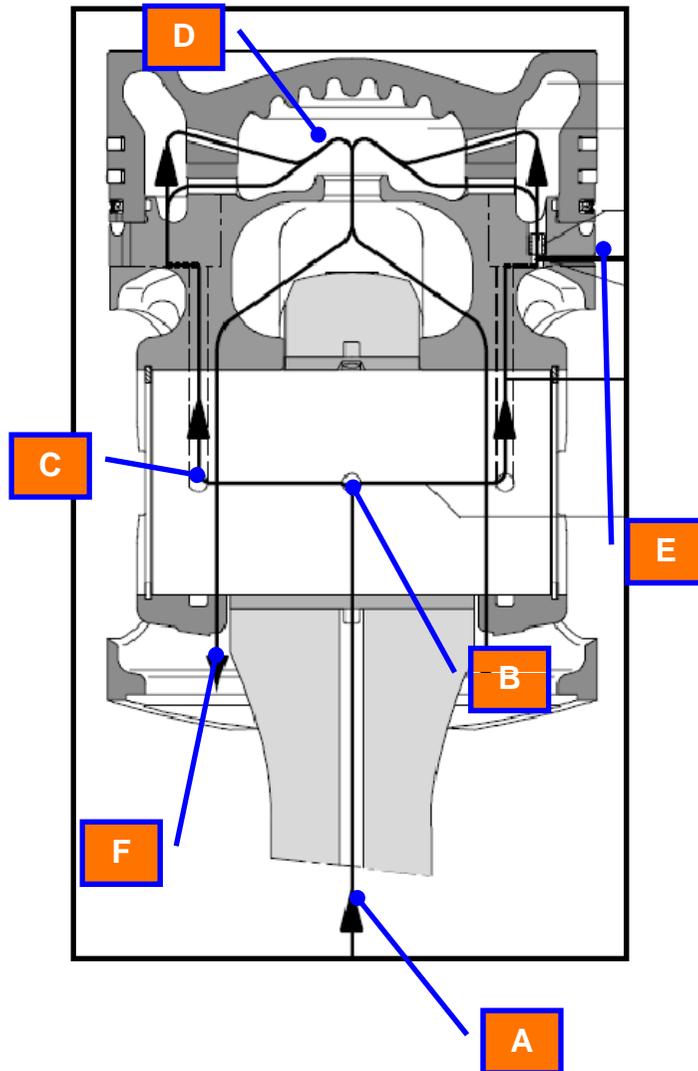
Motore W38 – Spinotto - Descrizione

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



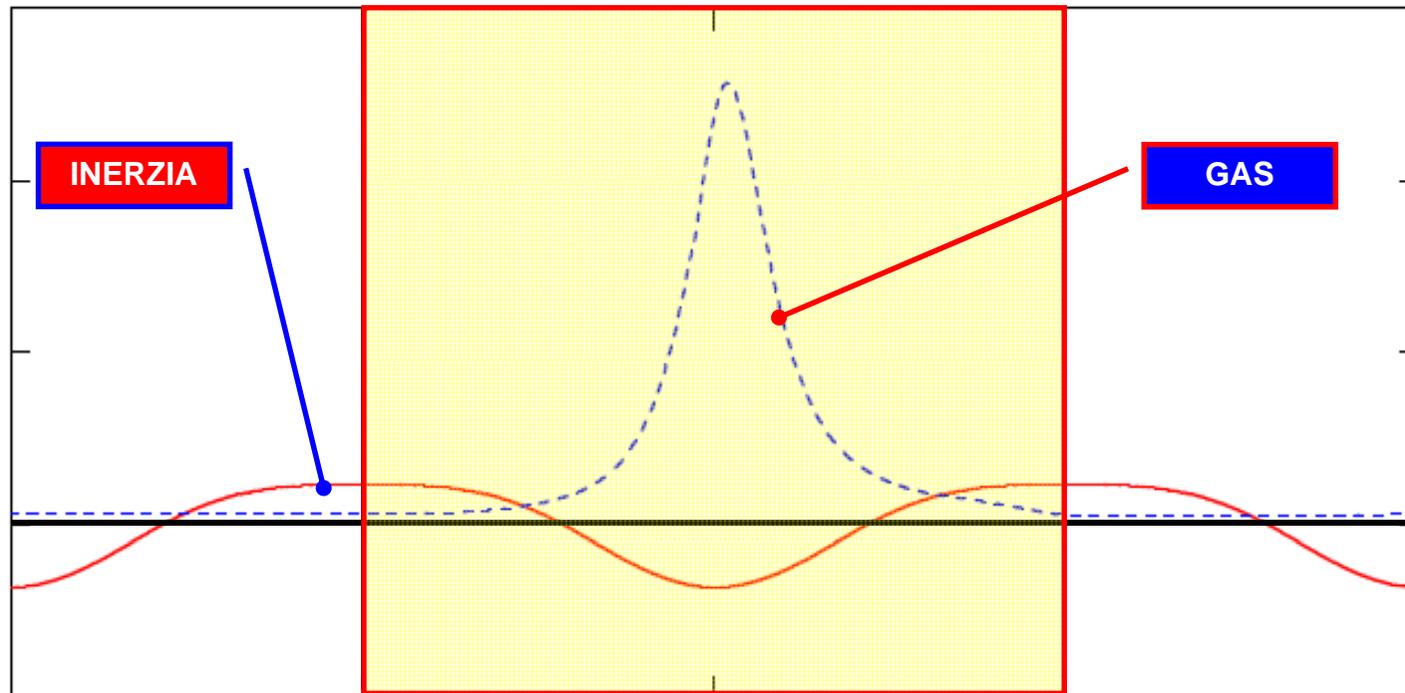
Lubrificazione e raffreddamento pistone

- 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

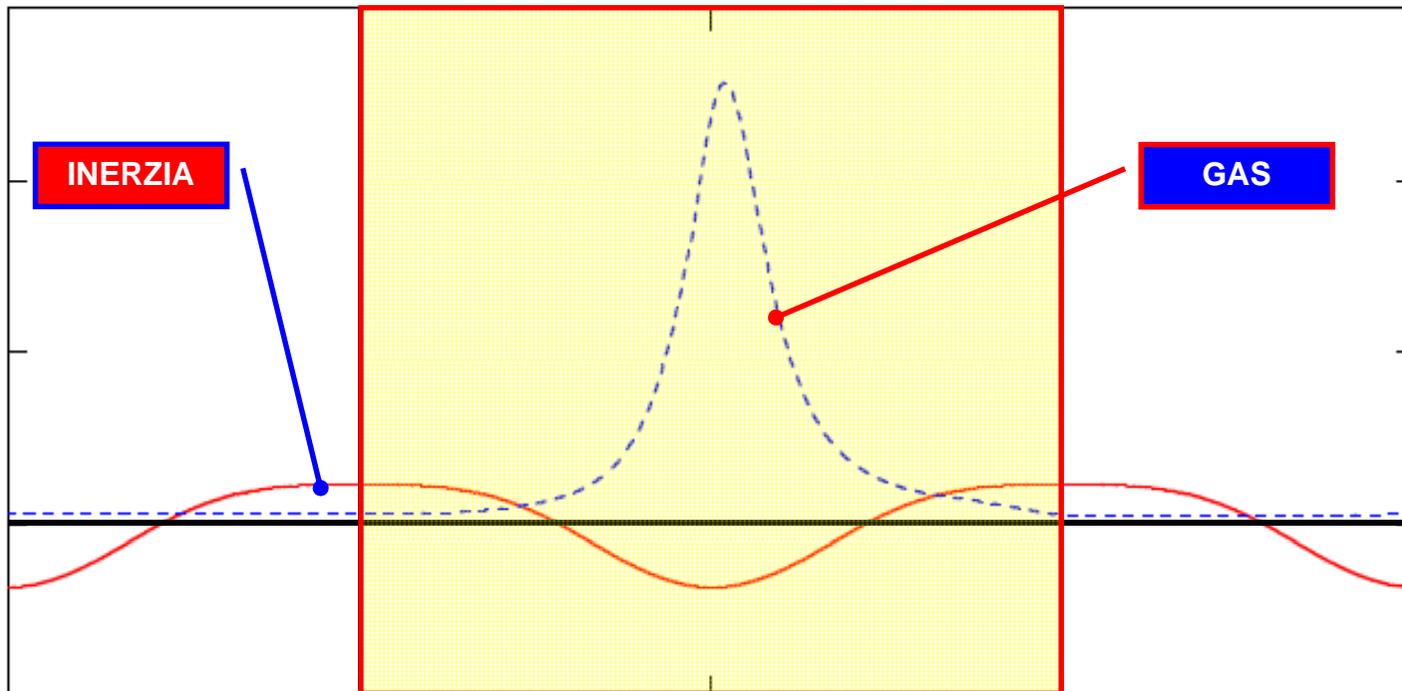
- I carichi sul pistone derivano dalle forze dei gas e da quelle d'inerzia
- Tra i PMI del ciclo primario sono sempre di compressione
- Tra i PMI del ciclo secondario sono di trazione e compressione



Motore W38 – Spinotto _ Stato tensionale

Cicli di fatica

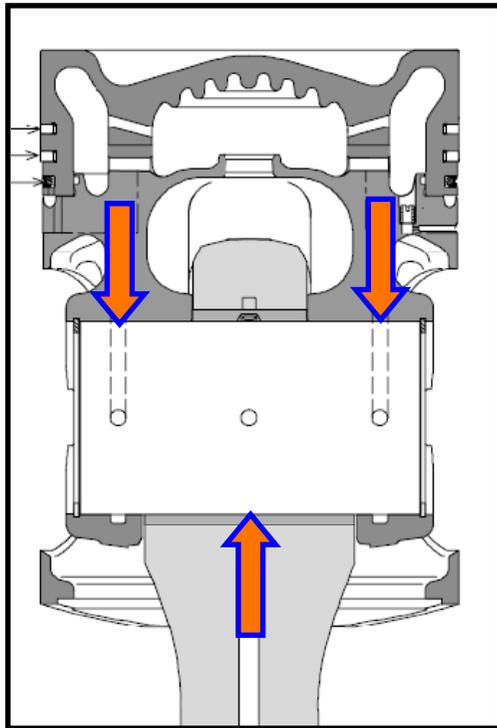
- Si possono considerare due cicli affaticanti in successione tra i PMI e della durata di un giro
- Ciclo affaticante primario (zona gialla) con carichi dello stesso segno
- Ciclo affaticante secondario (zona bianca) con carichi inferiori di segno opposto



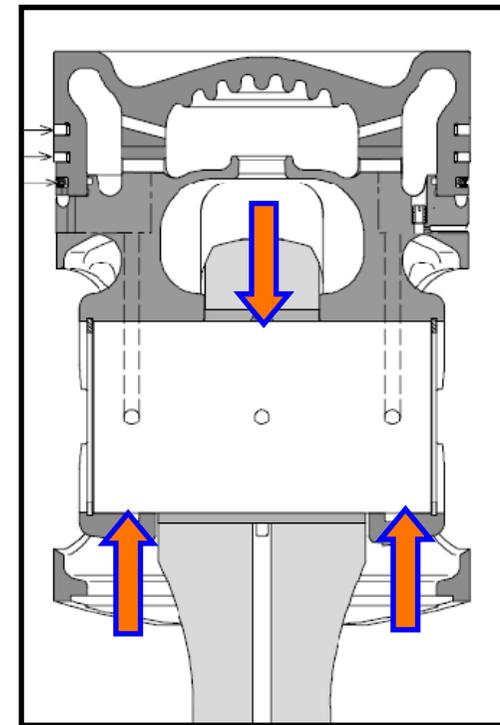
Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

Carichi sullo spinotto

Compressione su pistone



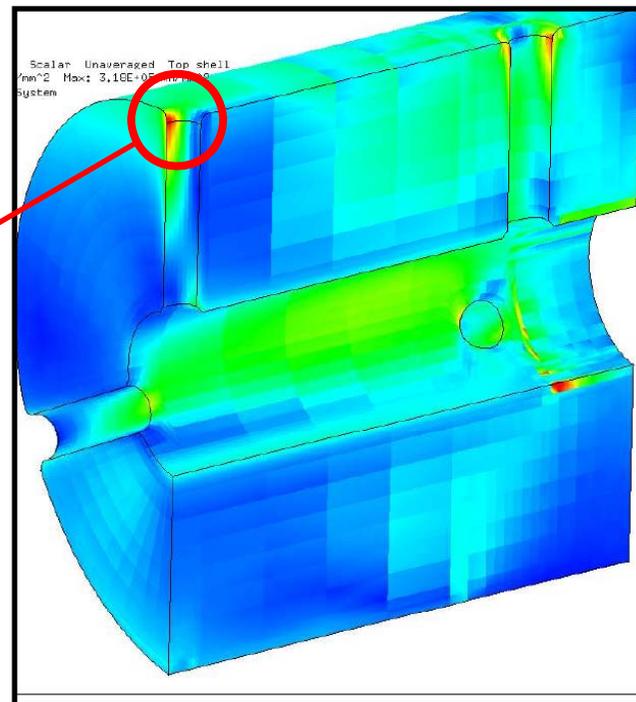
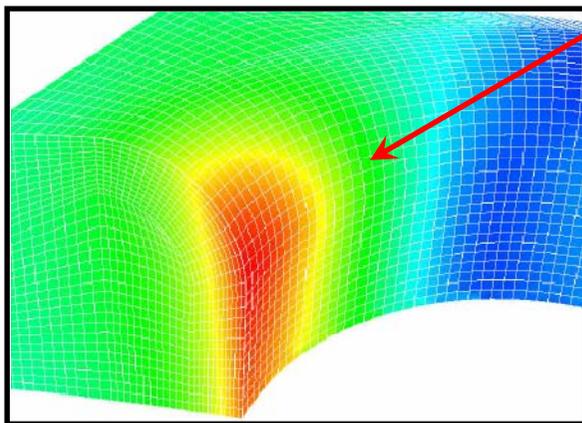
Trazione su pistone



Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

Analisi FEM

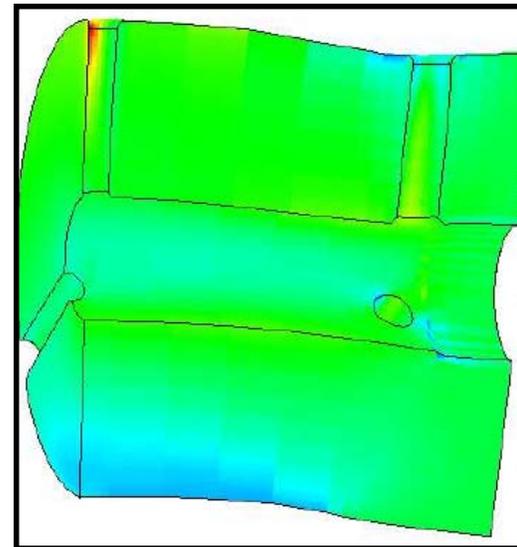
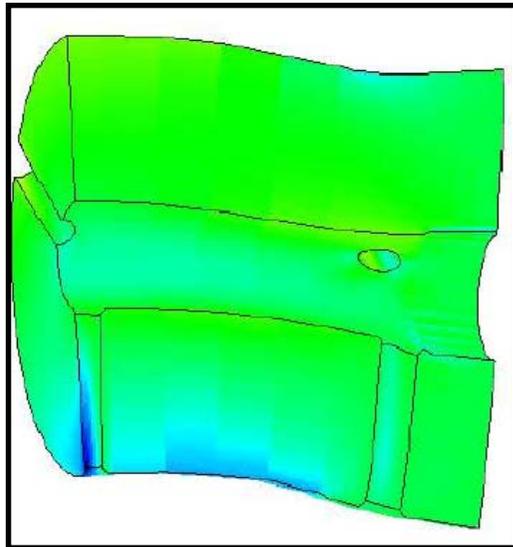
- Calcolo a 600 giri/min e potenza massima
- Carichi:
 - Forze inerzia
 - Gas
 - Pressione olio
- Massima sollecitazione su smussi esterni fori olio



Motore W38 – Spinotto – Stato tensionale

Rotazione spinotto

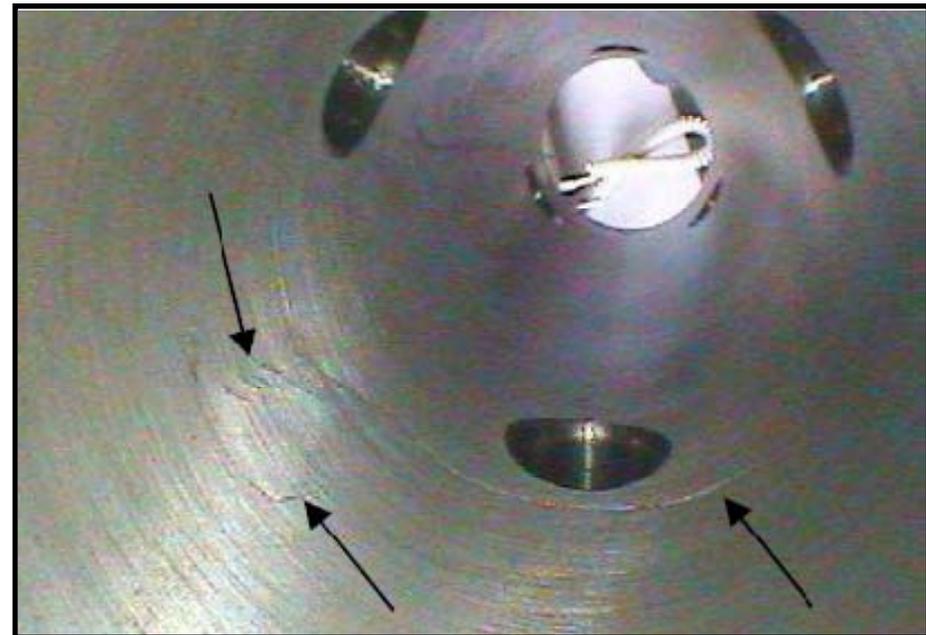
- Durante il funzionamento motore lo spinotto ruota
- Tutti i fori sono sottoposti ad un ciclo di fatica che si sovrappone ai cicli di fatica principali



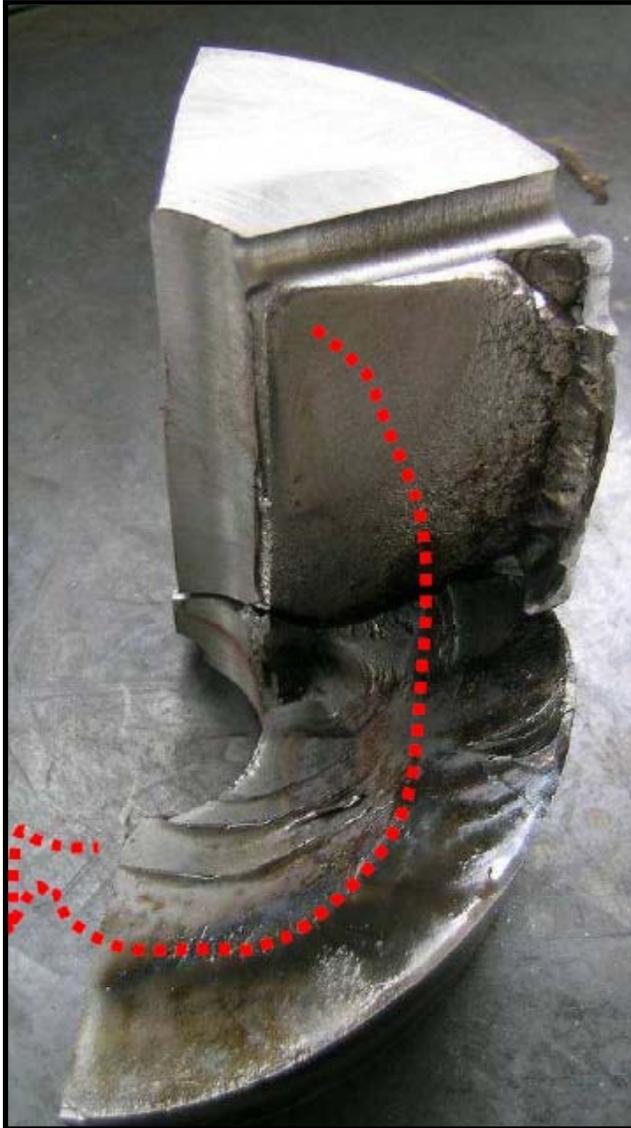
Spinotto - Rottura

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



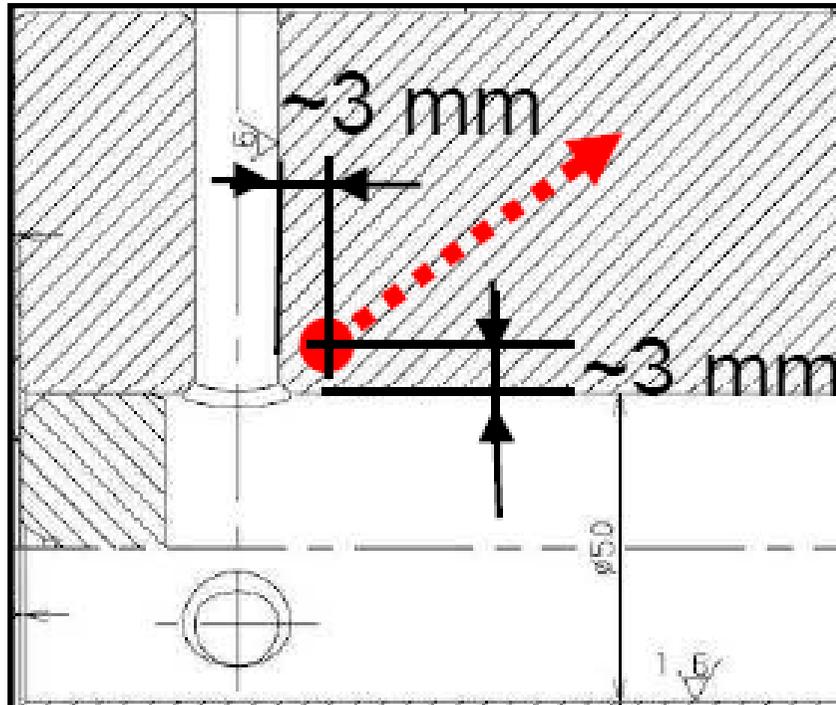
Spinotto - Rottura



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

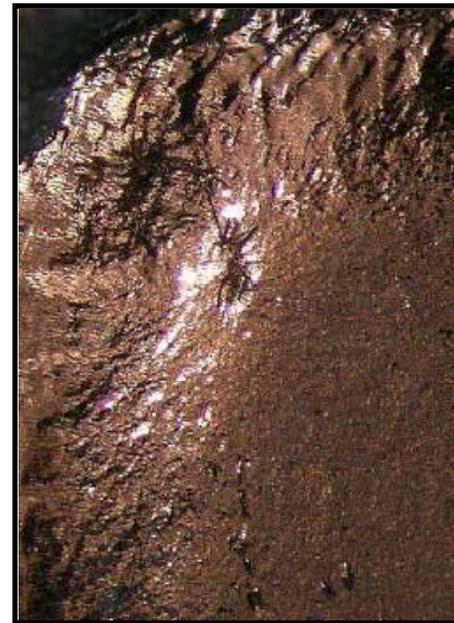


- L'origine della frattura è posizionata sotto la superficie dello smusso ad una profondità di circa 3 mm ed è proseguita verso l'interno del corpo.

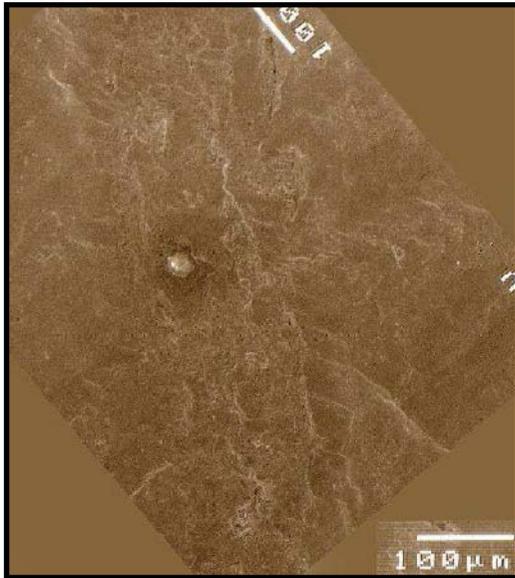
Spinotto – Analisi frattura



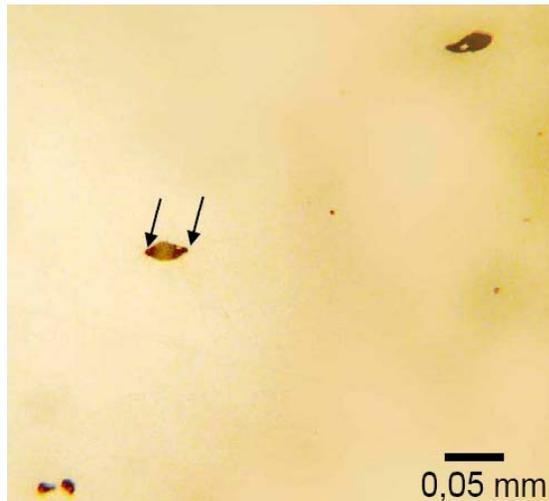
- Macro fotografie della zona d'innescò della frattura.
- Si evidenzia una discontinuità sotto la superficie del raccordo.
- Esecuzione irregolare dello smusso con rugosità superiore a quanto prescritto.



Spinotto – Analisi frattura

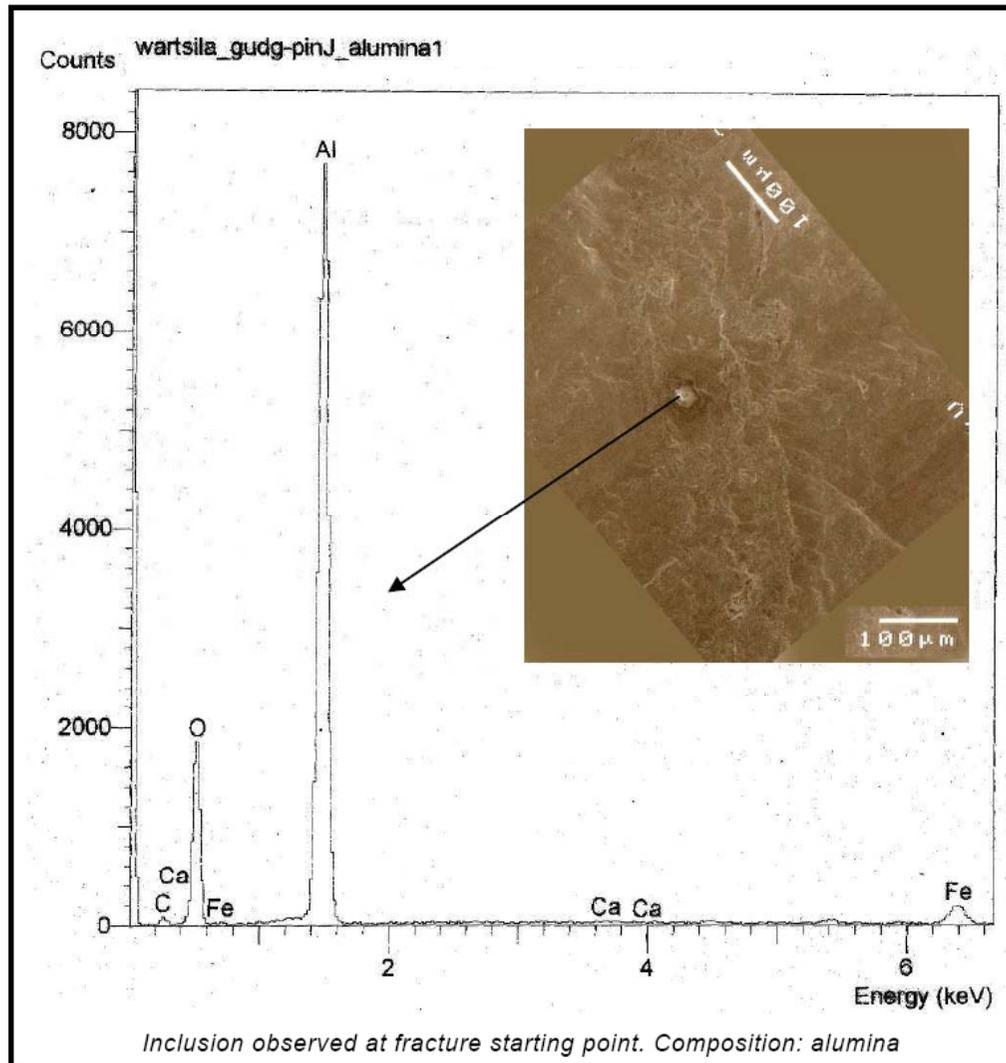


- Microfotografie della discontinuità nella zona di origine della frattura.
- Rilevata la presenza di un'inclusione non metallica di circa 30 μm nella zona in esame.



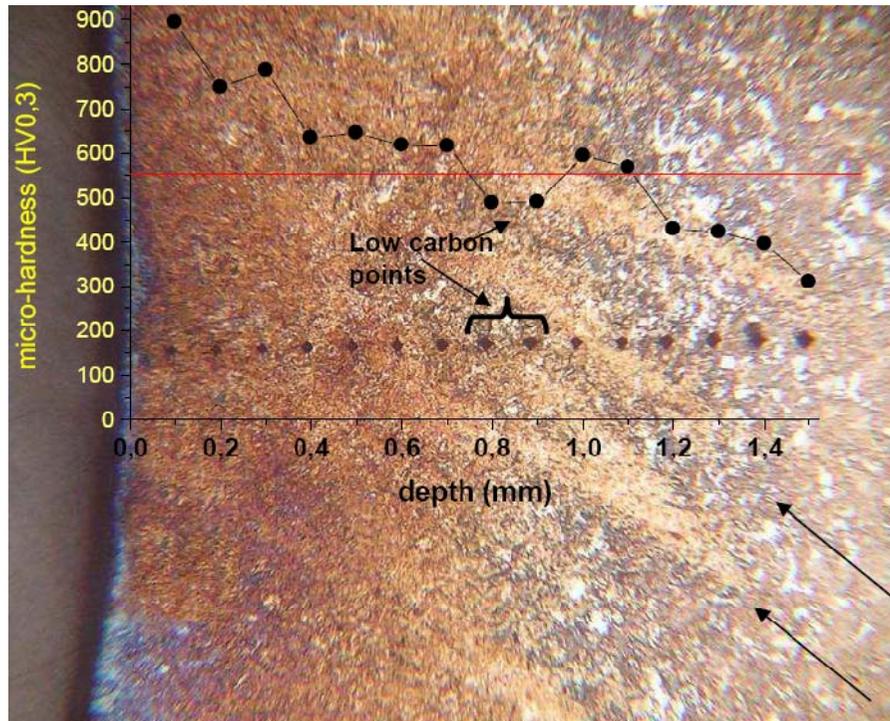
- Estendendo la zona d'indagine si sono trovate altre inclusioni, la cui densità rientra nella norma DIN 50602.

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 (Al_2O_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 (4×10^8), 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