



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## Webinar CIFI

# **Modelli di danneggiamento di ruote e assili**

S. Beretta

Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica

# Sommario

Le nuove metodologie di acquisizione ed elaborazione dei dati raccolti in esercizio permette di affinare la stima di vita dei componenti, ma al tempo stesso ci obbliga ad affinare i modelli per poter togliere qui **coefficienti di sicurezza** che riflettono una scarsa conoscenza dei fenomeni fisici e non permettono di sfruttare appieno le informazioni offerte.

- 1) Nuovi concetti per la propagazione delle fratture negli assili;
- 2) come usare le informazioni dal servizio (caso assili);
- 3) nuovi strumenti per la qualità e manutenzione delle ruote.



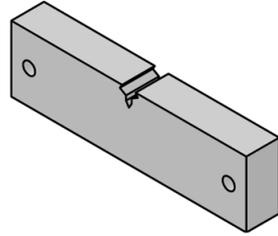
# Sommario

- 1) Nuovi concetti per la propagazione delle fratture negli assili;
- 2) come usare le informazioni dal servizio (caso assili);
- 3) nuovi strumenti per la qualità e manutenzione delle ruote.

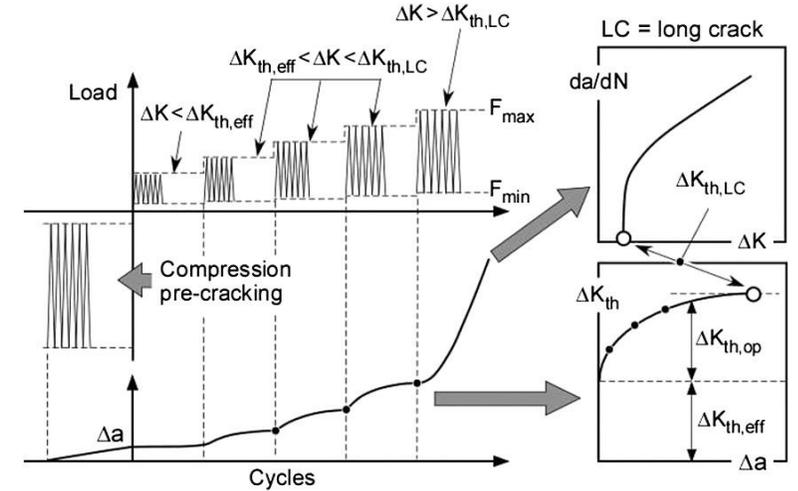
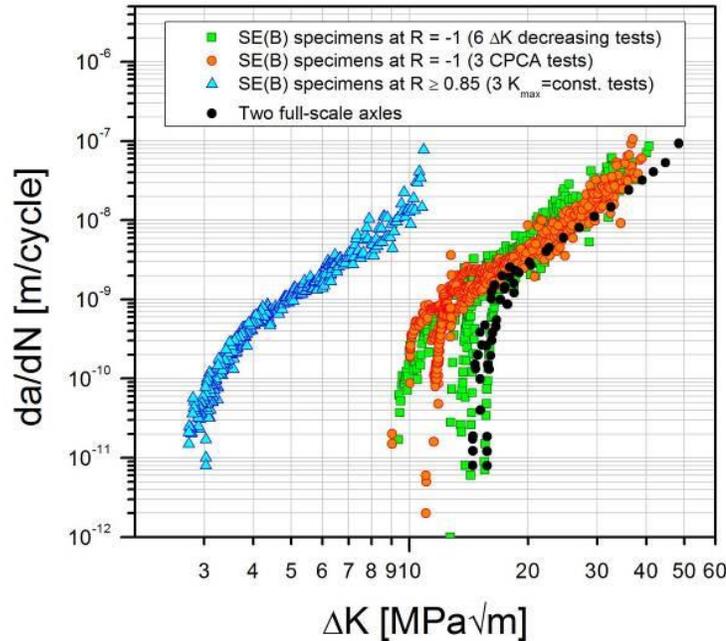


# Nuovi concetti nella propagazione fratture

Newgli esperimenti tradizionali le cricche vengono 'fatte fermare' riducendo il carico applicato per cercare le soglie ( $\Delta K_{th}$ )

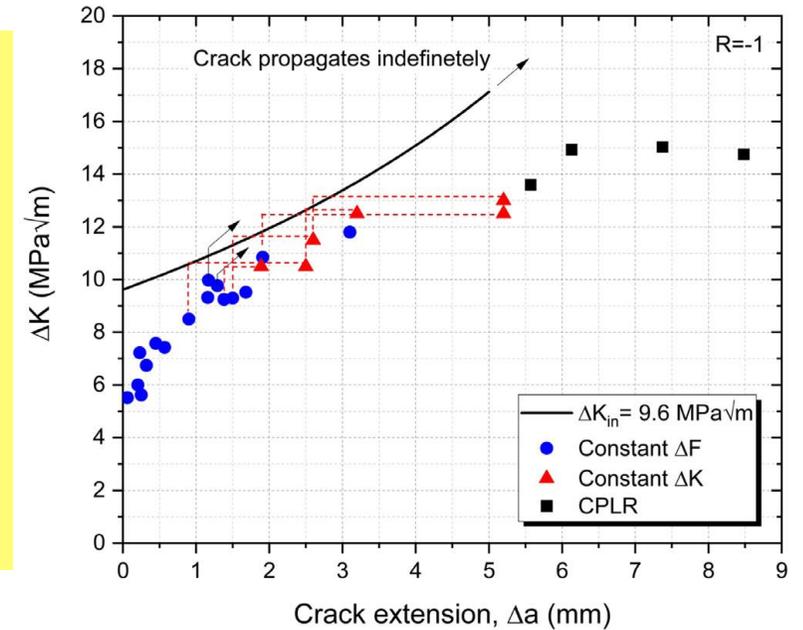


Attraverso prove incrementali di carico si cercano le condizioni per cui le cricche iniziano a propagare.



I risultati più significativi:

- le cricche iniziano a propagare a livelli di  $\Delta K$  più bassi delle soglie;
- le soglie dipendono dalla lunghezza delle cricche stesse

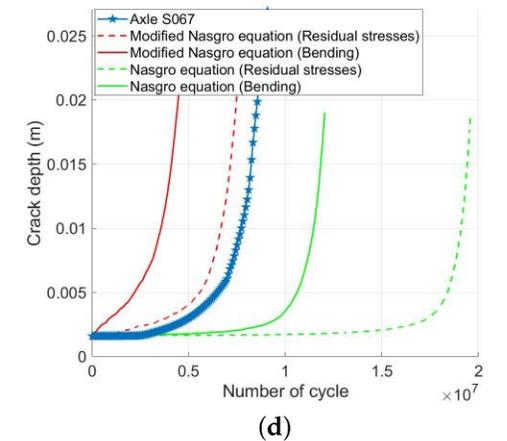
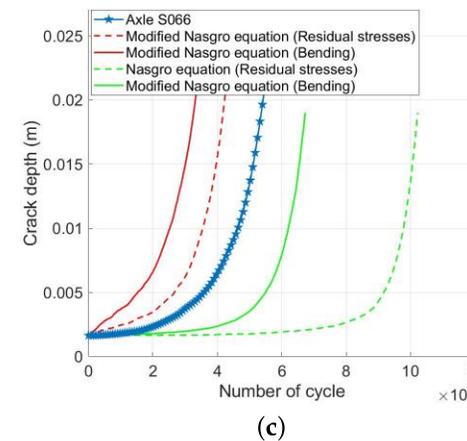
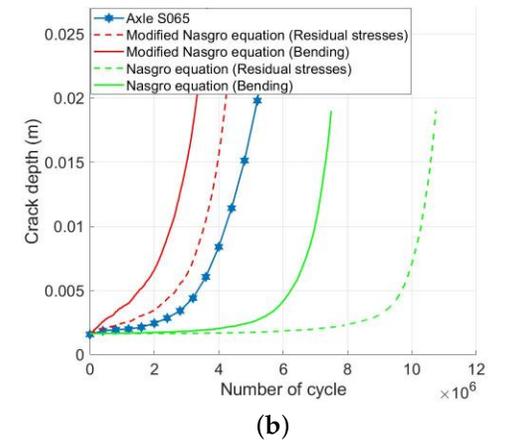
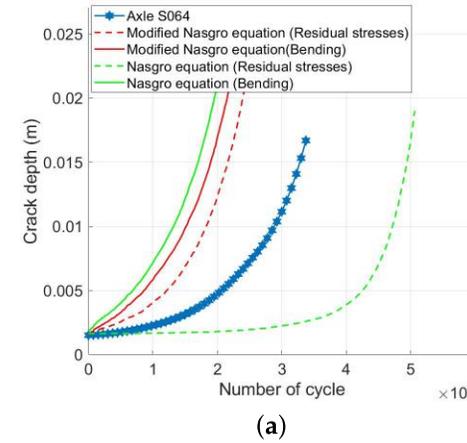
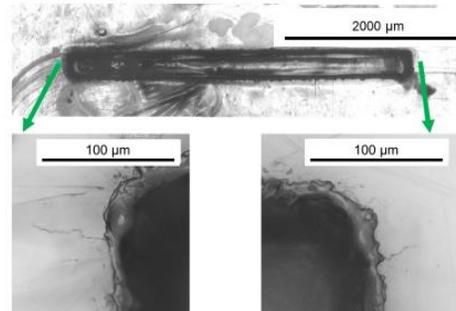
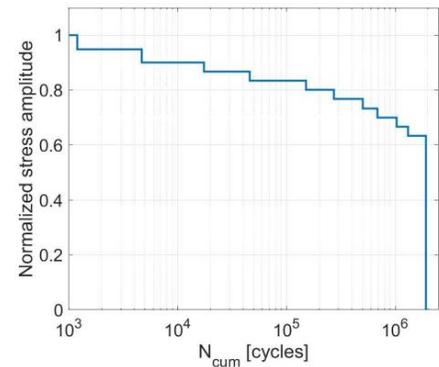


# Nuovi risultati

## Nuova campagna di prove sperimentali su assili di diversi lotti

Axle	Maximum $\Delta K$ at Deepest Point of the Crack (a) (Normalized by $\Delta K_{th,lc}$ )	Maximum $\Delta K$ at Surface Point of the Crack (c) (Normalized by $\Delta K_{th,lc}$ )	Percentage of Load Blocks below $\Delta K_{th,lc}$ for Deepest Point of Crack (a)	Percentage of Load Blocks below $\Delta K_{th,lc}$ for Surface Point of Crack (c)	Number of Cycles to Failure	Final Crack Dimension at Failure (mm)
S064	1.19	1.38	97.7%	64.5%	3,375,000	$a = 16.7$ $c = 22.01$
S065	1.09	1.27	99.8%	85.8%	5,600,000	$a = 25.6$ $c = 36$
S066	1.11	1.29	99.8%	85.8%	5,775,000	$a = 26.1$ $c = 35.4$
S067	1.03	1.20	99.98%	98.1%	9,150,000	$a = 29$ $c = 50.5$

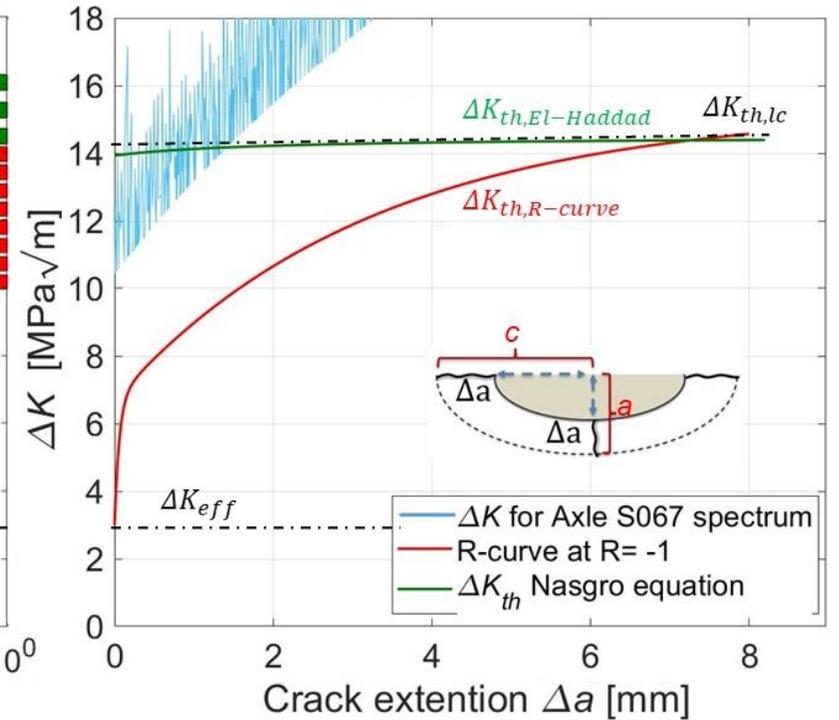
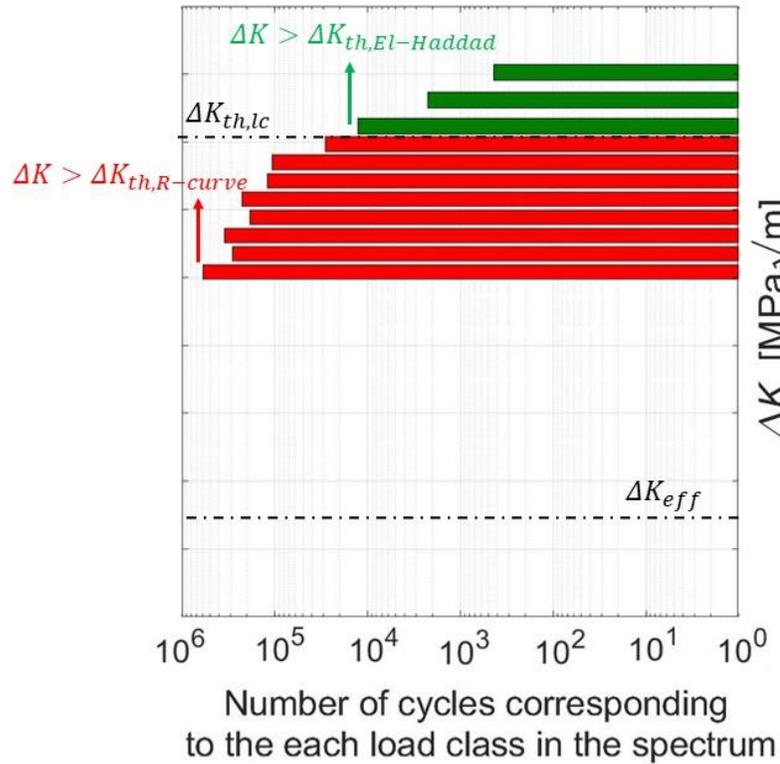
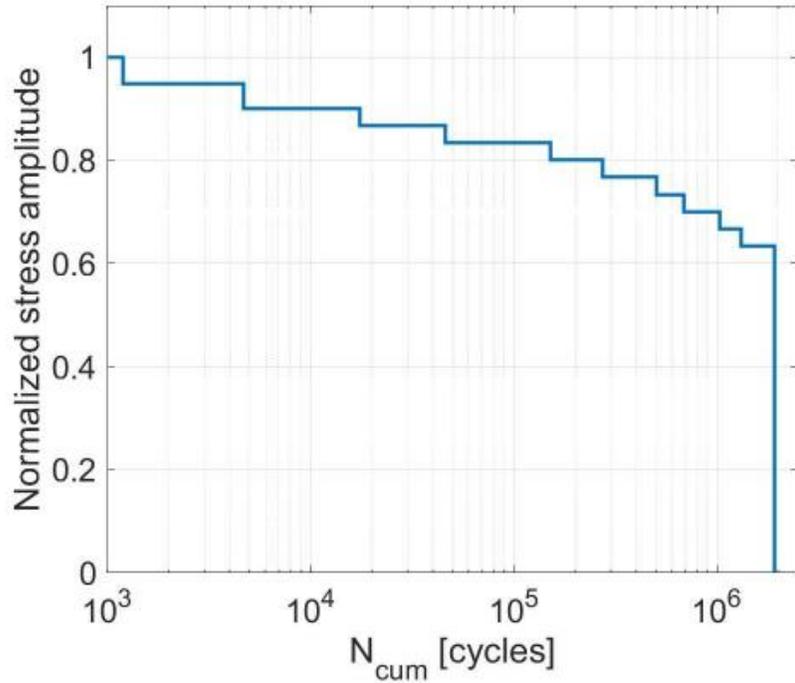
- prove a spettro;
- monitoraggio avanzamento fratture da difetti artificiali (profondità 1.5 mm)



**Figure 9.** Residual lifetime predictions and comparison with the full-scale axle test results: (a) Axle S064, (b) Axle S065, (c) Axle S066, and (d) Axle S067.

**Ai livelli di sforzo più vicini all'esercizio ottima corrispondenza con gli esperimenti.**

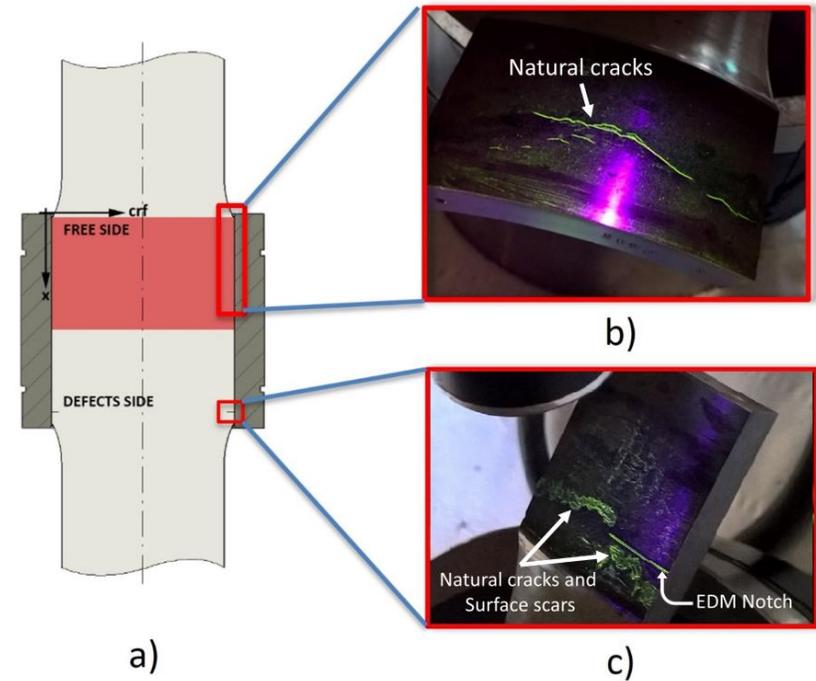
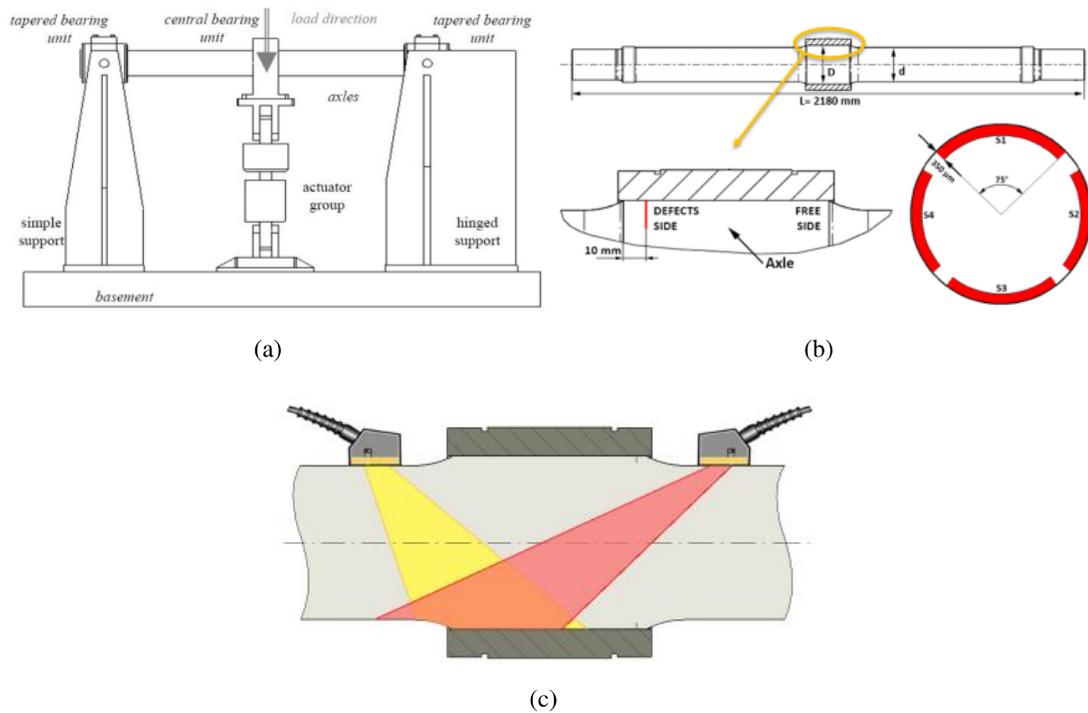
# Nuovi risultati



- L'incremento di  $\Delta K_{th}$  con l'avanzamento fa sì che le cricche possano propagare a livelli di sforzo + bassi;
- Metodi tradizionali di calcolo non sono conservativi



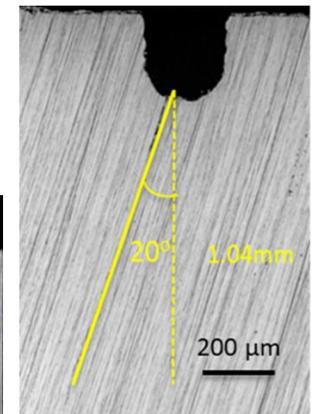
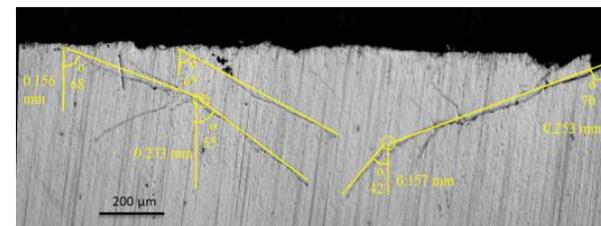
# Cricche nei calettamenti forzati



**Figure 3.1:** Experimental setup: (a) 3-point bending test bench (Vitry); (b) Axle geometry containing circumferential micro-notches, (c) Access points for wheel seat ultrasound inspections.

Campagna sperimentale su assili con difetti da 250 e 350 micron nei caletti

Competizione tra difetti e cricche naturali da fretting

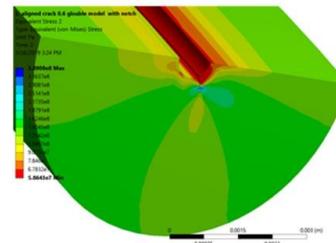
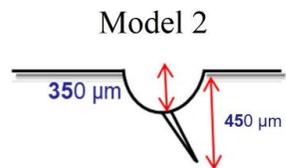
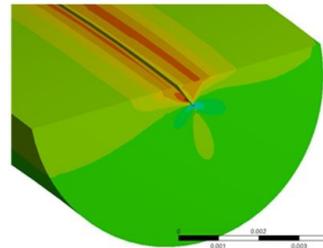
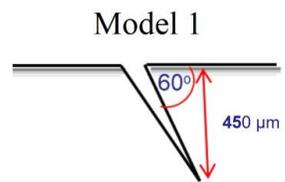
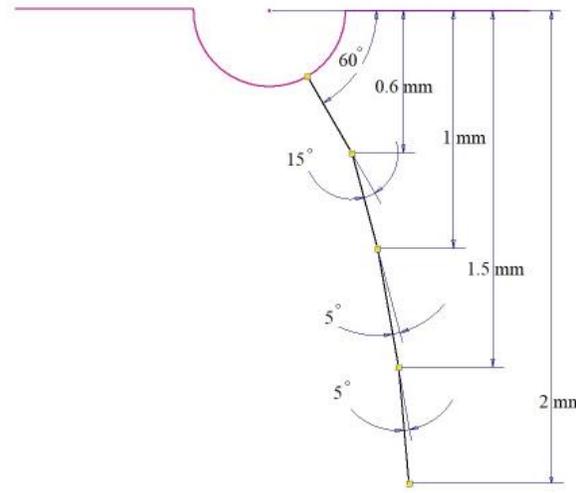
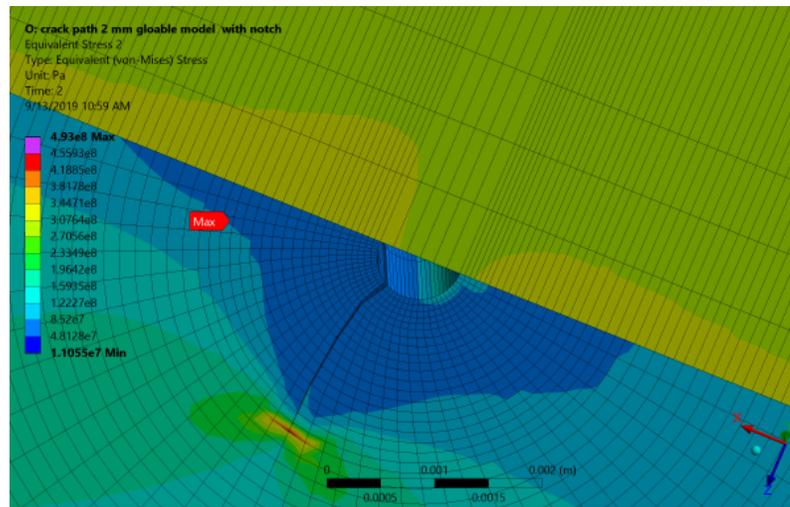


(a)

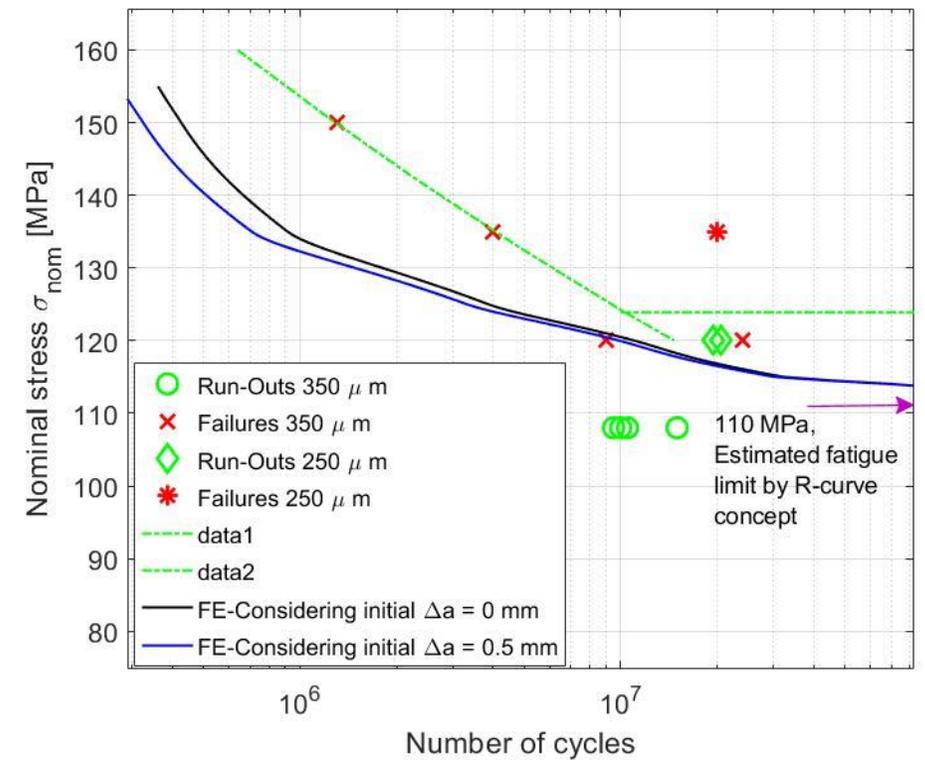
(b)



# Previsione di vita su assili con difetti nei caletti



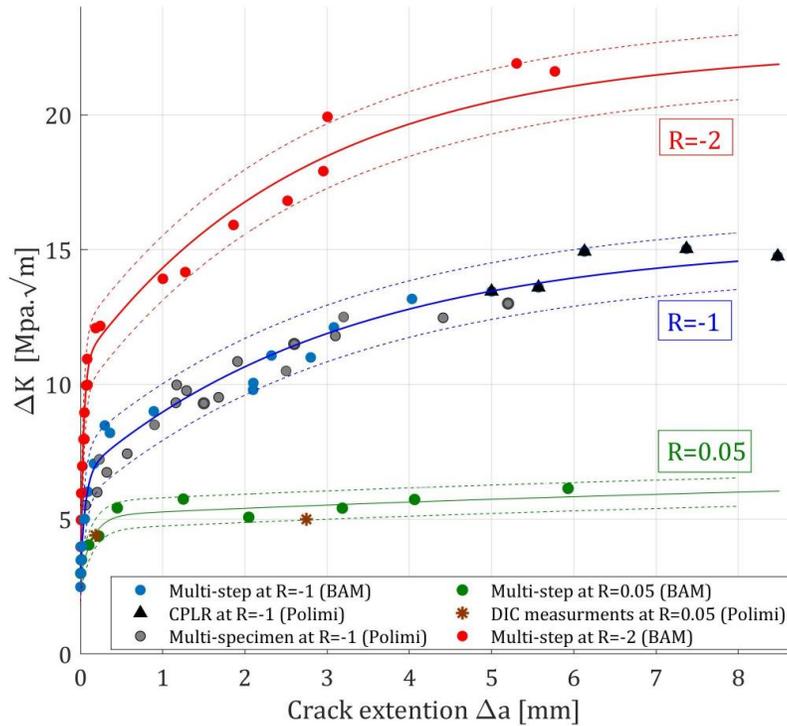
- Modellazione del percorso della cricca;
- Simulazione della propagazione con R-curve



- Ottima stima del limite di fatica;
- Stima di vita conservativa (no dissipazione energia per attrito)



# Nuovo tool di calcolo



Codice di calcolo **Star-Crack digital twin**:

- Algoritmi basati su curva R introdotti in un nuovo tool di calcolo;
- Altri inputs: spettri, distribuzione sforzi, sforzi residui

StarCrack Software for Inspection Intervals

Geometry:  Solid,  Hollow. Diameter [mm]: 152. OK

Acting stress profiles:  Stress state (bending+pressfit). Details. Tensile stress state:  Tensile stress state,  Compressive stress state. Nominal Stress FEM [MPa]: 100. OK

Notch dimension:  Straight crack. Details. Notch Dimensi...: Depth (a0) [mm]: 2. Delta\_a0 [mm]: 0.5. OK

Material:  A4T,  Load mat.

Load Spectrum:  HyperWheel #1,  HyperWheel #2,  HyperWheel #3,  Constant Load. Spectrum from file. Max block size: . Amplification: 1. Spectrum length[km]: 100000. Maximum bloc...: Maximum block size [cycles]: 1e+06. Number of randomization: 1. OK

LUCCHINI RS

December 2019, Version 2.0 (Fretting and R-curve update)

POD:  FES,  NES,  MPI,  BP Depth,  BP Area

Inspection [km]: 125000



# Sommario

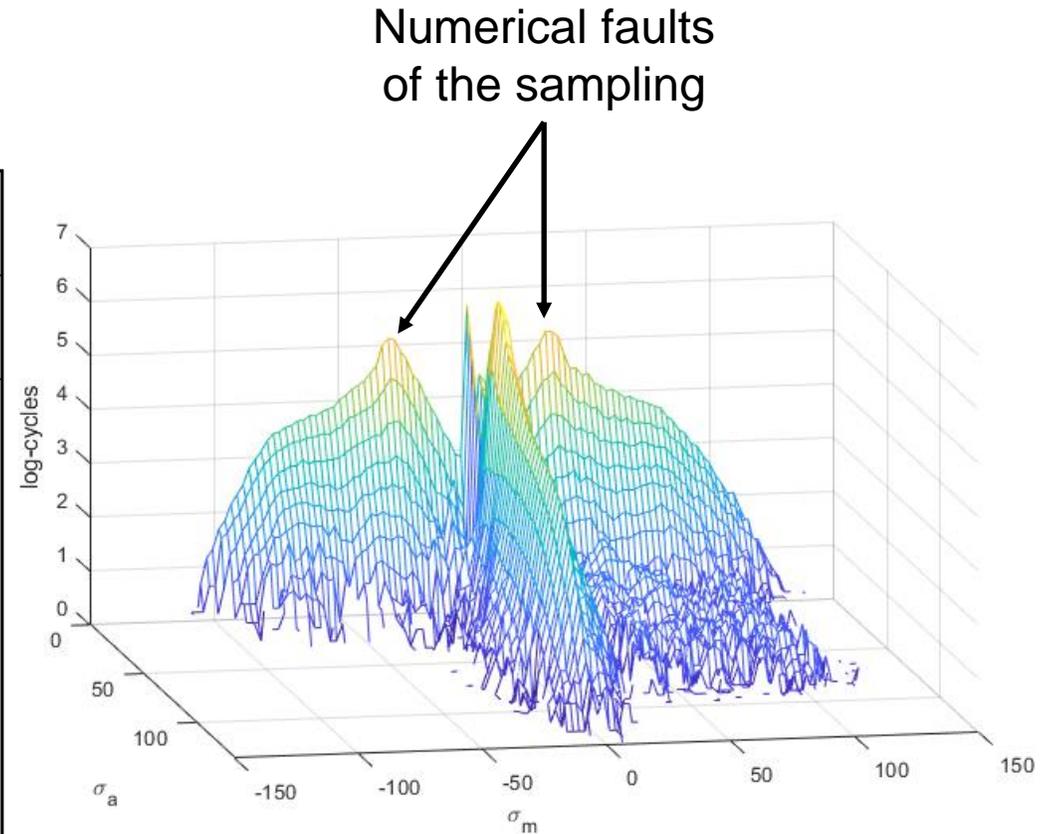
- 1) Nuovi concetti per la propagazione delle fratture negli assili;
- 2) come usare le informazioni dal servizio (caso assili);
- 3) nuovi strumenti per la qualità e manutenzione delle ruote.



# Estrapolazione misure in esercizio

Results are stored in Rainflow Counting matrices.

Stresses in MPa		$\sigma_{\text{amplitude}}$ - 80 columns				
		0	...	...	...	195.2
$\sigma_{\text{mean}}$ - 160 rows	-195.2	Number of cycles				
	...					
	0					
	...					
	195.2					



Omissione dei dati affetti da errori numerici

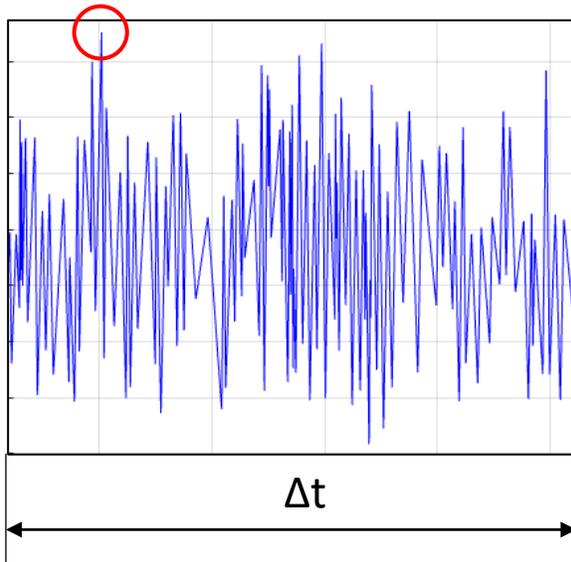


# Tecniche per estrapolazione spettri

Se la storia temporale è disponibile



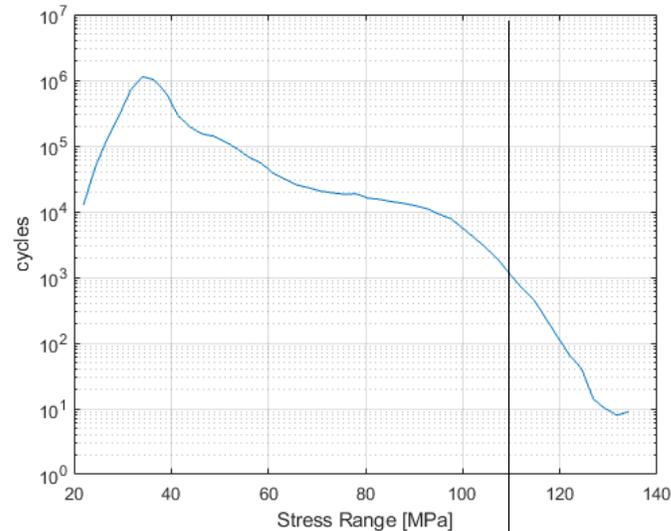
Block maxima sampling



Se la storia temporale non è disponibile



Peak over Threshold

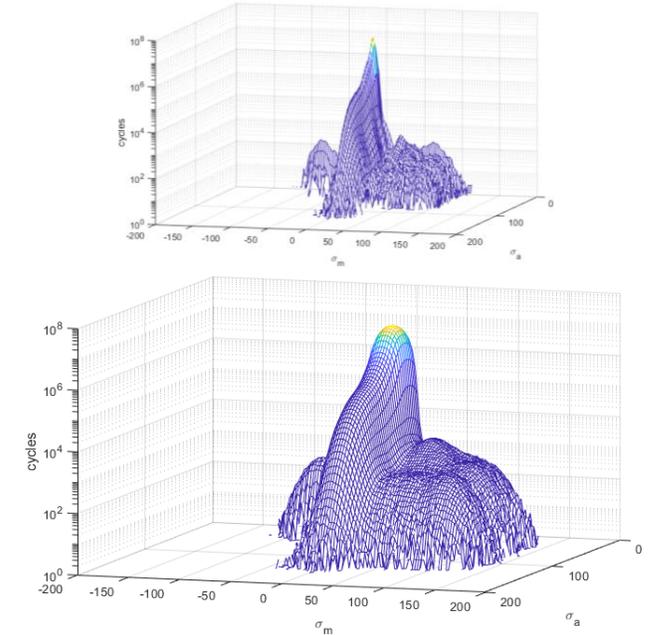


Spectrum is repeated | Fitting distribution

Matrici bi-variate rainflow

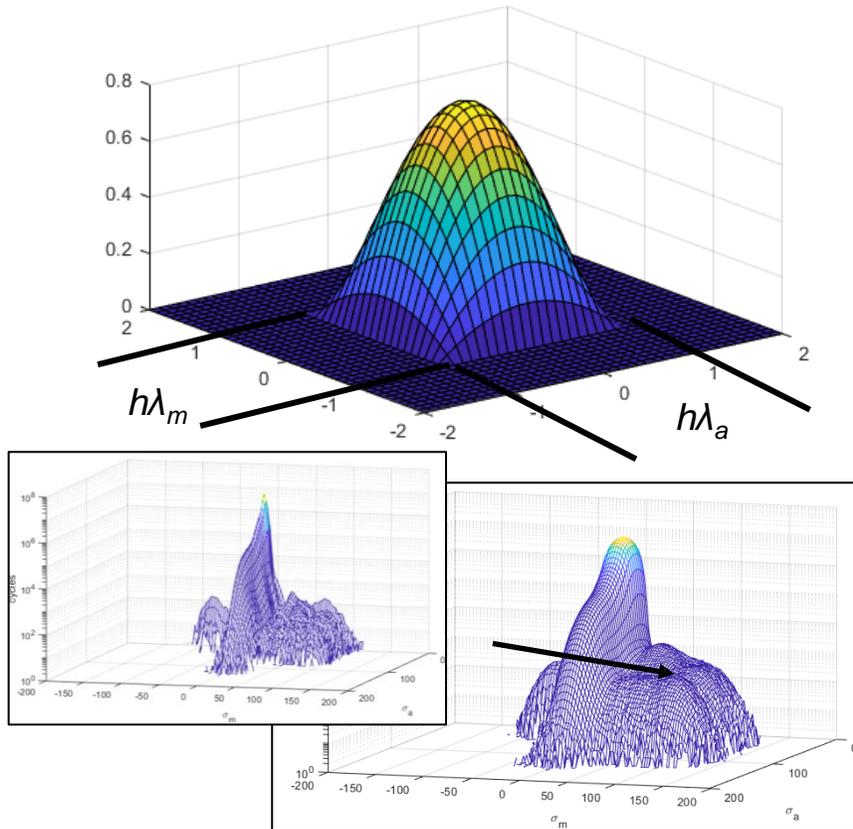


Kernel density functions

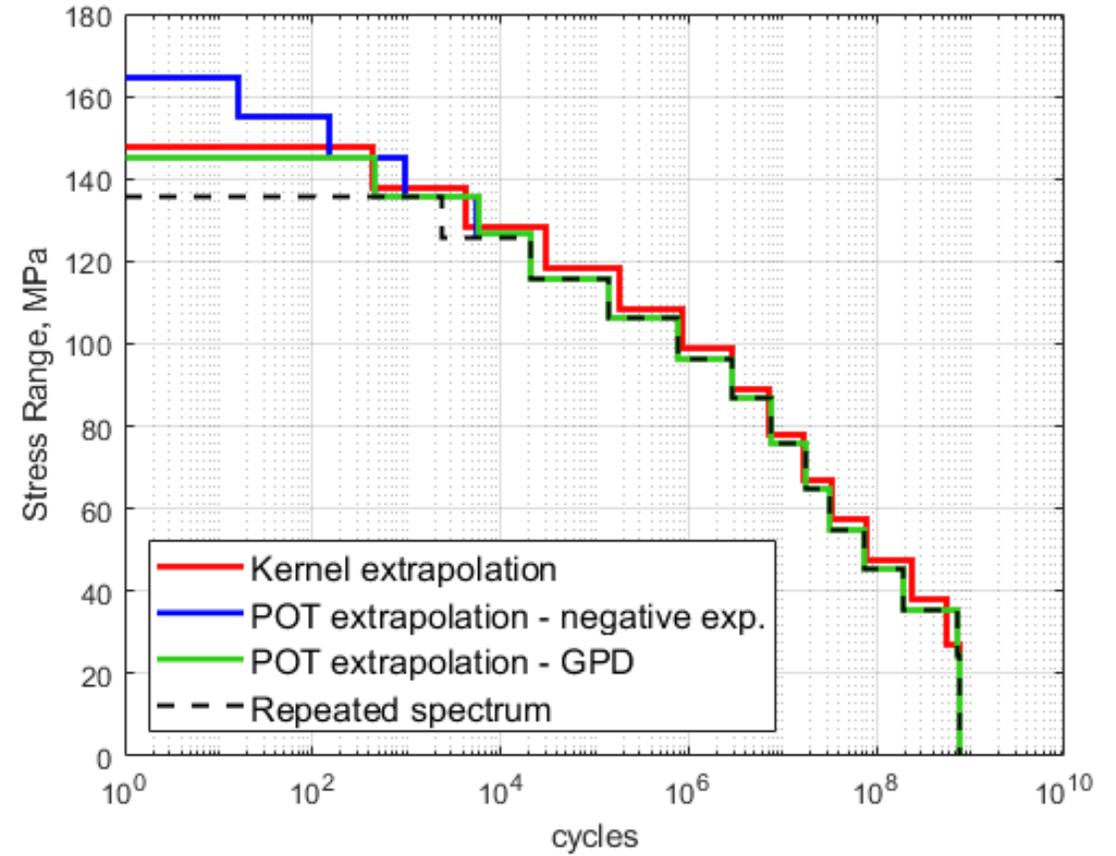


# Estrapolazione spettri di carico

$$f(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(h\lambda_{mean} \cdot h\lambda_{alt})} K\left(\frac{x - X_i}{h\lambda_{mean}}, \frac{y - Y_i}{h\lambda_{alt}}\right) \right]$$

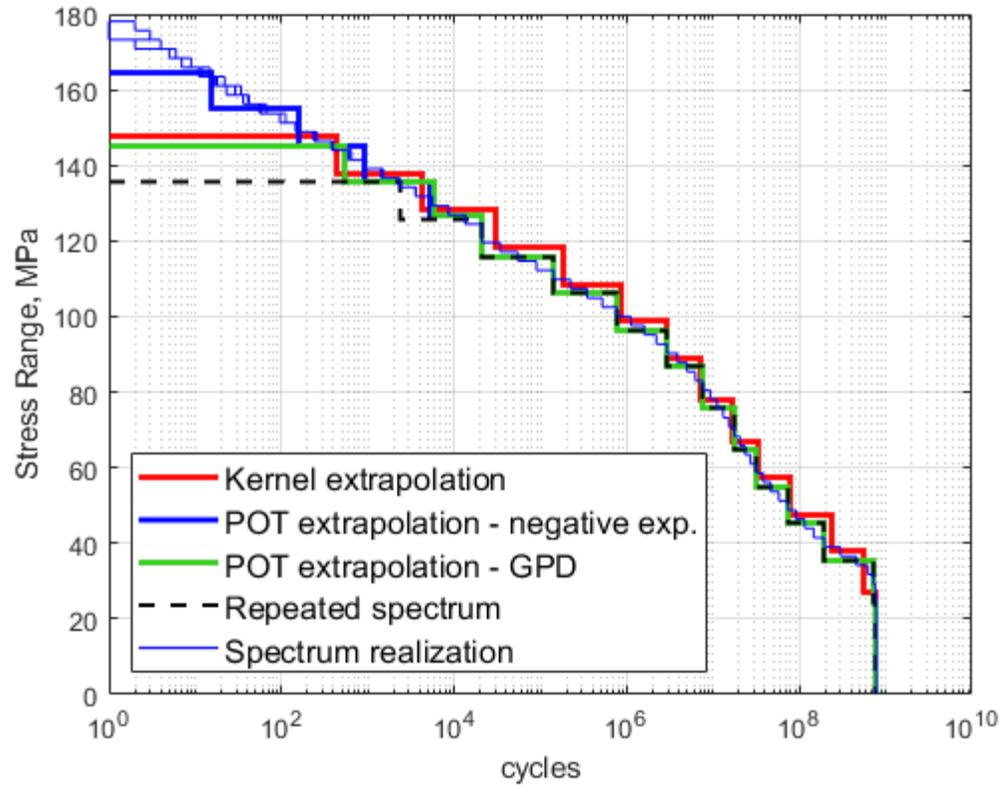


Le tecniche sono confrontabili

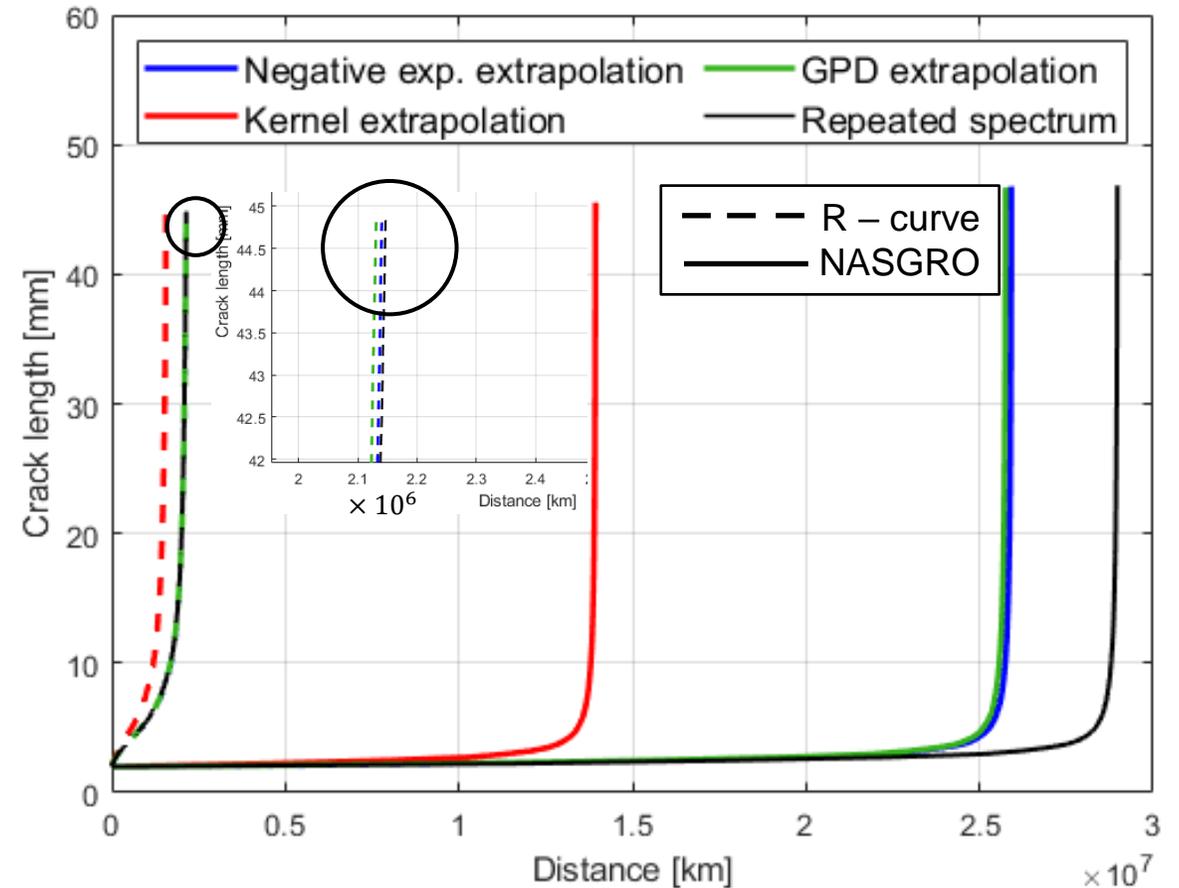


# Applicazione estrapolazioni

E' possibile rigenerare degli spettri casuali



Grande effetto dell'introduzione curva R



# Estrapolazione spettri misurati Coradia Svezia

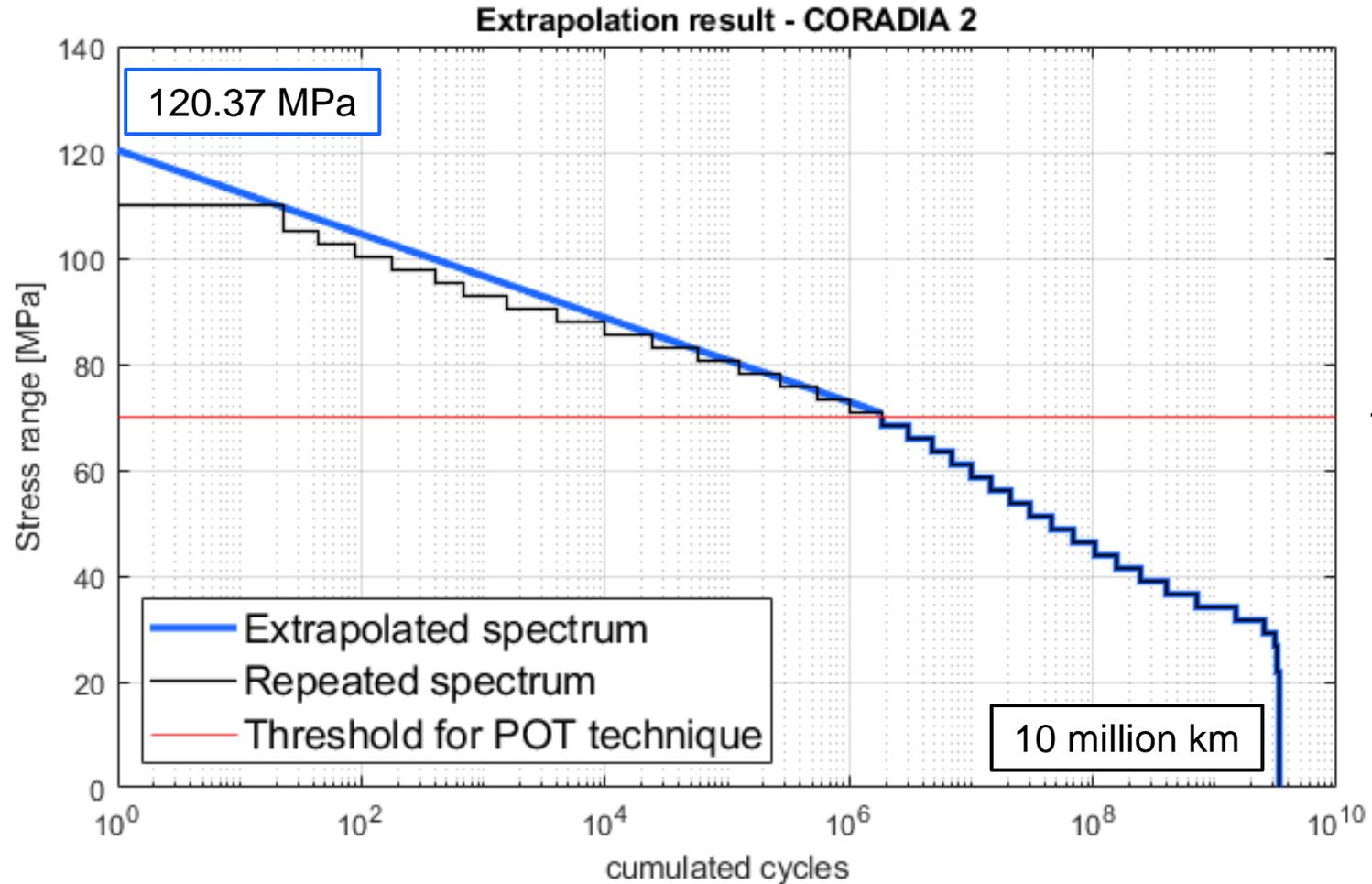
Misure per 420,000 km



Estrapolazione a  
10,000,000 km



Rigenerazione di nuove  
spettri per le previsioni  
di vita



Extrapolation  
factor = 22.54



# Sommario

- 1) Nuovi concetti per la propagazione delle fratture negli assili;
- 2) come usare le informazioni dal servizio (caso assili);
- 3) nuovi strumenti per la qualità e manutenzione delle ruote.

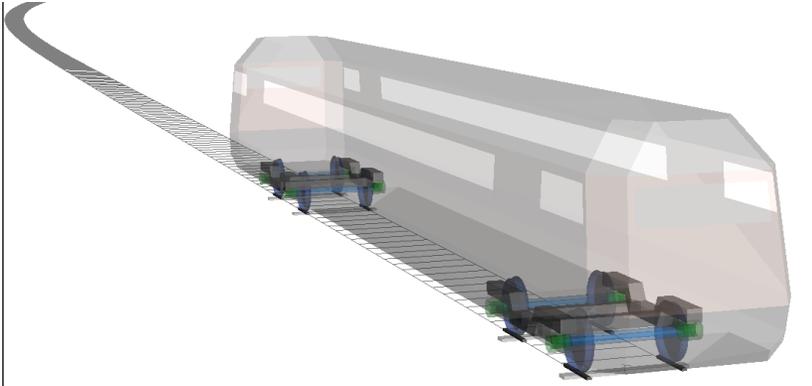
Progetto SIWE (**S**tructural **I**ntegrity of **W**h**E**els) si rivolge a mettere a punto nuovi strumenti di analisi per LucchiniRS:

- set di simulazioni dinamiche per diversi tipi di convogli;
- una serie di strumenti per la previsione della vita ed accettabilità dei difetti.

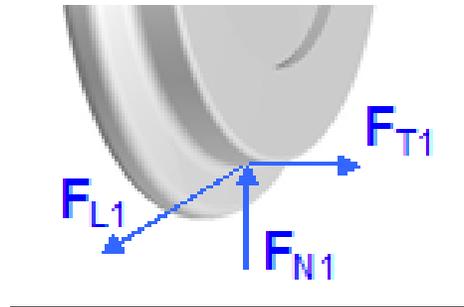


# SIWE - Stima degli spettri di carico

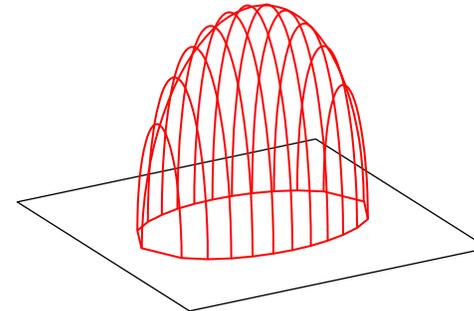
Simulazione della dinamica di marcia  
con modelli multibody



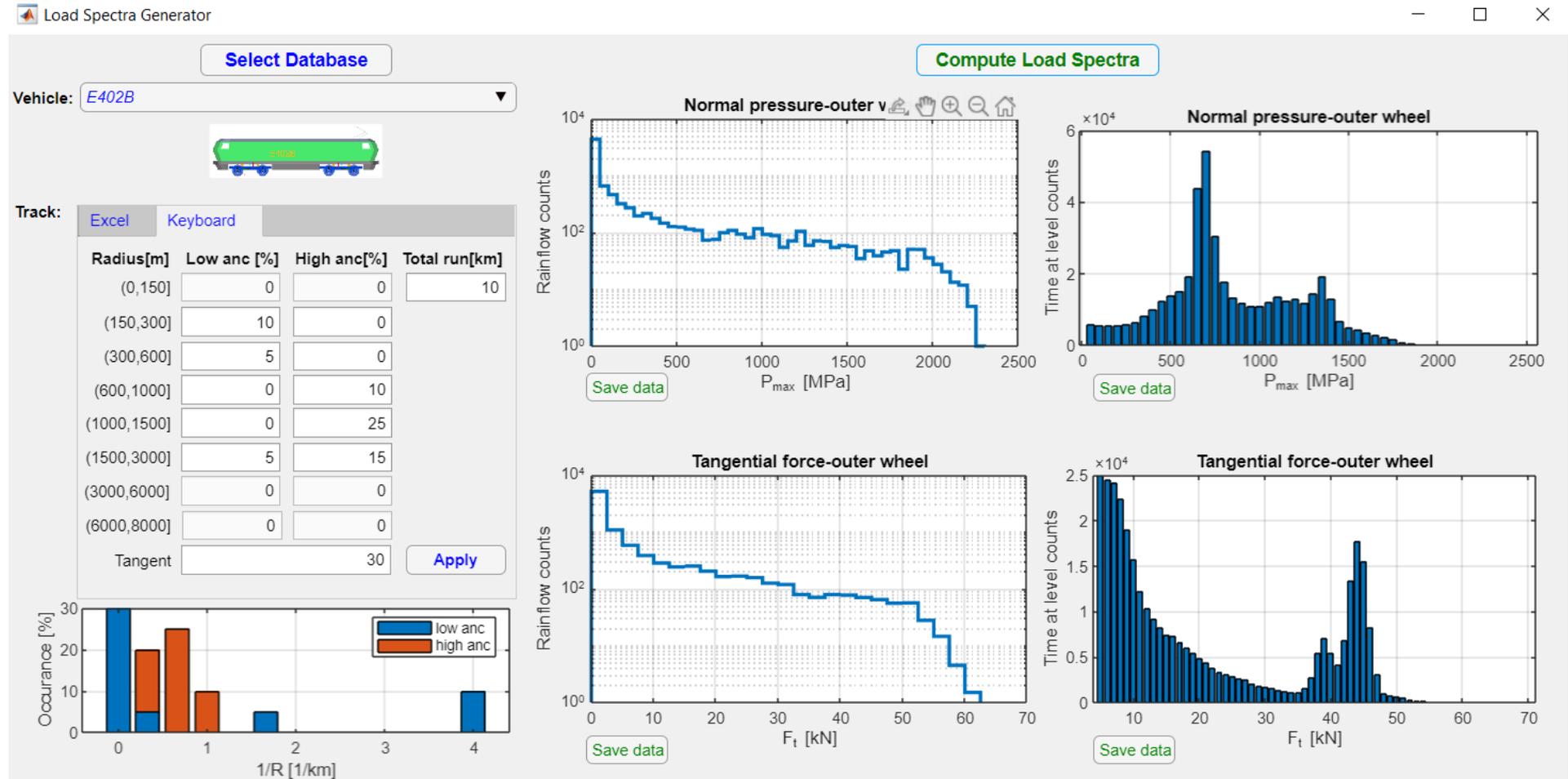
Estrazione delle forze di contatto



Forma e dimensione impronta di  
contatto, sforzi normali e tangenziali

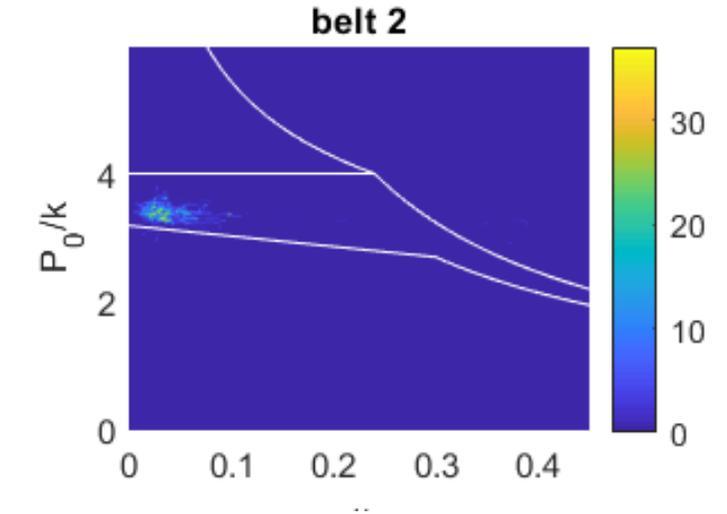
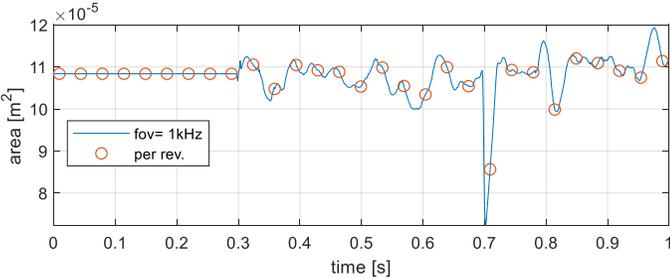
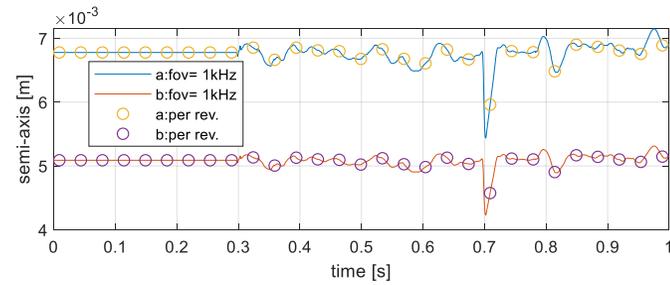
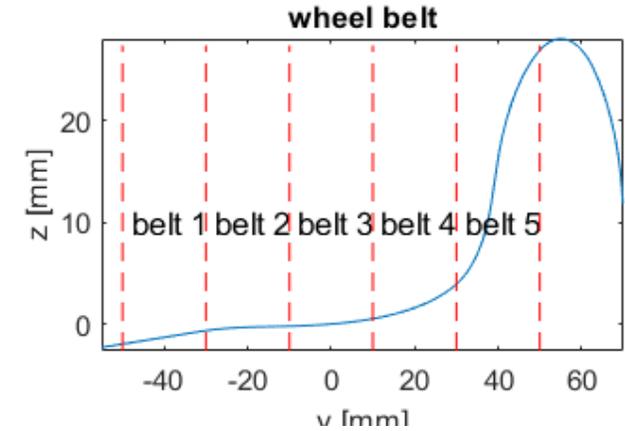
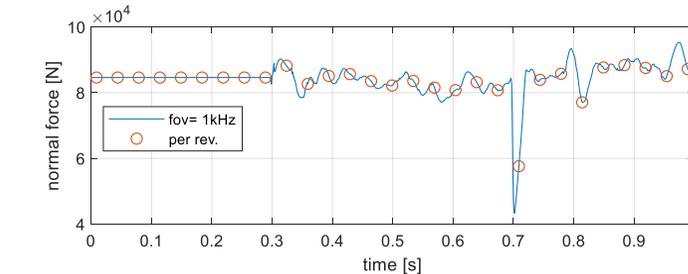
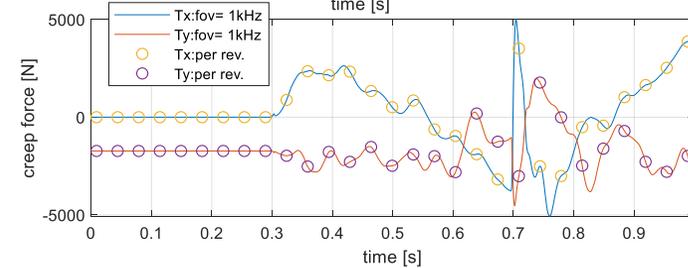
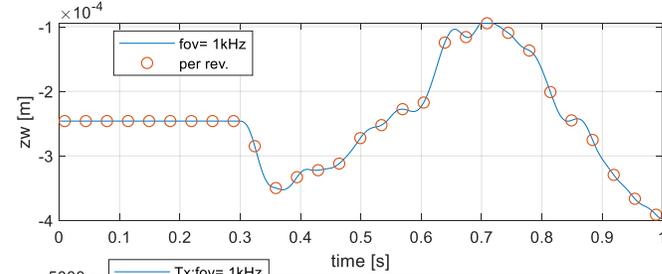
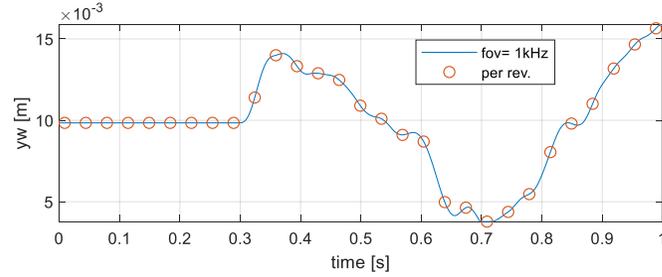


# SIWE - Tool di generazione spettri di carico



# SIWE - Uscite delle simulazioni dinamiche verso i modelli di danneggiamento da RCF

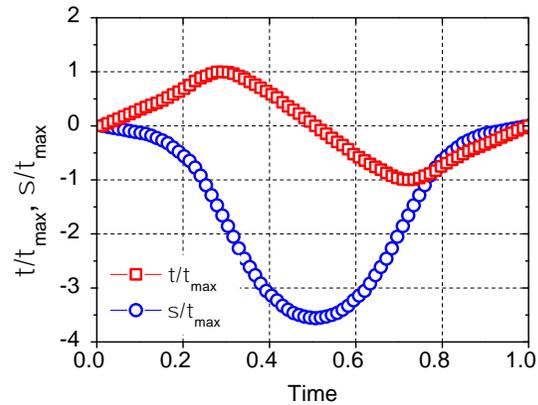
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-3.0815e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0
2	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-2.9124e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0010
3	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-2.2058e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0020
4	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.7848e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0030
5	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.6841e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0040
6	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5843e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0050
7	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5253e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0060
8	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5329e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0070
9	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5410e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0080
10	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5487e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0090
11	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5562e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0100
12	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5646e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0110
13	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5737e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0120
14	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5843e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0130
15	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.5949e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0140
16	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.6046e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0150
17	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.6150e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0160
18	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.6256e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0170
19	0.0098	-2.4611e-04	0.0136	0.0102	1.0836e-04	-1.6359e-04	-1.7286e+03	8.4595e+04	0.0180



Diverse zone della ruota sono in condizioni di diverso cemento



# SIWE - Nuovi criteri di fatica per RCF

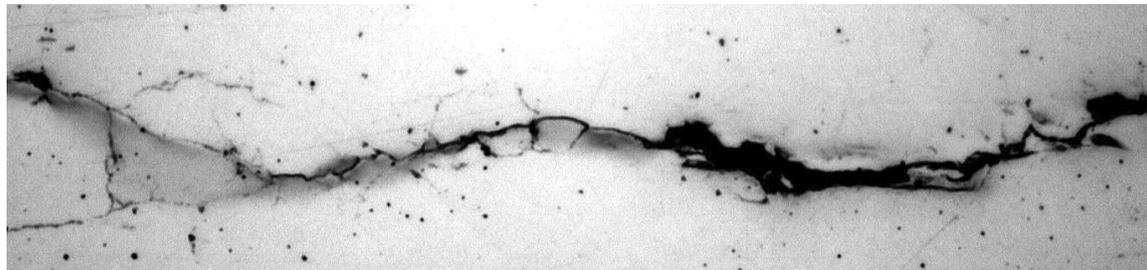
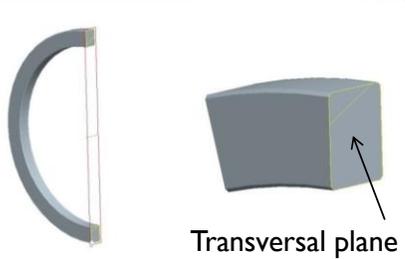
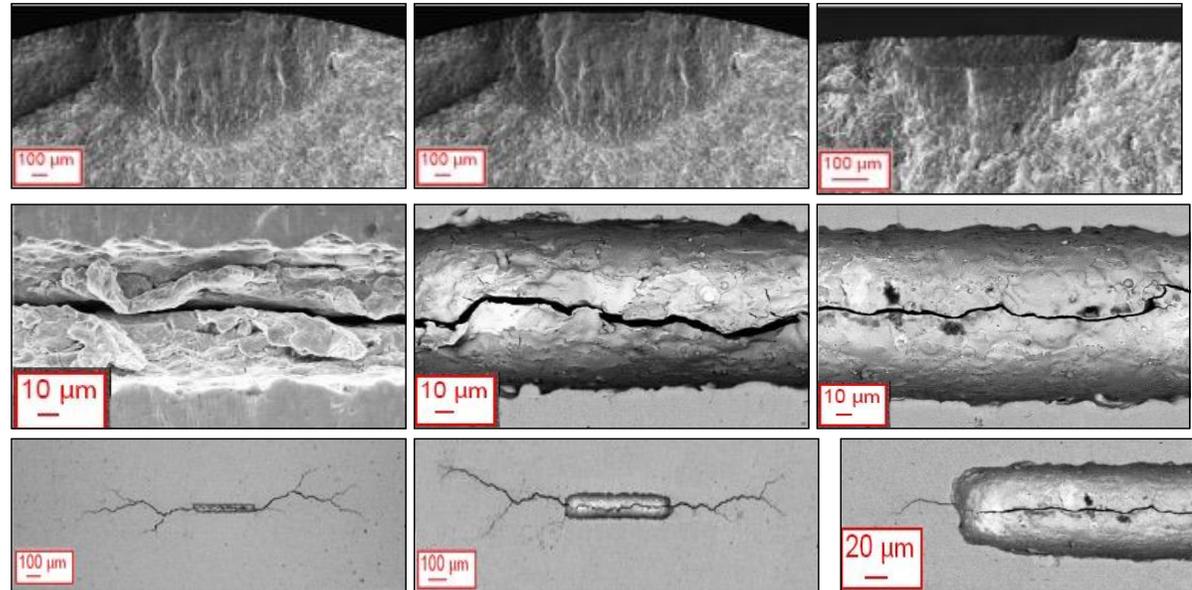


Metodo di prova messo a punto a PoliMi, permette di replicare le condizioni di RCF per cui le cricche propagano per 'shear'

$\Delta K_{III} / \Delta K_{I,th} = 1.2$   
 $N = 6 \cdot 10^4$  cycles

$\Delta K_{III} / \Delta K_{I,th} = 1.1$   
 $N = 1.2 \cdot 10^5$  cycles

$\Delta K_{III} / \Delta K_{I,th} = 0.8$   
 $N = 1.2 \cdot 10^5$  cycles



- Elaborazione di mappe di accettabilità dei difetti per le diverse zone della ruota;
- competizione con usura (collaborazione con UniBS)

# Conclusioni

Nuove metodologie di analisi della durabilità in esercizio dei materiali e della sala montata sono stati messi a punto in questi anni e trasferiti alle applicazioni del materiale nelle collaborazioni con LucchiniRS.

- 1) metodologie di analisi della propagazione frattura , capaci di descrivere la propagazione da micro-intagli e da cricche da fretting;
- 2) metodi di estrapolazione delle misure in esercizio degli sforzi rilevati su assili in esercizio per permettere valutazioni precise della vita in esercizio;
- 3) strumenti di simulazione per il cimento delle ruote nelle diverse condizioni dinamiche di esercizio, per permettere una migliore valutazione della accettabilità difetti ai controlli NDT ed una manutenzione adattata ai diversi tipi di esercizio.

