

# Valutazione dell'effetto della dimensione del difetto nella risposta vibrazionale di un cuscinetto a rulli

Brusa E., Bruzzone F., Delprete C., Di Maggio L. and Rosso C.

Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

- 
- Il monitoraggio dello stato di salute dei cuscinetti è un aspetto cruciale per evitare costose rotture e fermi macchina
  - Solitamente, il segnale vibrazionale acquisito in svariati modi è trattato in modo da evidenziare informazioni riguardanti la salute del cuscinetto (eventuale usura, difetti o danneggiamenti), per esempio con il metodo dell'involuppo

In questo lavoro:

- Il segnale vibrazionale che deriva dalla pressione di contatto tra corpi volventi e piste in un cuscinetto con difetti è simulato attraverso un algoritmo non-Hertziano per catturare correttamente i picchi di pressione dovuti ai repentini cambi di curvatura nei pressi del difetto
- Il segnale verrà quindi analizzato tramite il metodo dell'involuppo con diverse bande di filtraggio per cercare una correlazione tra il segnale monitorato e la dimensione del difetto
- Il segnale di pressione tra rullo e pista interna può essere considerato come la sorgente di eccitazione del sistema che causa vibrazioni attraverso una «funzione di trasferimento» data dalla flessibilità dei corpi in gioco

- Carico statico  $C_0 = 750 \text{ kN}$
- Carico dinamico  $C = 455 \text{ kN}$
- Numero rulli  $n_r = 44$
- Angolo inclinazione pista interna  $\varphi = 12,82^\circ$
- Frequenza rotazione albero  $f_r = 15,8 \text{ Hz}$  (950 RPM)
- Ball Passing Frequency Inner race  $BPFI = 231,9 \text{ Hz}$
- Raggio di curvature pista interna  $c_i = 83,1 \text{ mm}$

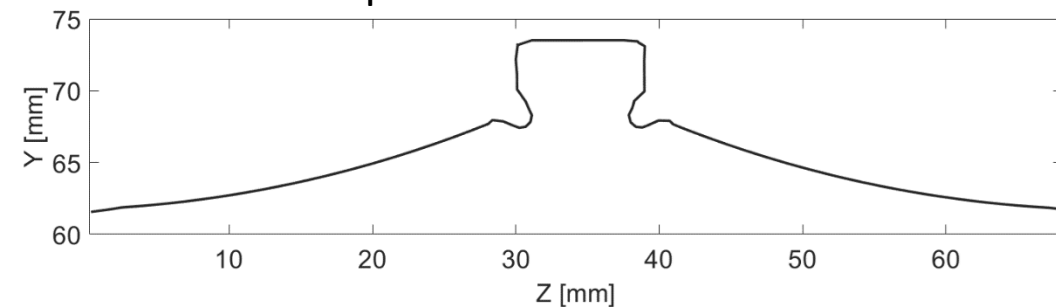
## Elementi volventi:

- Diametro Massimo  $d_r = 17,45 \text{ mm}$
- Raggio di curvatura  $c_r = 81,5 \text{ mm}$

FAG 534179



Geometria pista interna misurata da CMM



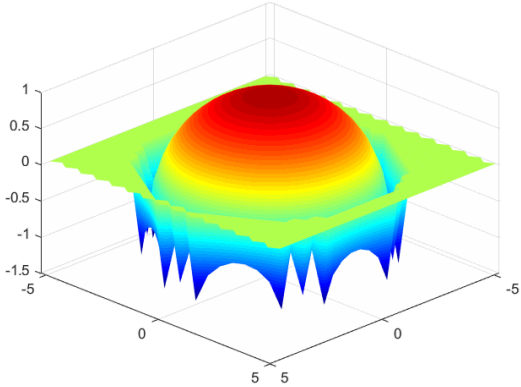
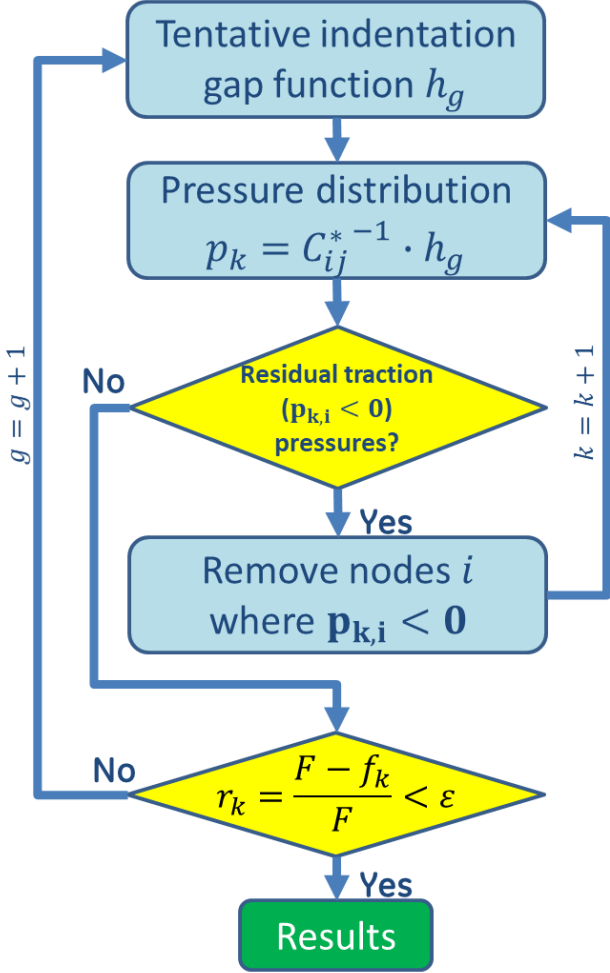
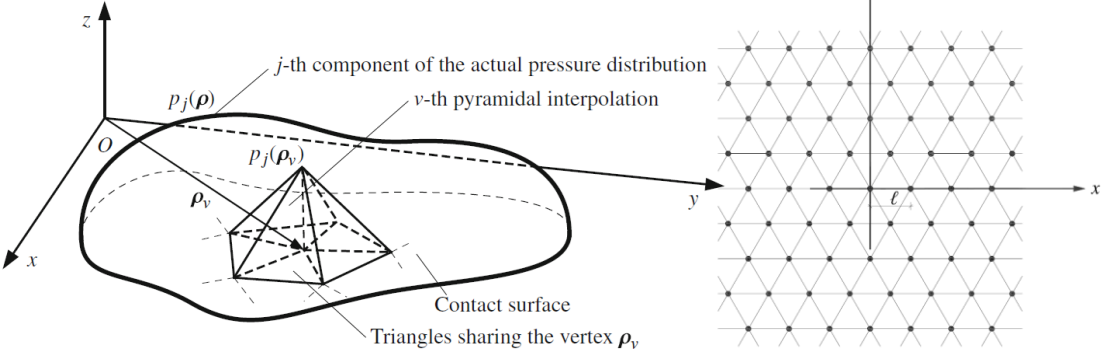
# Modello di contatto non-Hertziano<sup>1</sup>

Problema del contatto Hertz-Signorini-Moreau

$$\mathbf{h} \geq 0, \mathbf{p}_n \geq 0, \mathbf{h} \cdot \mathbf{p}_n = 0$$

Elementi 3D lineari a tratti per contatto non-Hertziano basati su una matrice di "Coefficienti di Influenza"  $C_{ij}^*$  che collegano lo spostamento  $u_i$  al nodo  $i$  dovuto a una pressione  $P_j$  applicata al nodo  $j$

Distribuzione di pressione piramidale su griglia triangolare

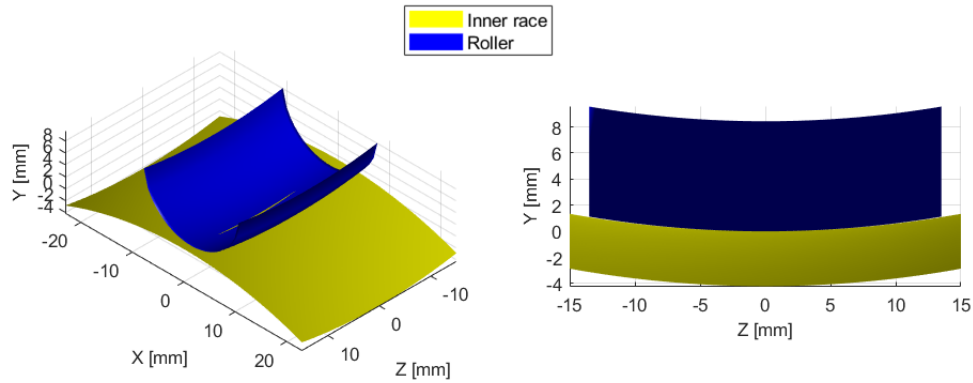


[1] Marmo F, Toraldo F, Rosati A and Rosati L, Numerical solution of smooth and rough contact problems, 2018, Tribology International, 53, 1415-1440  
 AIAS2020 - 2-5 Settembre GENOVA (GE)

# Modello di contatto non-Hertziano

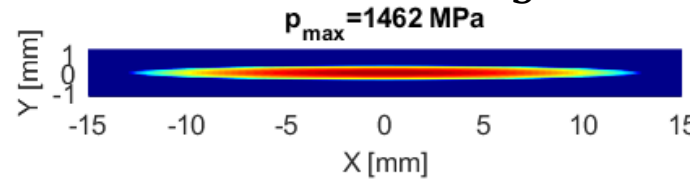


## Modello computazionale



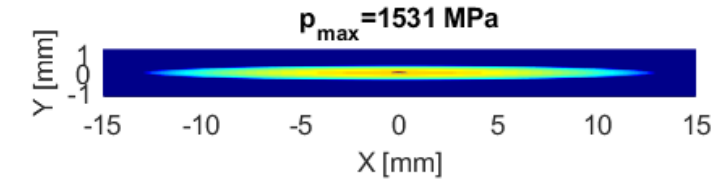
## Difetto al di fuori dell'orma di contatto

$$F_3 = \frac{1}{3} C_0 = 250 \text{ kN}$$



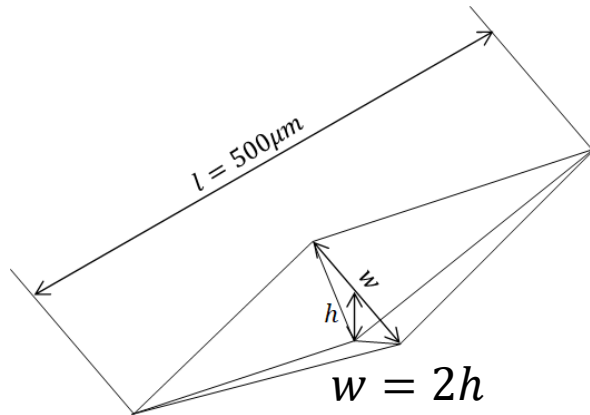
## Difetto al centro dell'orma di contatto

$$h = 15 \mu\text{m}$$



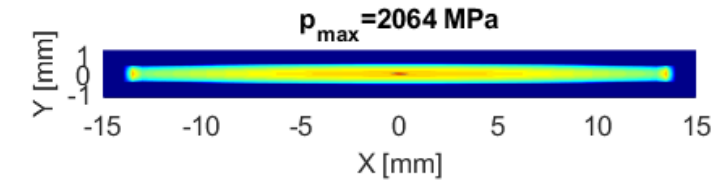
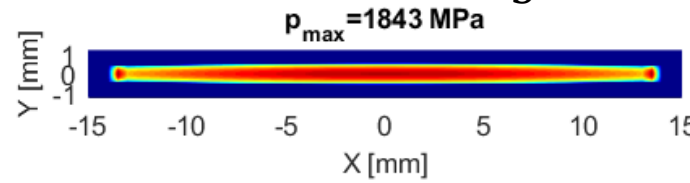
## Geometria del difetto ipotizzata

- $$h = \begin{cases} 15 \mu\text{m} \\ 30 \mu\text{m} \\ 50 \mu\text{m} \\ 60 \mu\text{m} \\ 80 \mu\text{m} \\ 100 \mu\text{m} \end{cases}$$



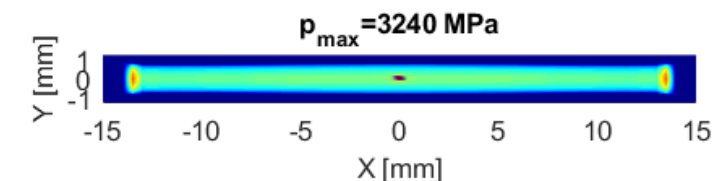
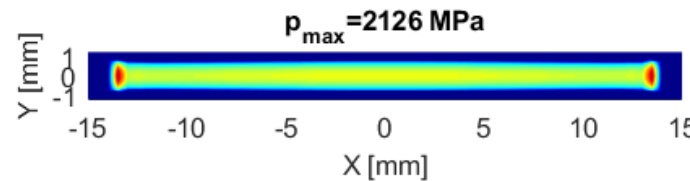
$$F_2 = \frac{2}{3} C_0 = 500 \text{ kN}$$

$$h = 50 \mu\text{m}$$

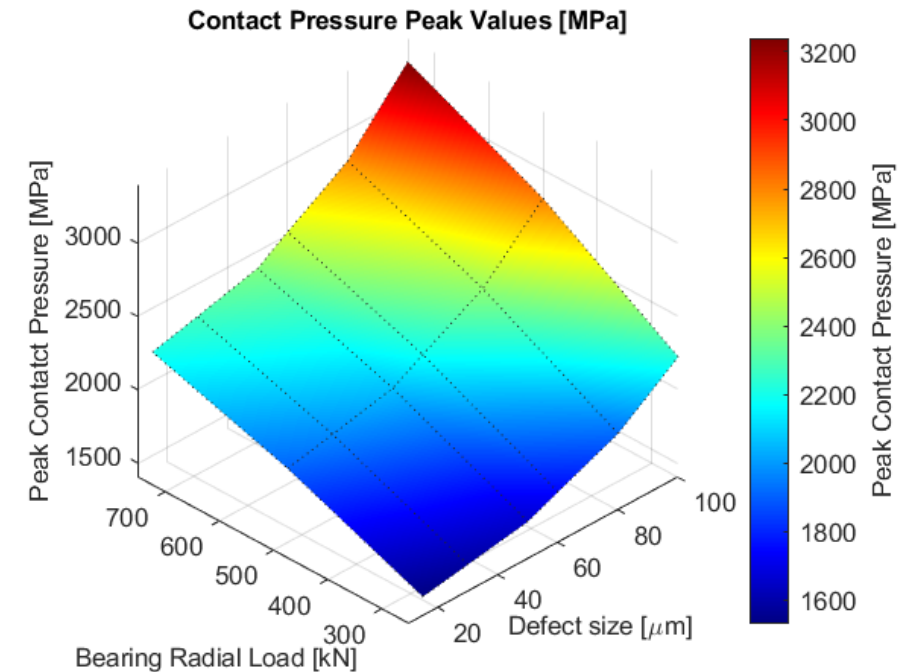
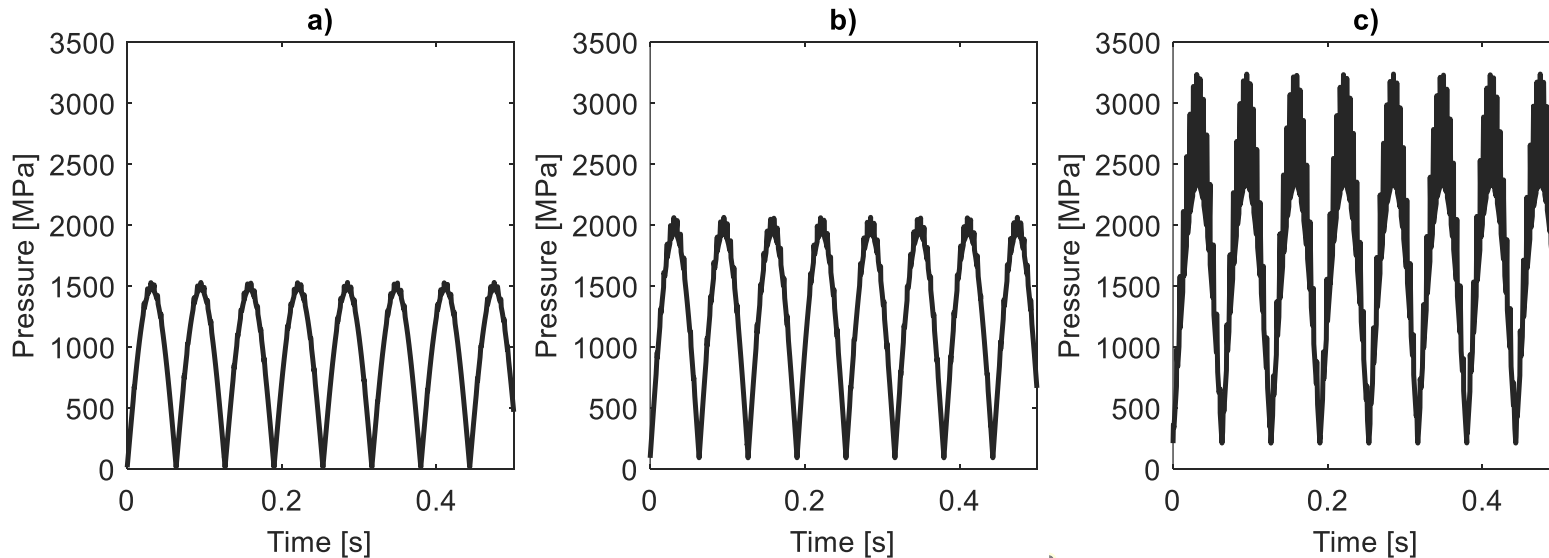


$$F_1 = C_0 = 750 \text{ kN}$$

$$h = 100 \mu\text{m}$$



- a)  $F_3 = 250 \text{ kN}$ , difetto  $h = 15 \mu\text{m}$
- b)  $F_2 = 500 \text{ kN}$ , difetto  $h = 50 \mu\text{m}$
- c)  $F_1 = 750 \text{ kN}$ , difetto  $h = 100 \mu\text{m}$



Frequenza rotazione albero  $f_r = 15,8 \text{ Hz}$  (950 RPM)

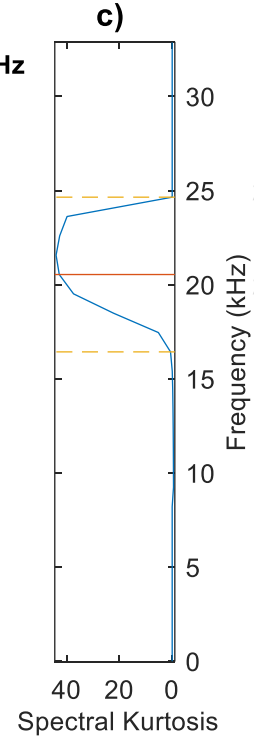
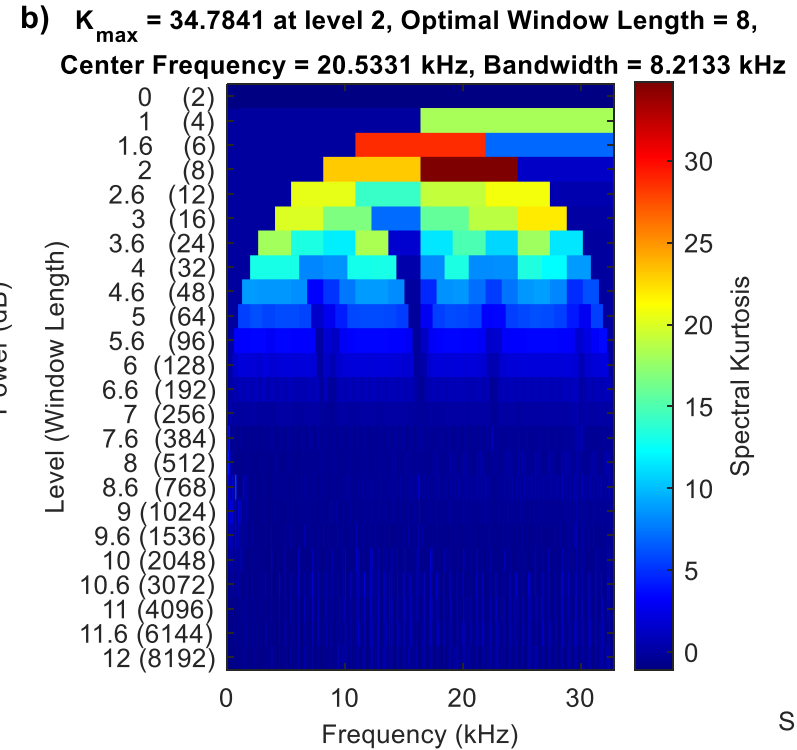
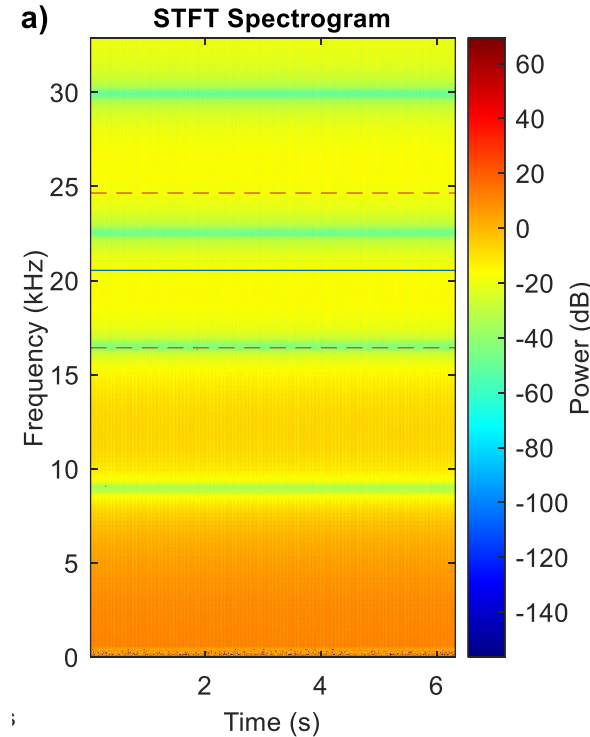
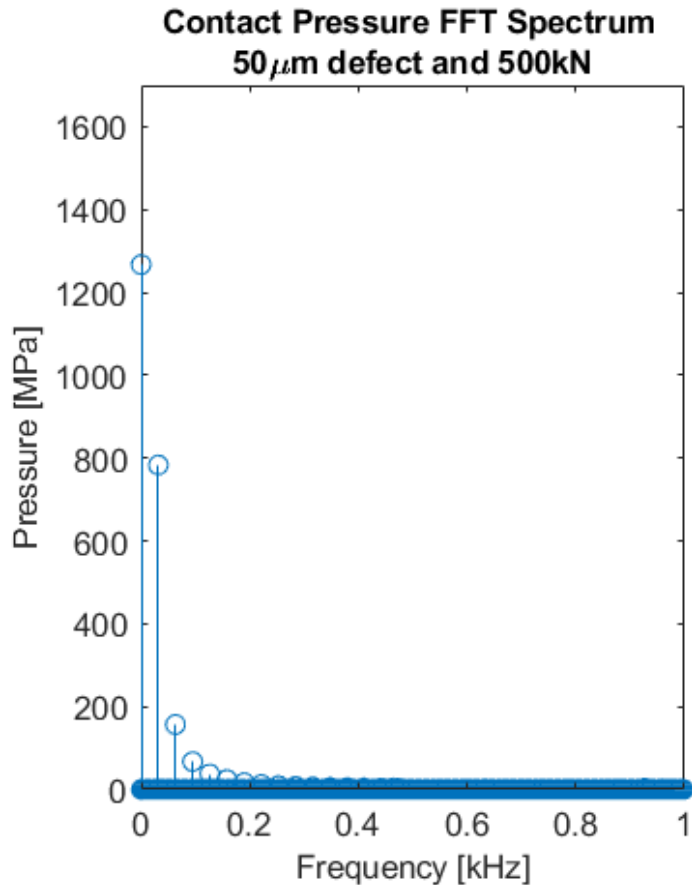
Nessuna evidente informazione sulla salute dal cuscinetto da analisi diretta

Applicazione dei criterio della massima Spectral Kurtosis (SK)

a) Spettrogramma della Short Time Fourier Transform (STFT)

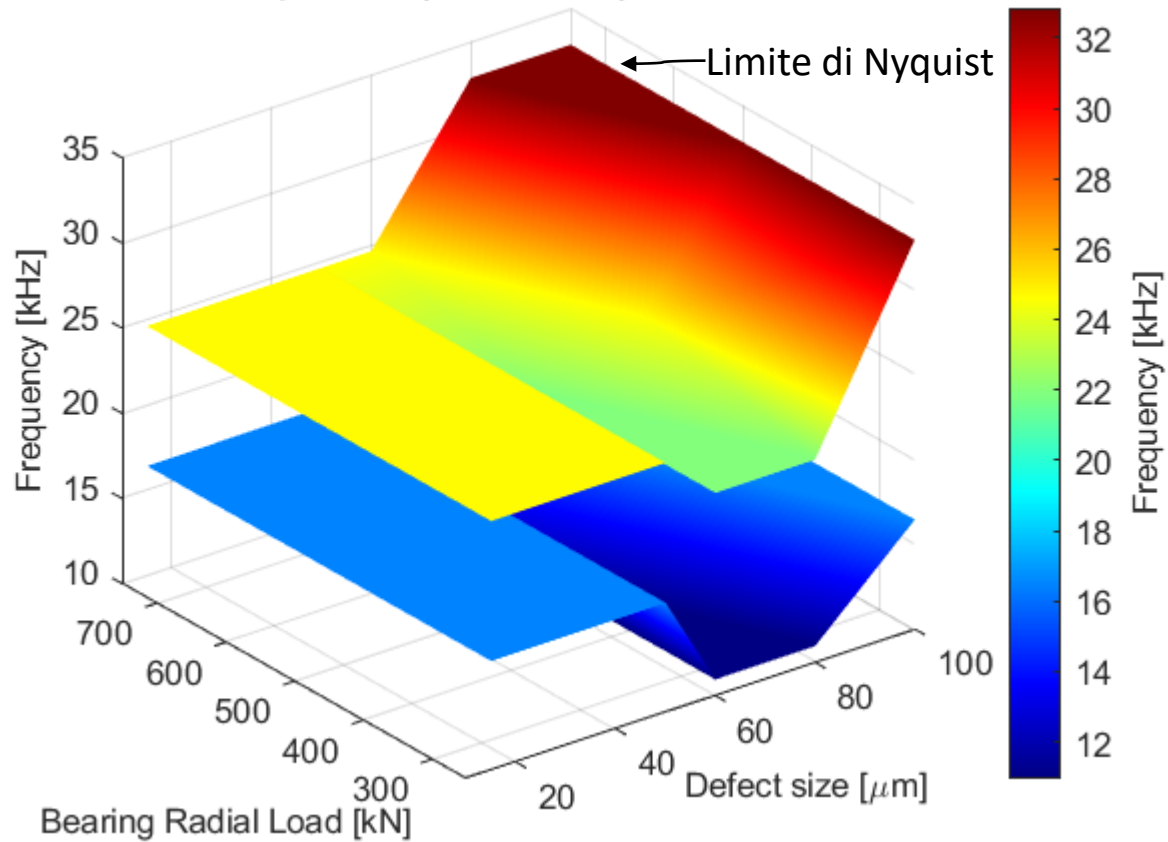
b) Kurtogramma della STFT

c) Kurtosis Spettrale della STFT

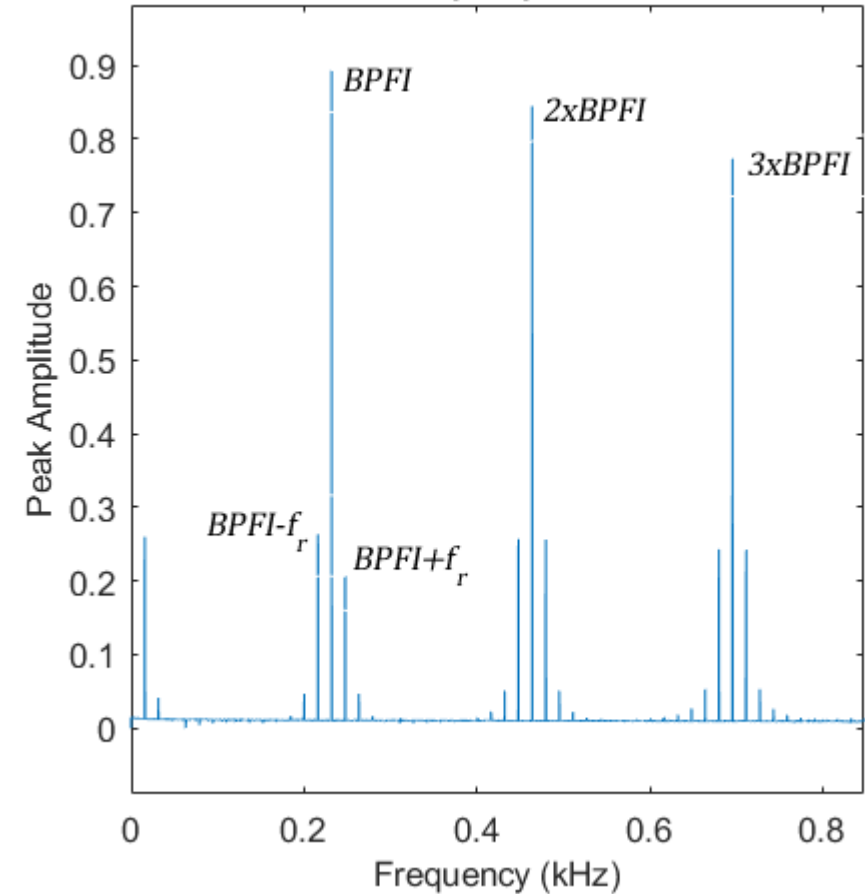


Frequenza di campionamento simulata  $f_s = 65\text{kHz}$

Bandpass frequencies (SK criterion) for variable defect size and load

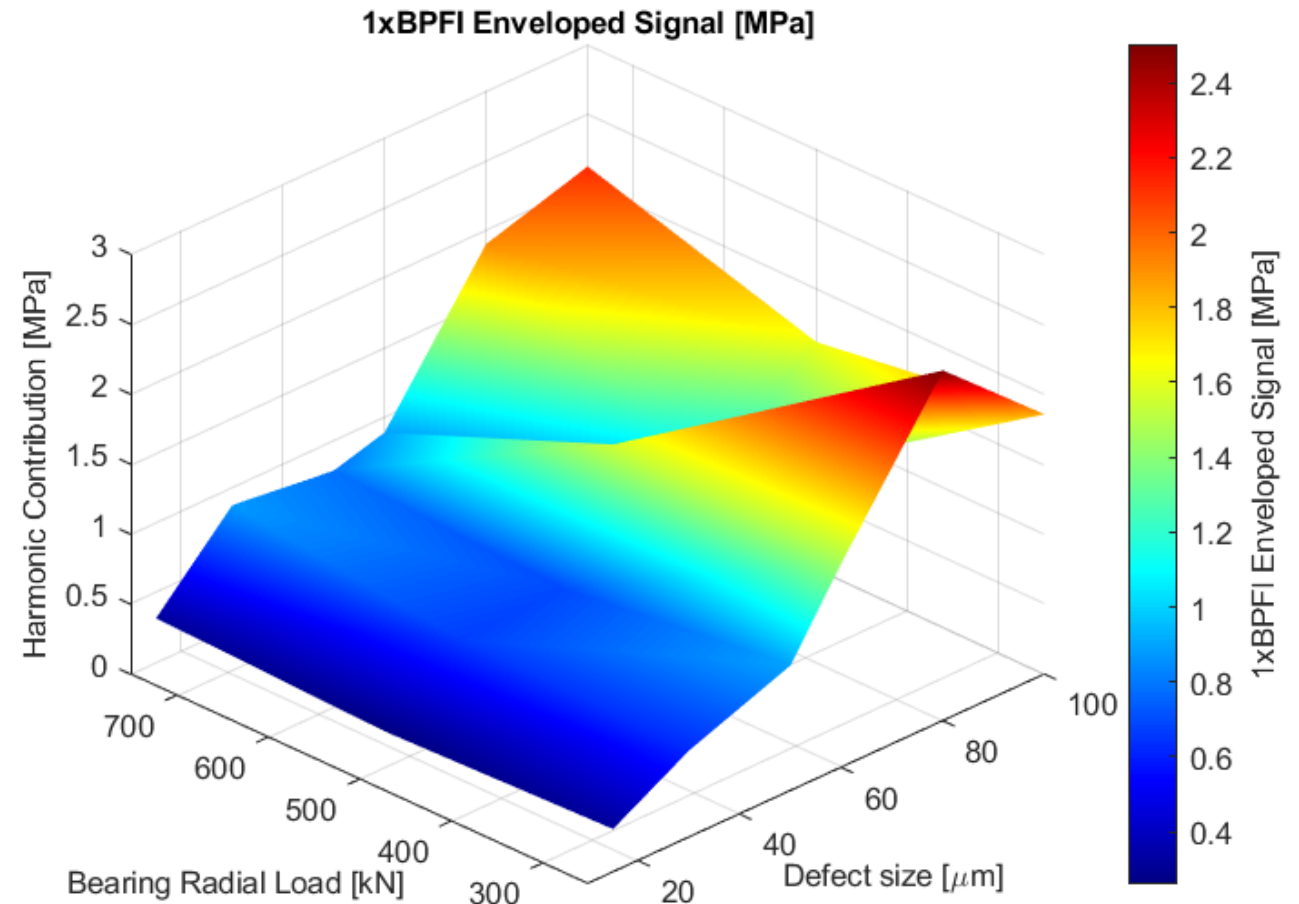


Envelope Spectrum

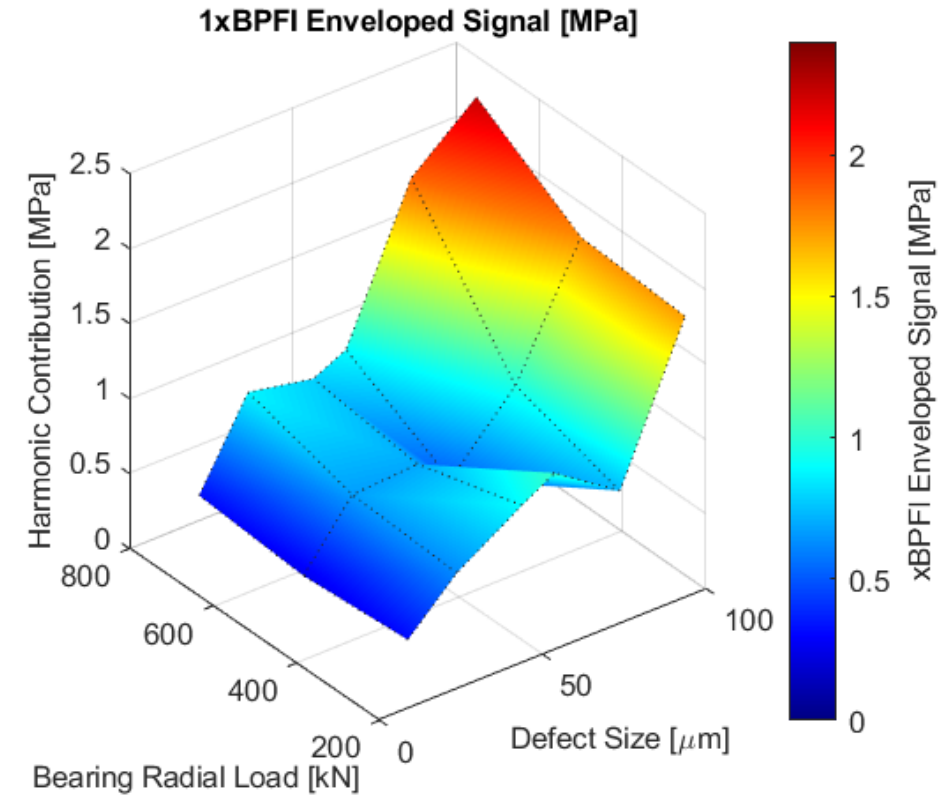
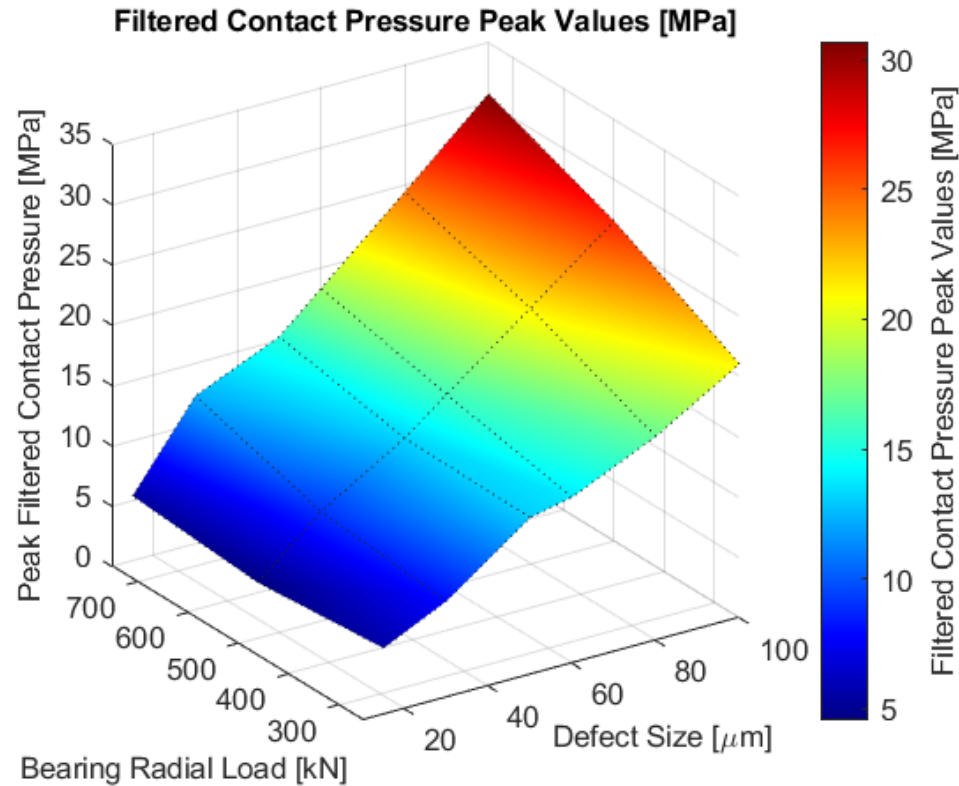


Il contributo armonico della  $1xBPFI$  utilizzando la finestra di filtraggio suggerita dal criterio SK non rivela una correlazione diretta con la dimensione del difetto.

Per investigare la dipendenza tra bande di filtraggio e risultati nelle prossime slide verranno adottate bande di filtraggio fisse per tutti i segnali di pressione simulate.



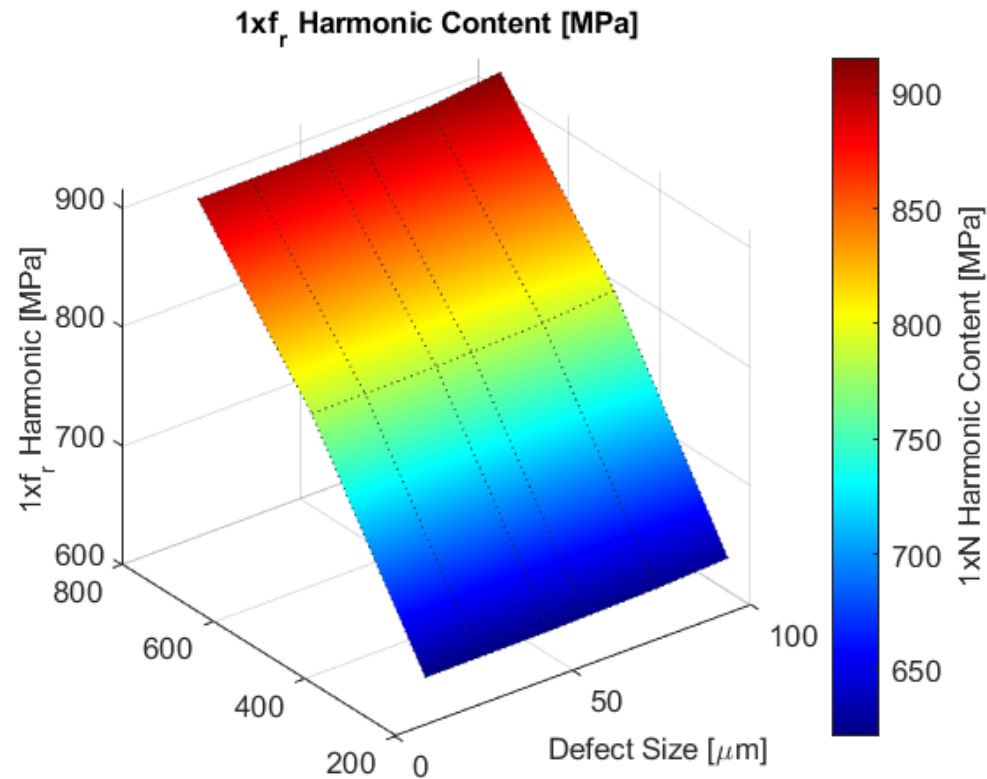
Banda di filtraggio fissa 16,4 – 24,6 kHz



Dipendenza sia con il carico che con la dimensione del difetto

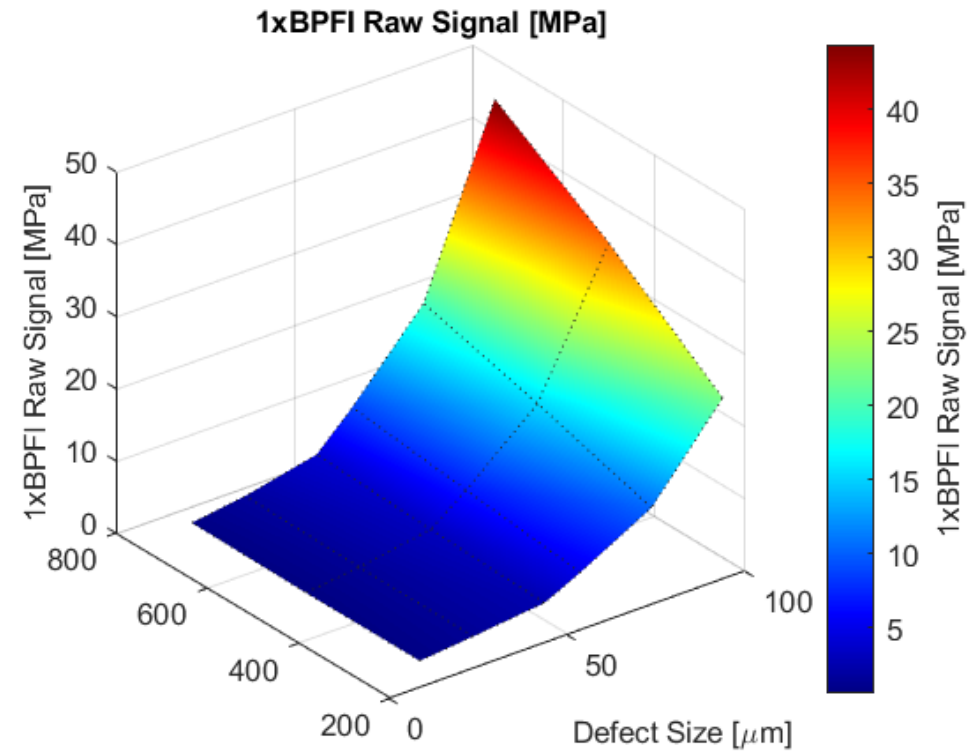
Andamento fuorviante

## Nessun filtraggio – Analisi del segnale grezzo



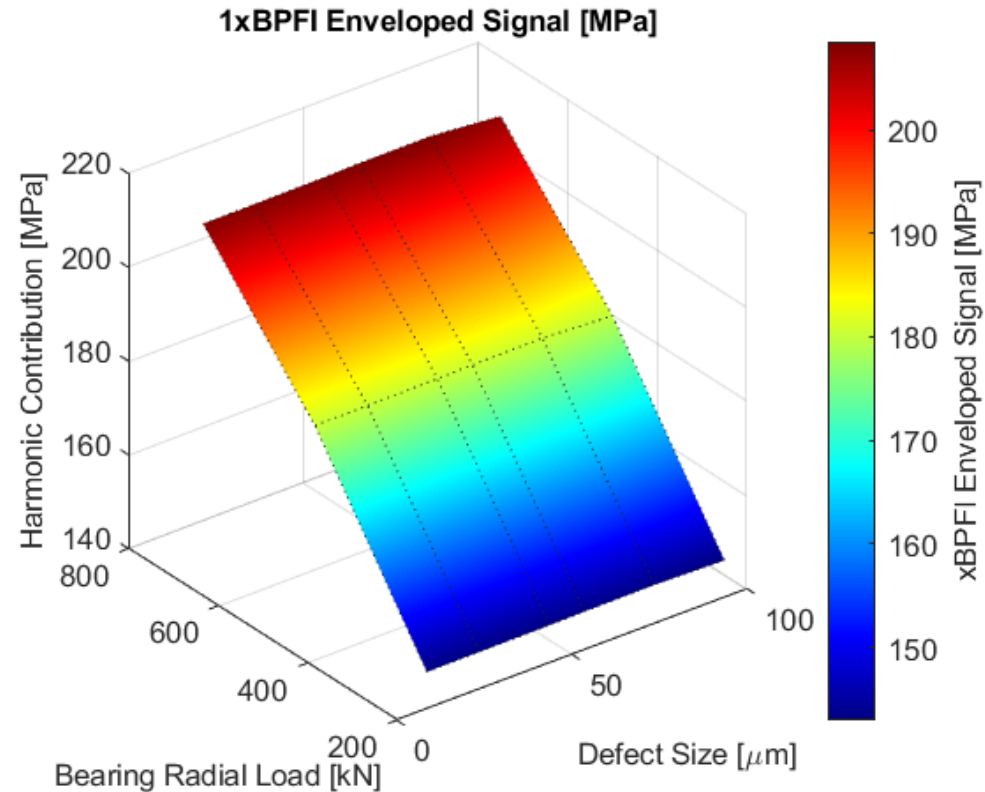
Dipendenza solo con il carico applicato

Frequenza rotazione albero  $f_r = 15,8 \text{ Hz}$  (950 RPM)

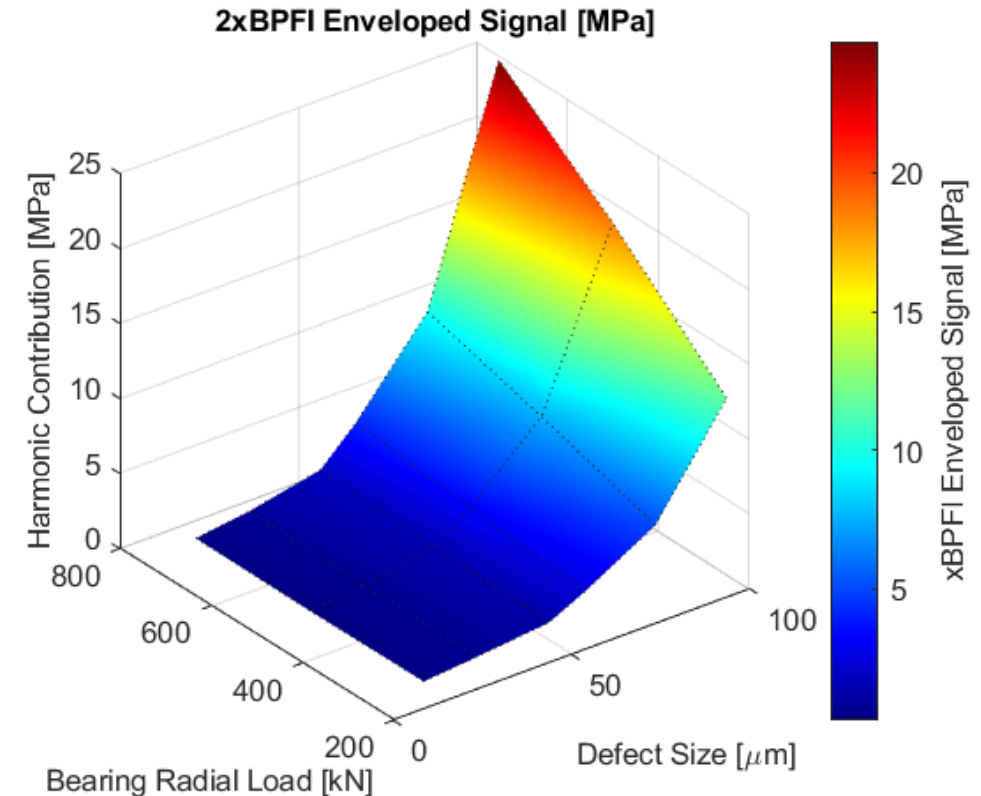


Dipendenza con la dimensione del difetto

Banda di filtraggio fissa  $3xBPFI - 6xBPFI$  (695.7 – 1391.4Hz)

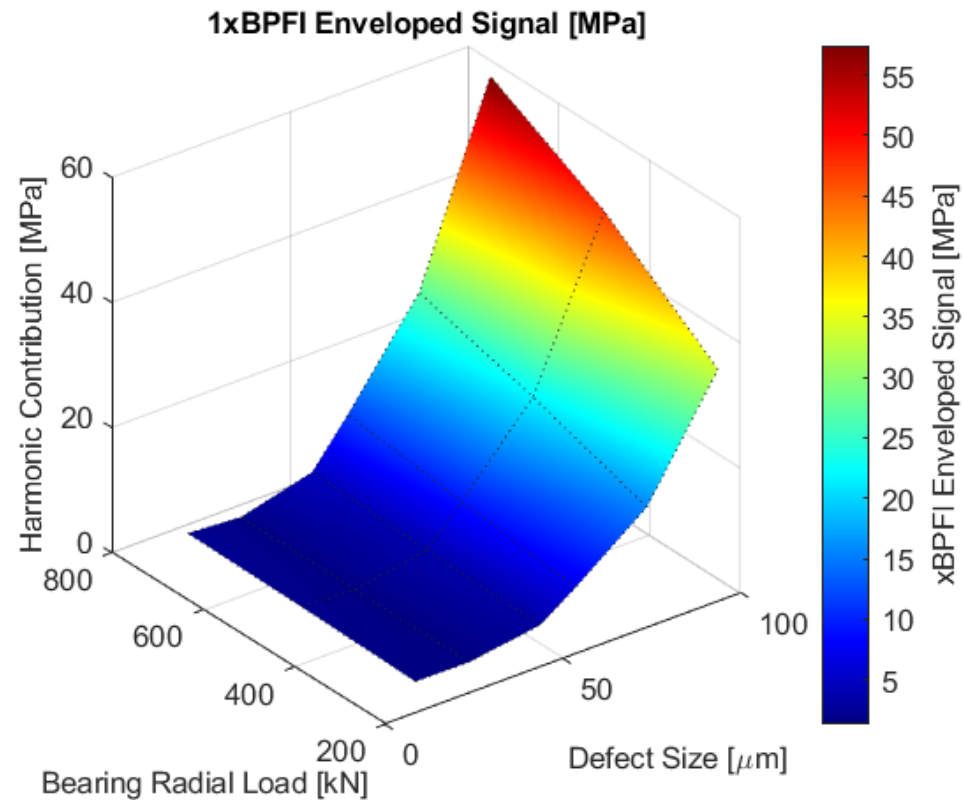


Dipendenza solo con il carico applicato

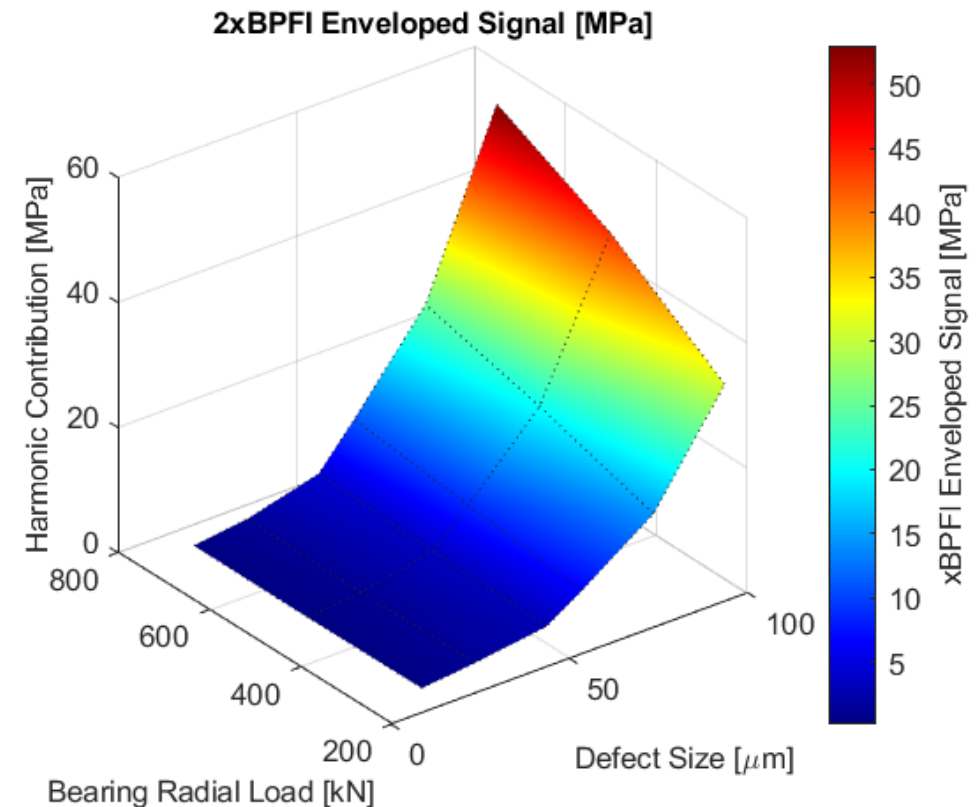


Dipendenza con la dimensione del difetto

Banda di filtraggio fissa  $10xBPFI - 13xBPFI$  (2910 – 3015Hz)



Dipendenza con la dimensione del difetto

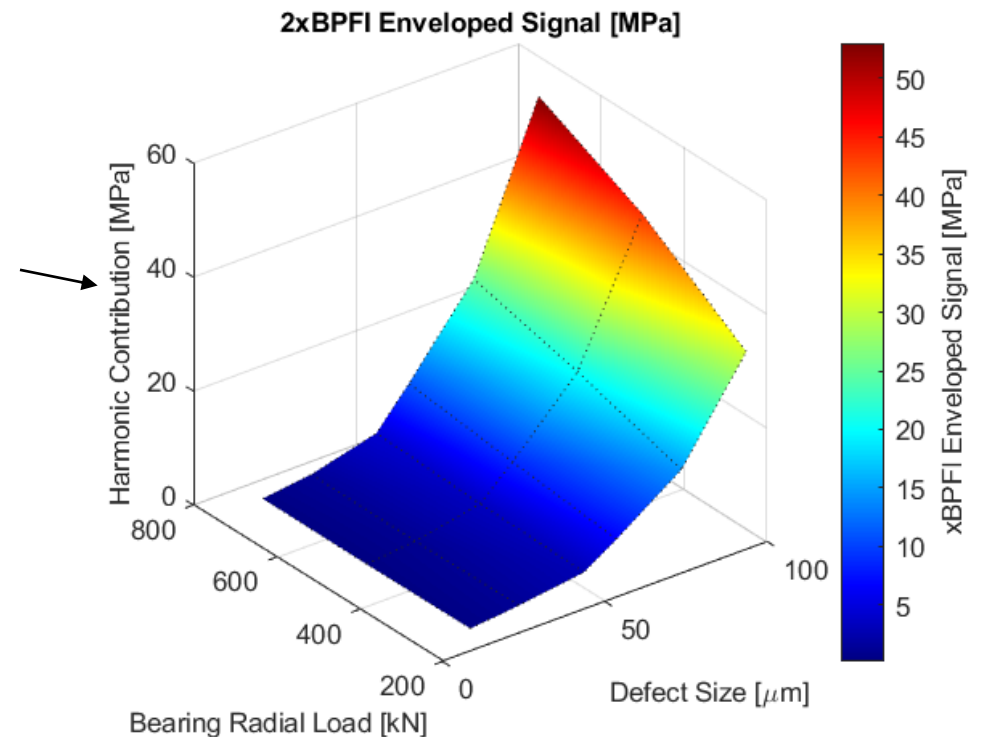


Dipendenza con la dimensione del difetto

# Conclusioni

- Il segnale di pressione è stato simulato per diversi carichi e varie dimensioni di difetto per cercare una correlazione
- Una relazione tra la dimensione del difetto e ampiezza del segnale è stata effettivamente osservata
- Una correlazione tra dimensione del difetto e energia del segnale è altrettanto stata individuata
- A seconda della finestra di filtraggio alcuni risultati sono fortemente correlati alla dimensione del difetto e meno all'entità del carico
- Questo pone le basi per lo sviluppo di un possibile metodo di riconoscimento dei difetti per scopi di Structural Health Monitoring (analisi sperimentali vibrazionali saranno effettuate in futuro)

Fixed filtering band  
 $10xBPFI - 13xBPFI$   
(2910 – 3015Hz)





# Grazie per l'attenzione!

Brusa E., Bruzzone F., Delprete C., Di Maggio L. and Rosso C.

Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale