

# Monitoraggio e diagnostica dei sistemi meccanici

---

Gianluca D'Elia

# Tipi di cuscinetti



Radiale ad una corona di sfere  
(Single-row ball bearing)

Oscillante a due corone di sfere  
(Double-row self-aligning ball bearing)

Obliquo a sfere  
(Angular contact ball bearing)

Assiale a sfere  
(Ball thrust bearing)



Radiale a rulli cilindrici  
(Cylindrical roller bearing)



A rulli conici  
(Tapered roller bearing)



A rullini  
(Needle bearing)

Rulli a botte a due corone  
(Barrel-shaped roller bearing)





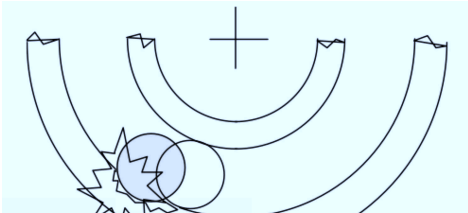
# Principali difetti e loro cause - 2

## Cause dei difetti nei cuscinetti a rotolamento

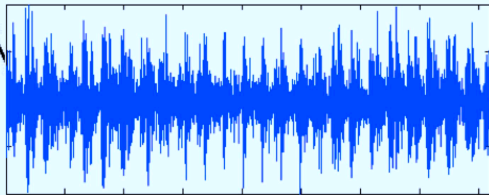
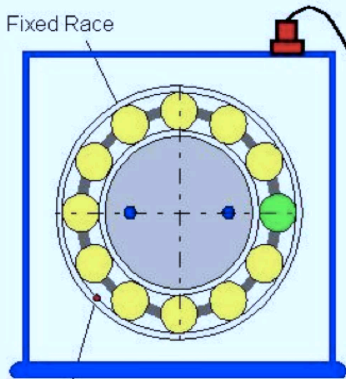
Sovraccarichi (disallineamento, picchi di carico, montaggio scorretto)	Velocità superiore ai limiti
Difetti creati prima o durante il montaggio (cattiva manipolazione al magazzino)	Passaggio di correnti elettriche
Contaminazione (tenute inefficienti)	Vibrazioni
Difetti nel materiale	Scarsa lubrificazione
Difetti di produzione	Ambiente operativo "severo"

# Conseguenze dei difetti superficiali

Ogni volta che un elemento volvente incontra un danno superficiale (cratere) avviene un impatto. Gli impatti originano treni di forze impulsive che sono sorgenti di vibrazione e rumore



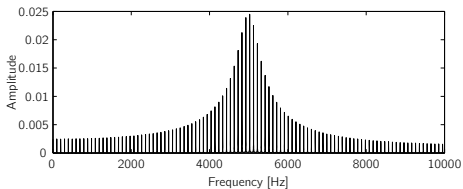
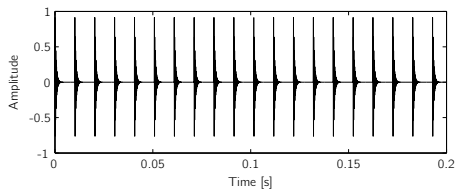
Fixed Race



Surface Damage

# Caratteristiche del segnale vibratorio - 1

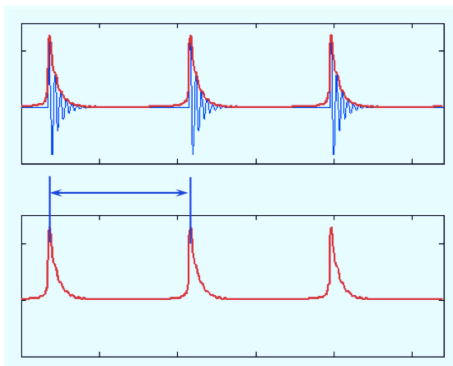
- ▶ Ogni danno localizzato è caratterizzato da una frequenza, detta **frequenza caratteristica**, che è proporzionale alla velocità di rotazione del cuscinetto
- ▶ La frequenza caratteristica è la frequenza degli impatti dellelemento volvente con il danno e dipende da:
  - ▶ caratteristiche geometriche del cuscinetto
  - ▶ numero di elementi rotolanti
  - ▶ localizzazione del danno (anello esterno, anello interno, ...)
- ▶ La vibrazione, che viene misurata sul carter, è la risposta della struttura all'eccitazione impulsiva periodica



## Caratteristiche del segnale vibratorio - 2

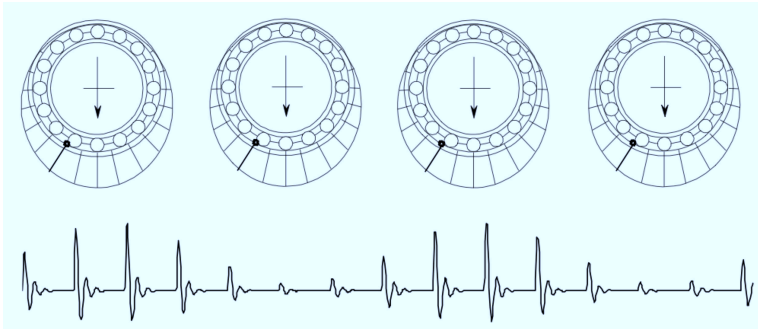
- ▶ Il treno di forze impulsive eccita le frequenza di risonanza del carter, e la vibrazione prodotta si presenta sotto la forma di un treno di picchi seguiti da oscillazioni alle frequenze naturali della struttura (che si smorzano rapidamente)
- ▶ La frequenza del difetto l'inverso della periodicità del treno

$$y(t) = e^{-\zeta t} X \cos(2\pi f_n t + \phi)$$



## Caratteristiche del segnale vibratorio - 3

- ▶ L'intensità dell'impulso generato dall'attraversamento del danno superficiale è proporzionale al carico agente sull'elemento rotolante al momento del passaggio sul difetto stesso
- ▶ Se il danno è sull'anello rotante o su un elemento rotolante, il carico agente al momento del passaggio sul danno dipende dalla posizione radiale, perciò varia periodicamente e l'intensità dell'impulso è modulata

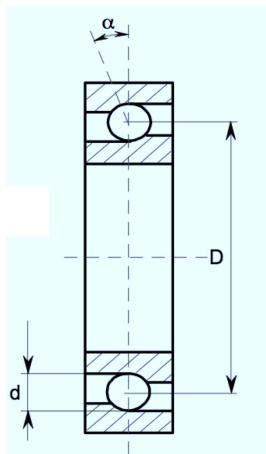




# Frequenze caratteristiche - 1

- ▶ Ogni volta che un elemento rotolante attraversa il danno ha luogo un impatto
- ▶ Se il moto delle sfere o dei rulli avviene **senza strisciamento**, é facile trovare la frequenza di tali impatti dallo studio della cinematica del cuscinetto (nell'ipotesi che un solo difetto sia presente)

Per cuscinetti a rulli  $\alpha = 0$



## Frequenze caratteristiche - 2

Difetto sull'anello interno	$f_i = \frac{z n_e - n_i }{120}(1 + \lambda \cos \alpha)$
Difetto sull'anello esterno	$f_e = \frac{z n_e - n_i }{120}(1 - \lambda \cos \alpha)$
Difetto sui corpi volventi	$f_v = \frac{ n_e - n_i }{120} \frac{1 - (\lambda \cos \alpha)^2}{\lambda}$
Difetto sulla gabbia	$f_p = \frac{n_e + n_i}{120} + \frac{n_e - n_i}{120} \lambda \cos \alpha$

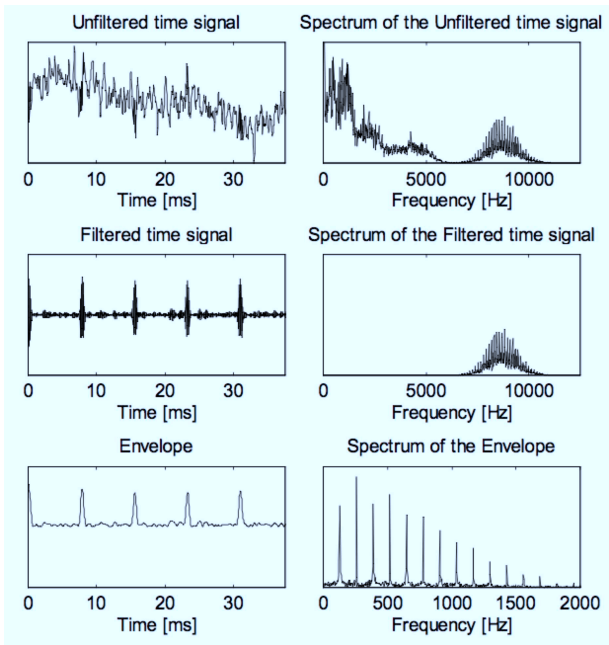
Dove:

- ▶  $n_i$ : velocità dell'anello interno espressa in rpm
- ▶  $n_e$ : velocità dell'anello esterno espressa in rpm
- ▶  $\lambda$ : é il rapporto  $d/D$

Si può comunque osservare che, ad ogni giro:

- ▶ circa il 40% dei corpi volventi passa sopra un difetto dell'anello esterno;
- ▶ circa il 60% dei corpi volventi passa sopra un difetto dell'anello interno;

# Tecnica classica di analisi dei cuscinetti



# Modello ciclostazionario del segnale

- ▶ Il moto di rotolamento degli elementi volventi non é perfetto, ma avvengono degli slittamenti
- ▶ Questo introduce una piccolissima componente random all'interno del periodo caratteristico del difetto
- ▶ Il segnale generato da un difetto é **ciclostazionario del secondo ordine**

$$x(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h(t - iT)q(iT) + n(t)$$

