

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)



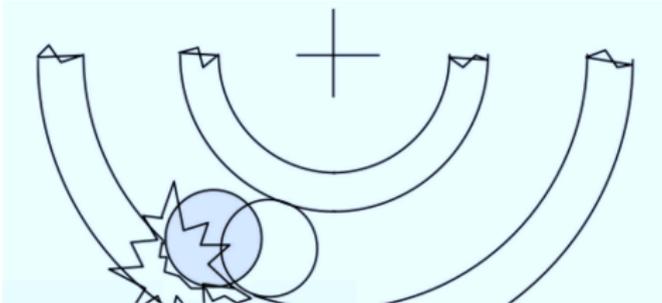
Principali difetti e loro cause - 2

Cause dei difetti nei cuscinetti a rotolamento

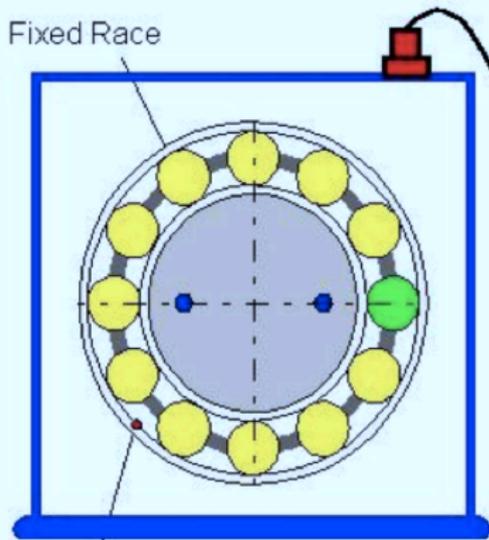
Sovraccarichi (disallineamento, picchi di carico, montaggio scorretto)	Velocità superiore ai limiti
Difetti creati prima o durante il montaggio (cattiva manipolazione al magazzino)	Passaggio di correnti elettriche
Contaminazione (tenute inefficienti)	Vibrazioni
Difetti nel materiale	Scarsa lubrificazione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

Conseguenze dei difetti superficiali

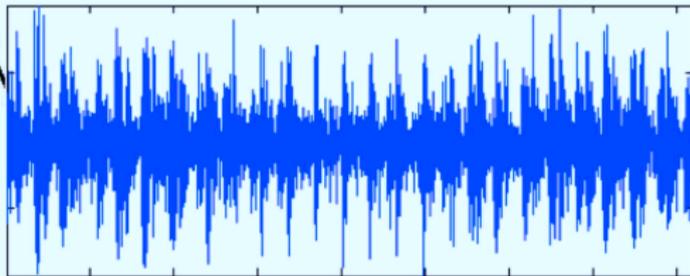
Ogni volta che un elemento volvente incontra un danno superficiale (cratere) avviene un impatto. Gli impatti originano treni di forze impulsive che sono sorgenti di vibrazione e rumore



Fixed Race

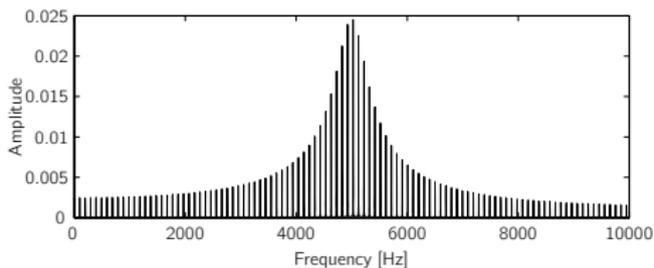
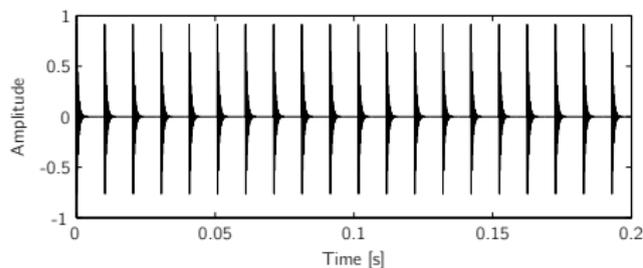


Surface Damage



Caratteristiche del segnale vibratorio - 1

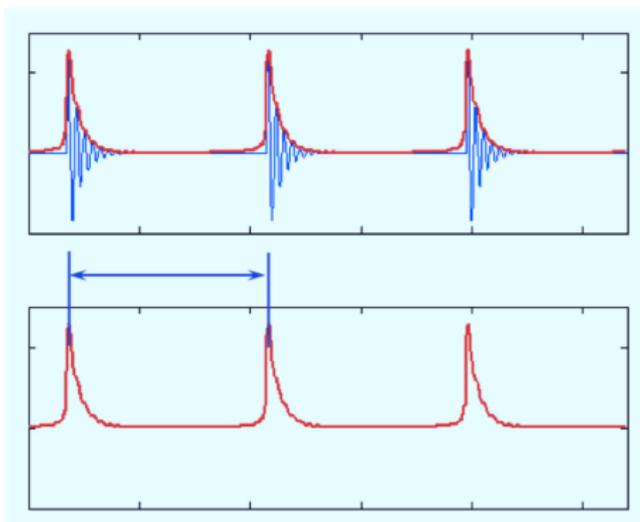
- ▶ Ogni danno localizzato è caratterizzato da una frequenza, detta **frequenza caratteristica**, che è proporzionale alla velocità di rotazione del cuscinetto
- ▶ La frequenza caratteristica è la frequenza degli impatti dellelemento volvente con il danno e dipende da:
 - ▶ caratteristiche geometriche 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

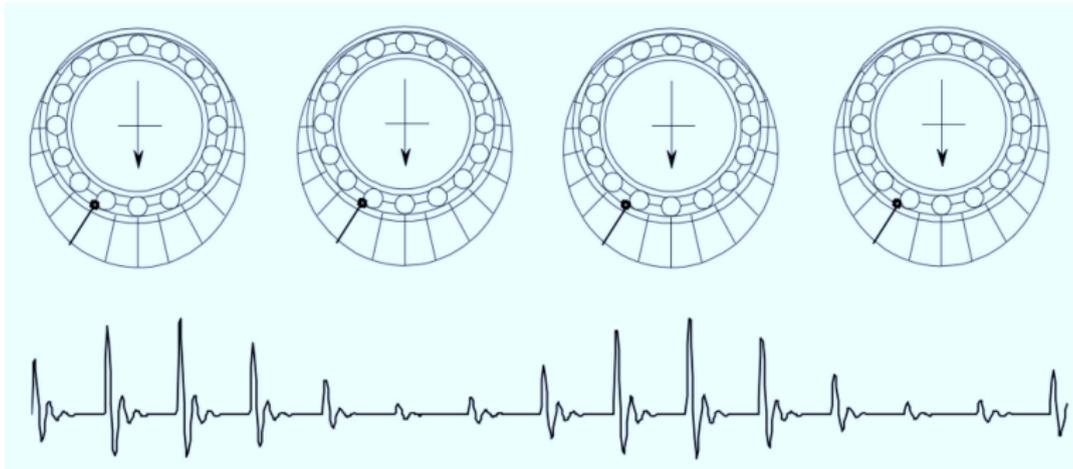
- ▶ Il treno di forze impulsive eccita le frequenza di risonanza del carter, e la vibrazione prodotta si presenta sotto la forma di un treno di picchi seguiti da oscillazioni alle frequenze naturali della struttura (che si smorzano rapidamente)
- ▶ La frequenza del difetto l'inverso della periodicità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

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



Caratteristiche del segnale vibratorio - 3

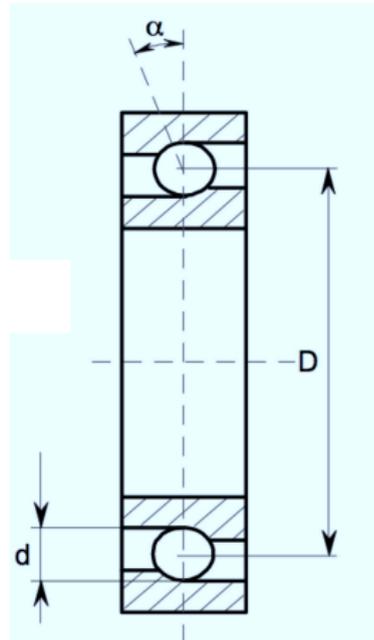
- ▶ L'intensità dell'impulso generato dall'attraversamento del danno superficiale è proporzionale al carico agente sullelemento rotolante al momento del passaggio sul difetto stesso
- ▶ Se il danno è sull'anello rotante o su un elemento rotolante, il carico agente al momento del passaggio sul danno dipende 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	$f_p = \frac{n_e + n_i}{120} + \frac{n_e - n_i}{120} \lambda \cos \alpha$

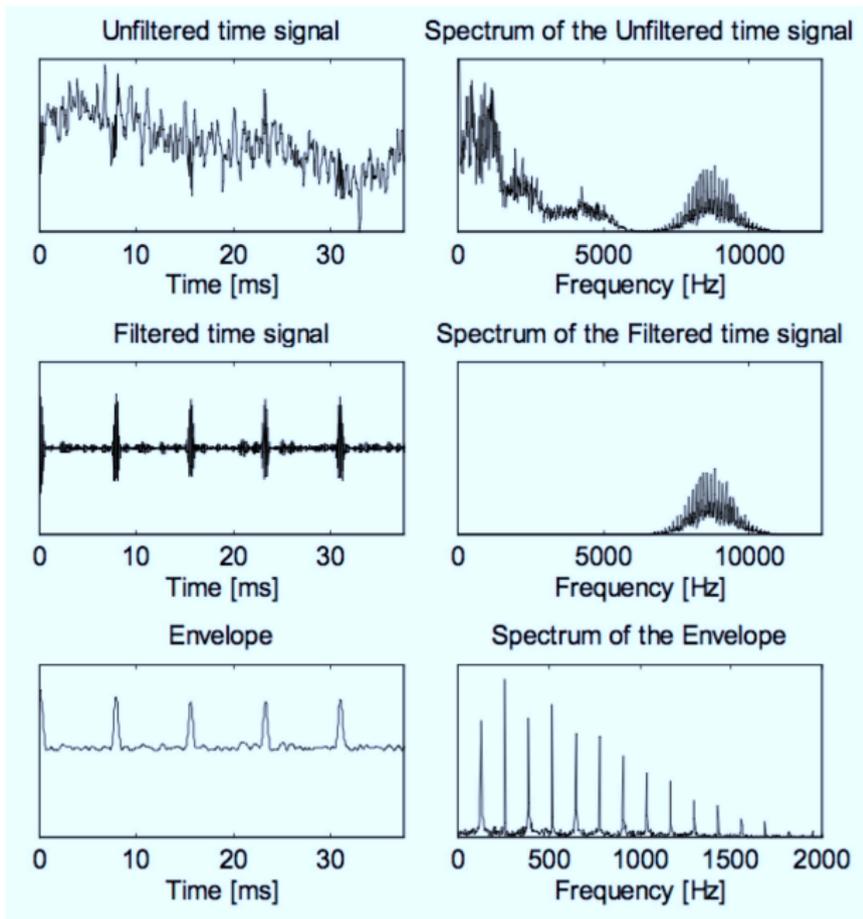
Dove:

- ▶ n_i : velocità dell'anello interno espressa in rpm
- ▶ n_e : velocità dell'anello esterno espressa in rpm
- ▶ λ : 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**

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

