

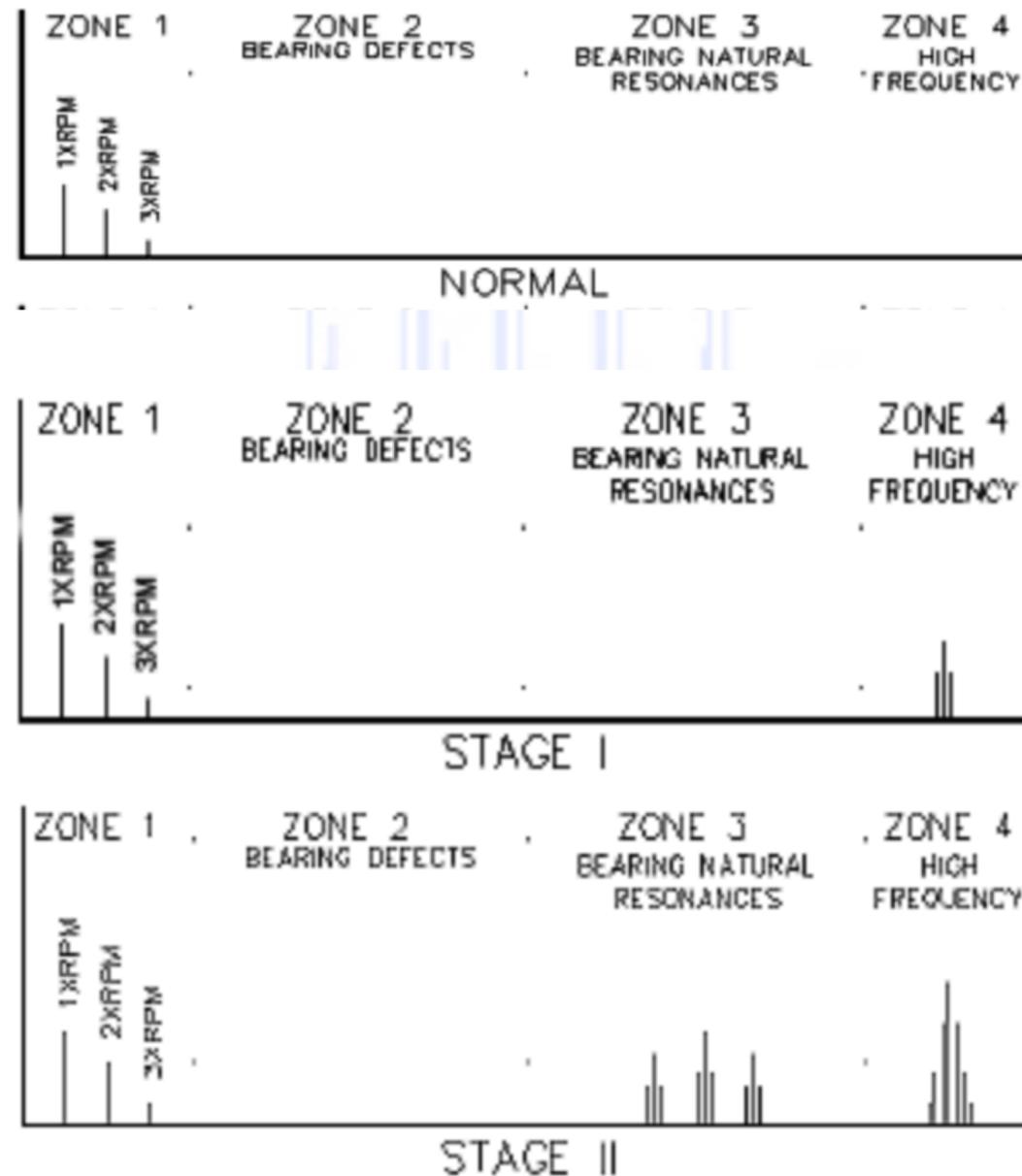
meccanica delle vibrazioni

laurea magistrale
ingegneria meccanica

parte 7
Manutenzione e Diagnosi

Il percorso è tracciato.. da sensore allo spettro,
Cosa cambia nel tempo?

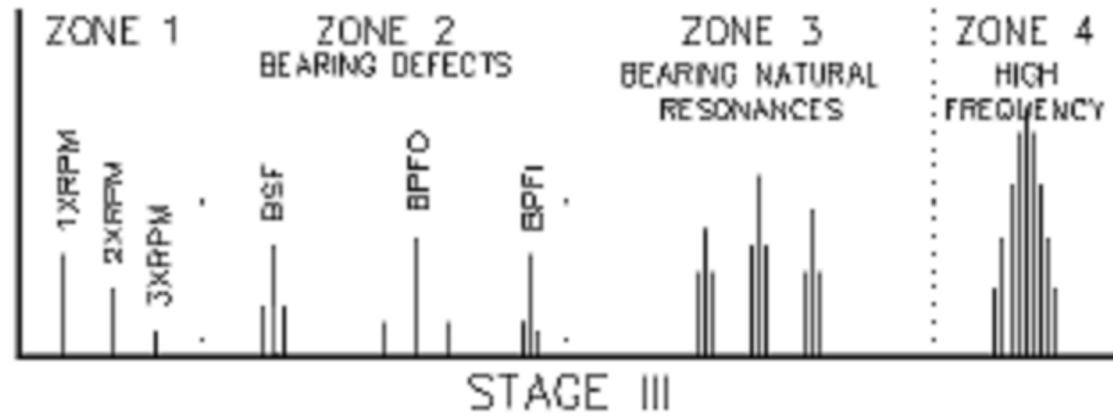
Ci sono diversi livelli di danneggiamento ciascun caratterizzato da tracce spettrali differenti



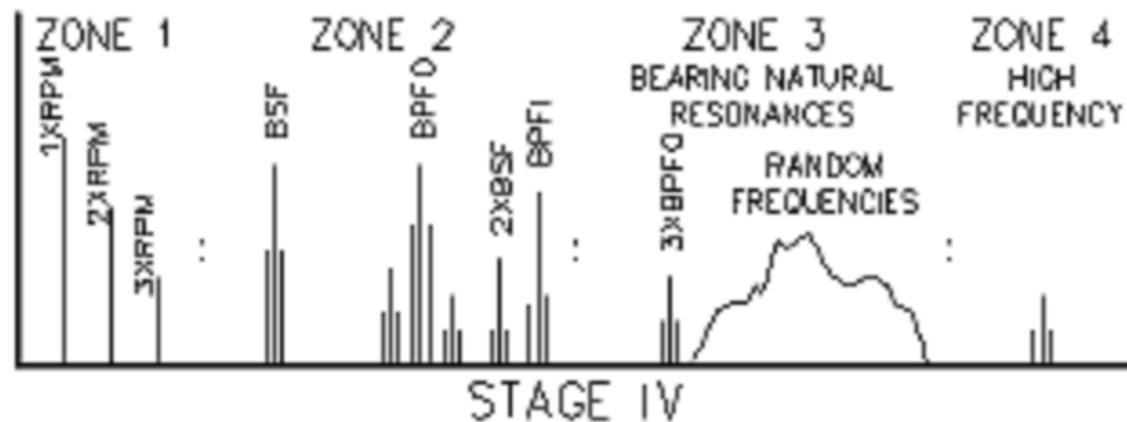
In condizioni di funzionamento normale
ci sono solo le componenti in frequenza della macchina
(c'è sempre un minimo di squilibrio, disallineamento,...)

Dopo un po' appaiono componenti ad altissima frequenza
rilevabili solo con sensori agli ultrasuoni.
Una ispezione sui cuscinetti non rileverebbe danni di sorta

Successivamente appaiono le frequenze naturali dei cuscinetti
cominciano a "cantare"
Una analisi sui cuscinetti rileverebbe dei giochi
e dei minimi danni



Appaiono le frequenze di danneggiamento caratteristiche con le loro armoniche e modulazioni, cresce la parte ad altissimi frequenza
Una analisi sui cuscinetti rileverebbe danni evidenti



Poco prima di una rottura catastrofica aumentano le frequenze di macchina, aumentano il numero di armoniche e modulazioni, i giochi diventano ampi ed le frequenze fondamentali si confondono in una zona molto ampia.
L'altissima frequenza ha una diminuzione di ampiezza evidente

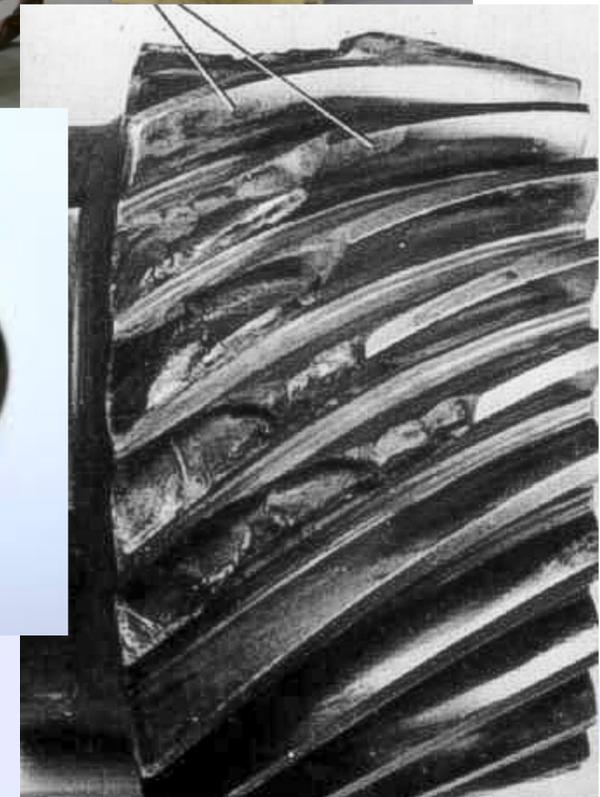
L'analisi dei cuscinetti non serve più..
è necessaria una sostituzione immediata!

..ma cosa si può monitorare, con sufficiente accuratezza e ripetibilità con l'analisi dei segnali vibrazionali nel dominio della frequenza?

..ecco una lista dei più comuni problemi analizzabili

- Unbalance
- Misalignment
- Bent Shaft
- Loosensess
- Resonances
- Journal Bearing
- Rolling Bearing
- Blades&Vanes
- Hydraulic/aerodynamic force
- Belt drive
- Gear
- Electrical

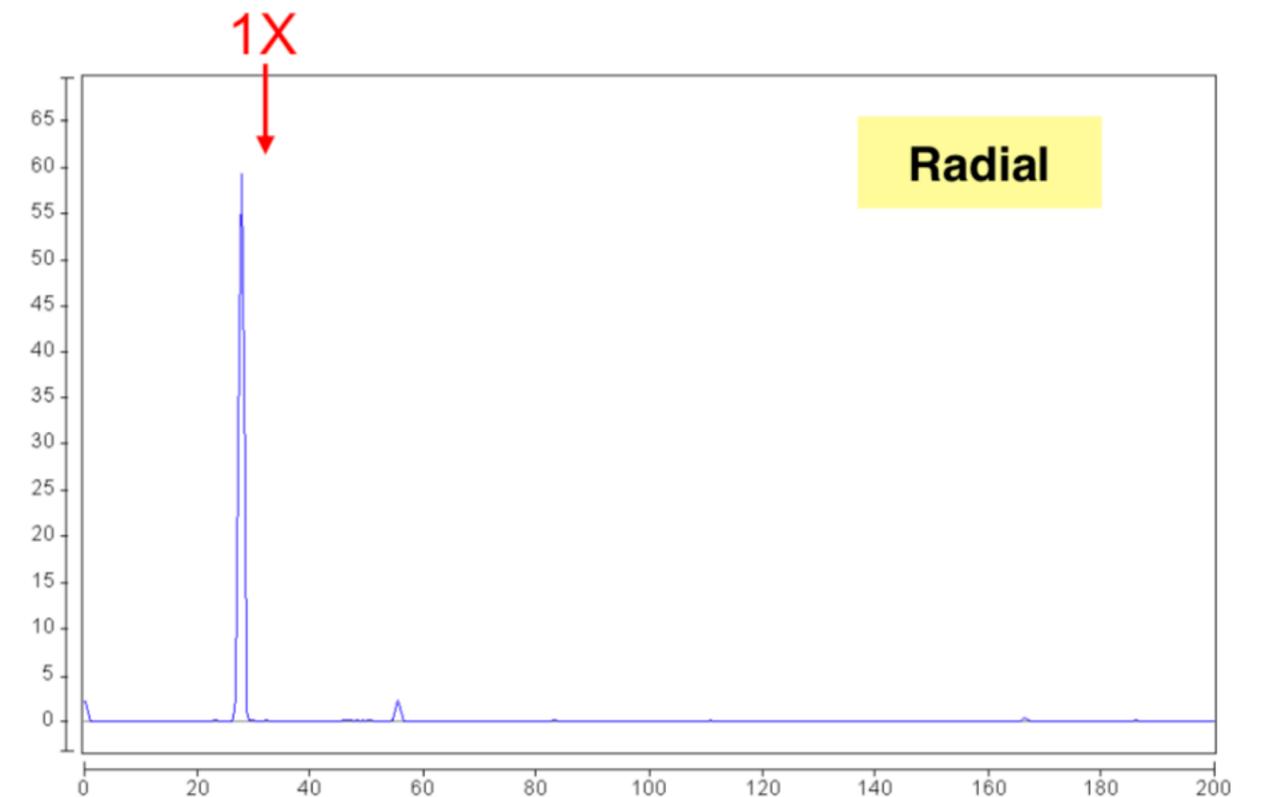
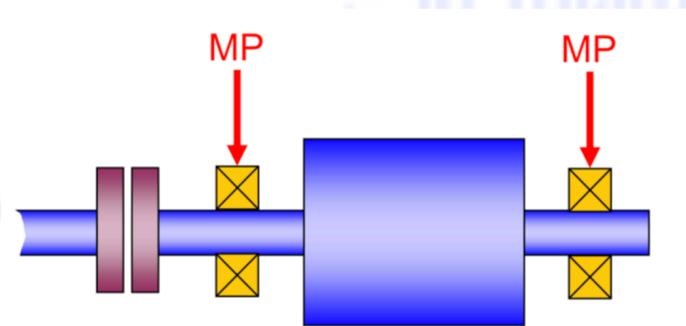
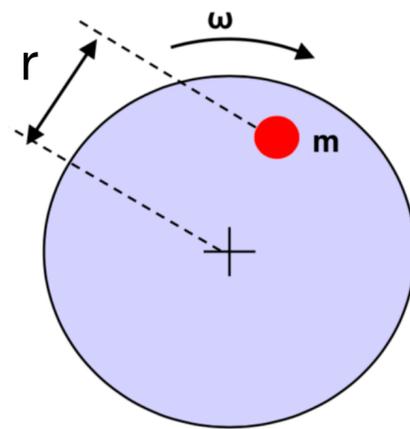
- Cavitation*
- Shaft crack*
- Rotor rub*



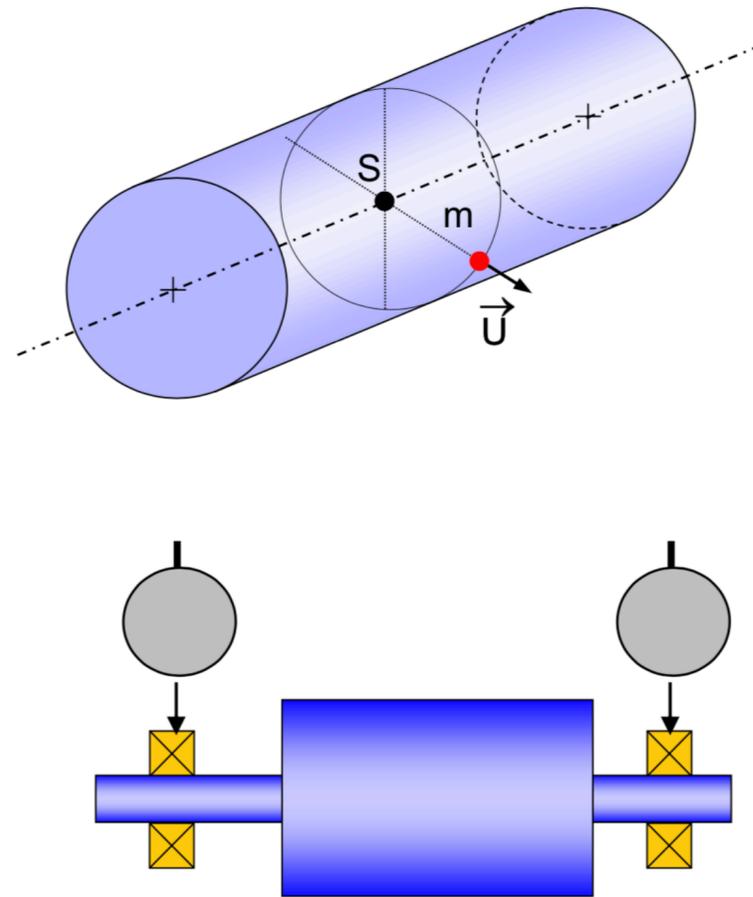
Squilibrio.. ogni rotore ha sempre un certo quantitativo di squilibrio residuo. questo genera una forza radiale F appare come una componente 1x con dominante in direzione radiale

Dall'analisi della fase tra il segnale dei due supporti si identifica il tipo di squilibrio!

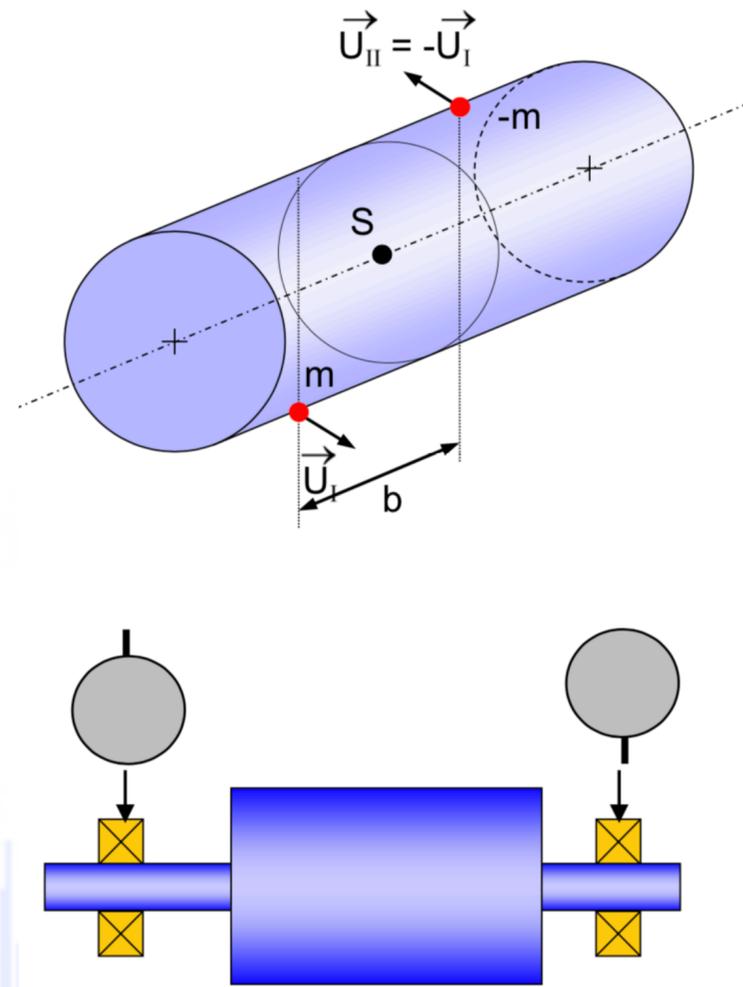
$$F = m\omega^2 r$$



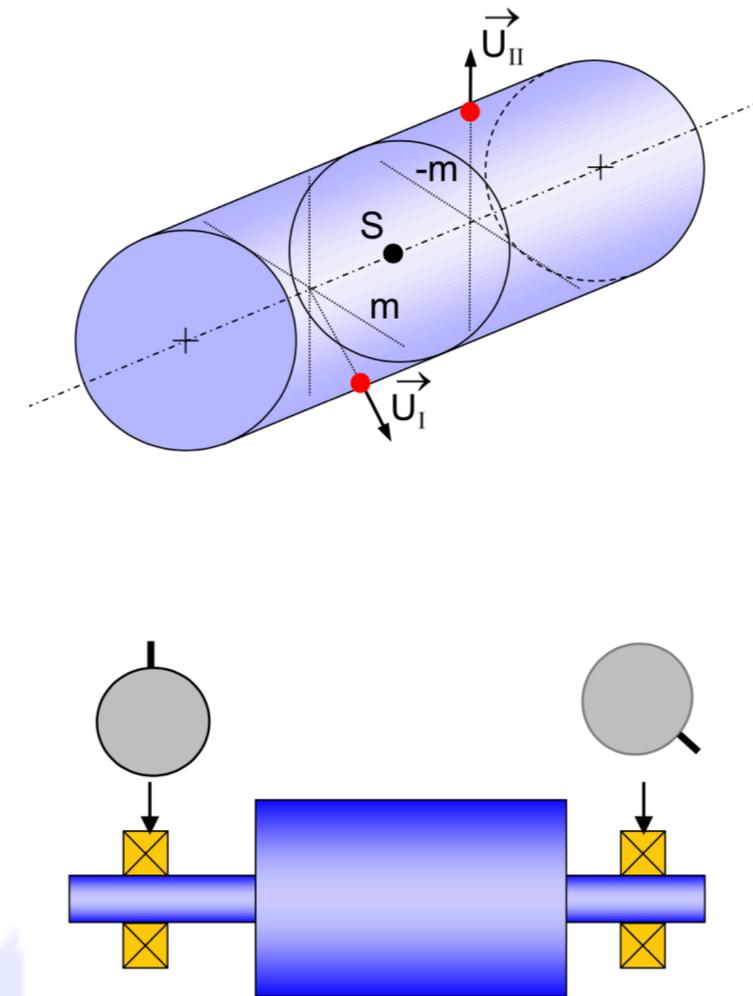
Squilibrio Statico



Squilibrio di Coppia

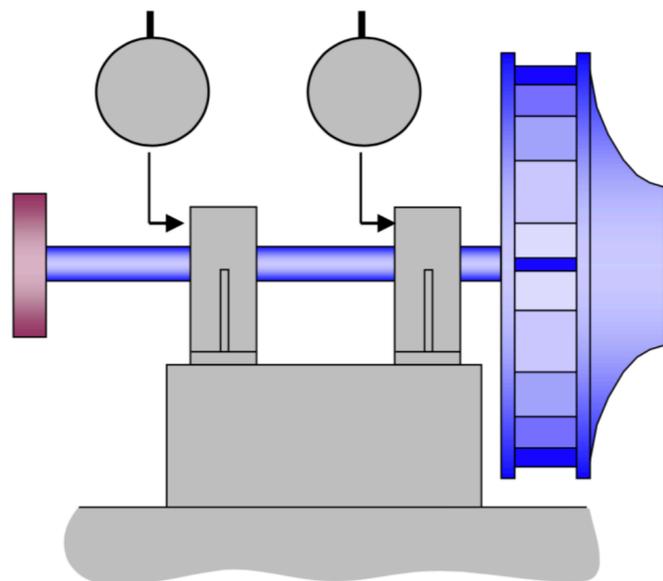


Squilibrio Dinamico

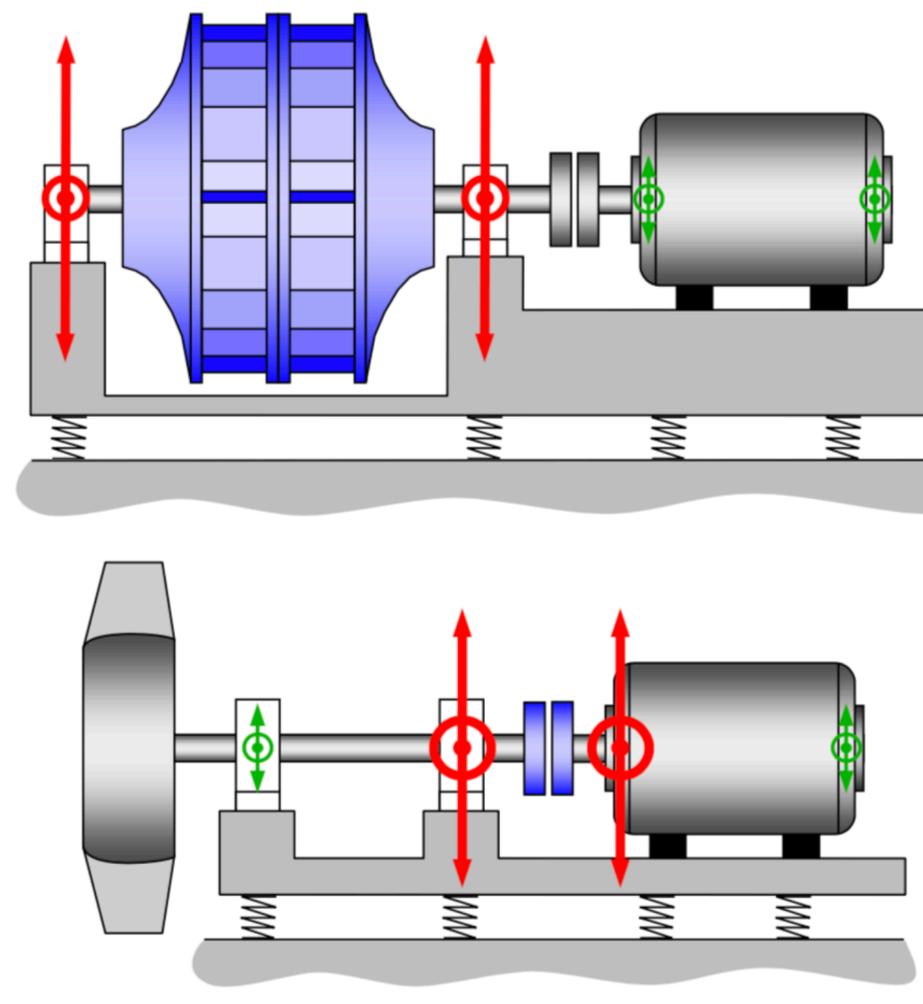


E' vietato ogni utilizzo diverso da quello inerente la preparazione dell'esame del corso di Meccanica delle Vibrazioni @Units
E' espressamente vietato l'utilizzo per qualsiasi scopo commerciale e/o di lucro

Il bilanciamento riduce l'ampiezza del picco nello spettro ma non ne modifica la posizione in frequenza



Se i rotori sono "a sbalzo" ci sarà una componente radiale dovuta alla flessione dell'albero

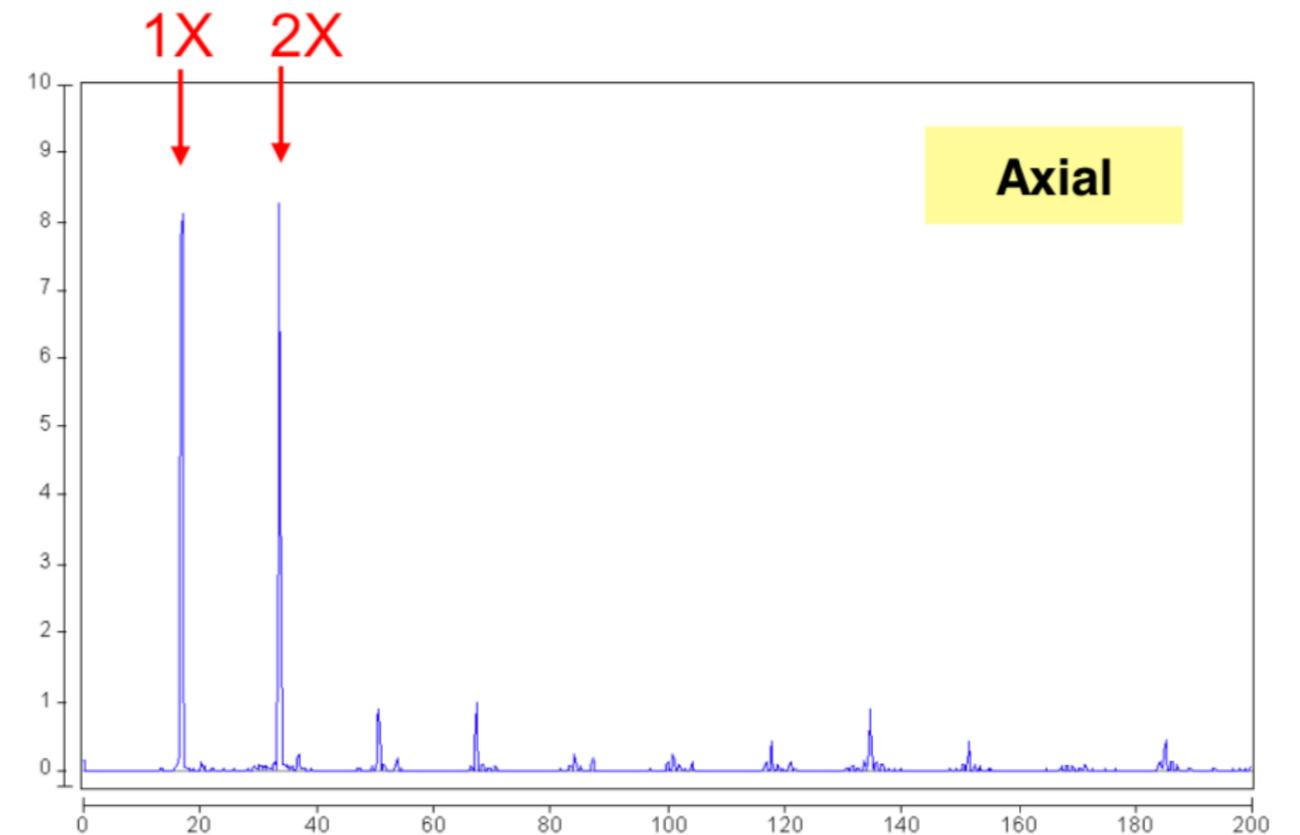
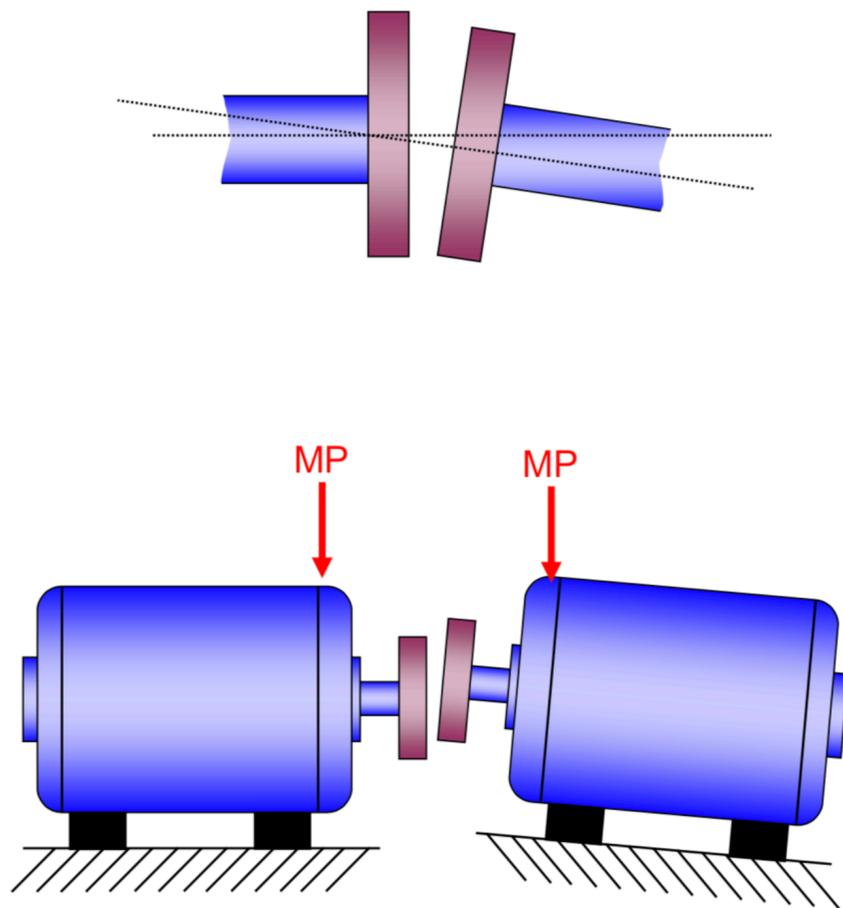


L'ampiezza relativa dei valori degli spettri dipende dalla posizione dell'elemento squilibrante

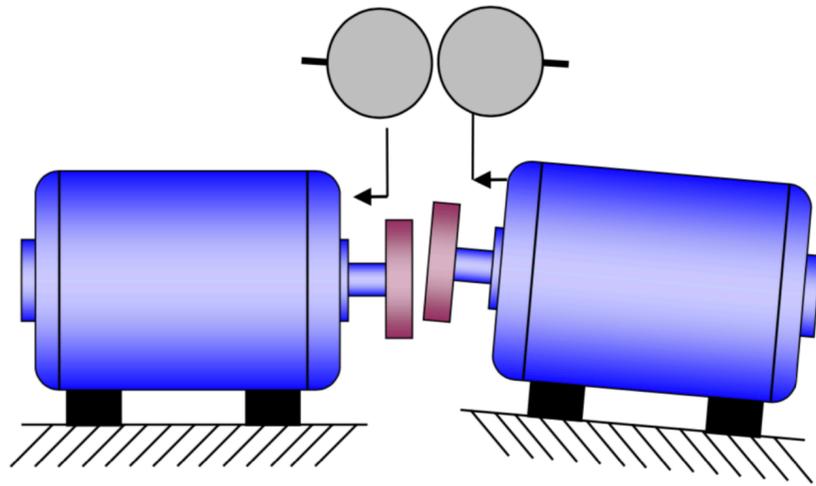
Disallineamento.. accade ogniqualvolta l'asse di rotazione di due macchine collegate non è coincidente!

Solitamente compaiono in maniera predominante le componenti 1x e 2x in direzione assiale.

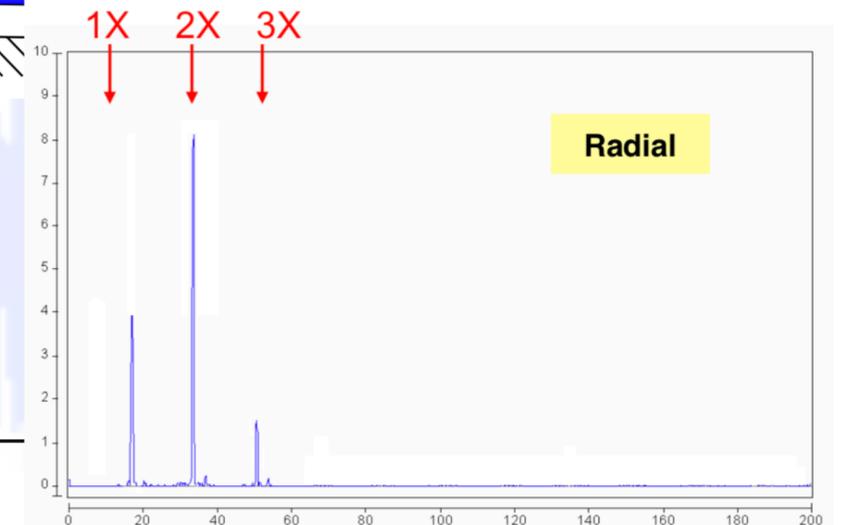
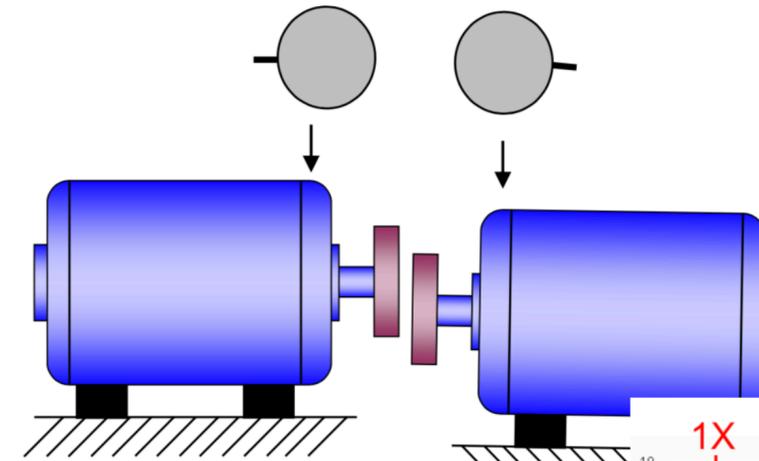
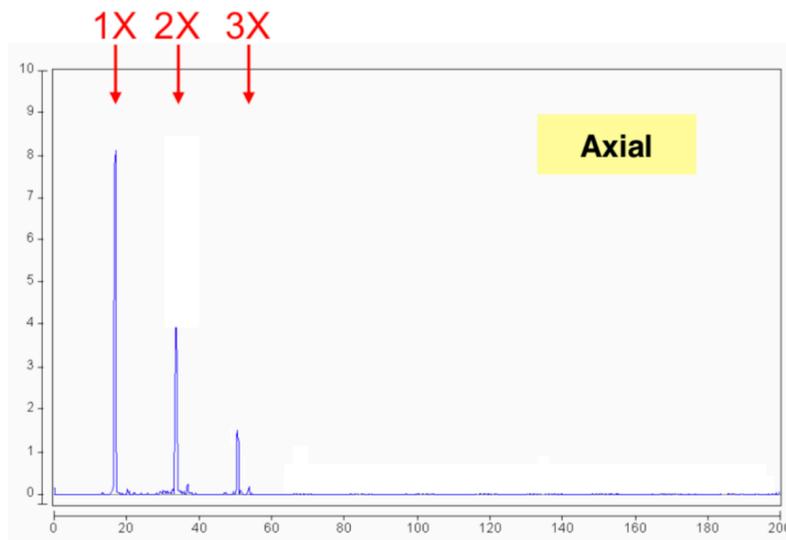
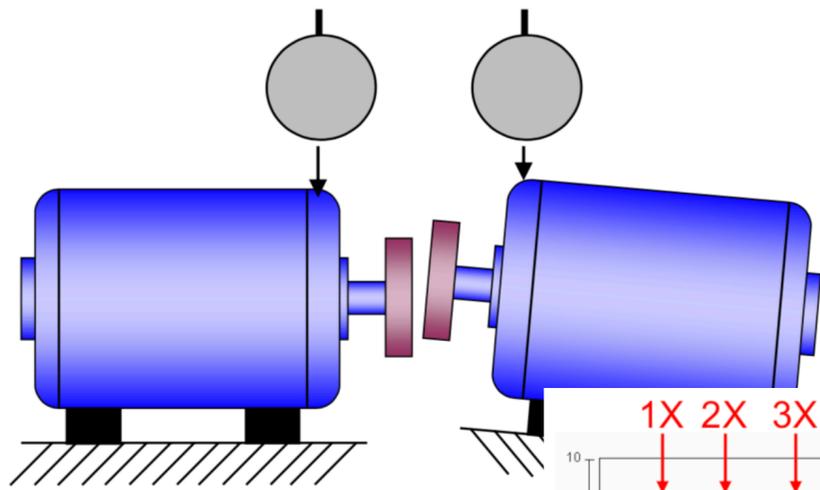
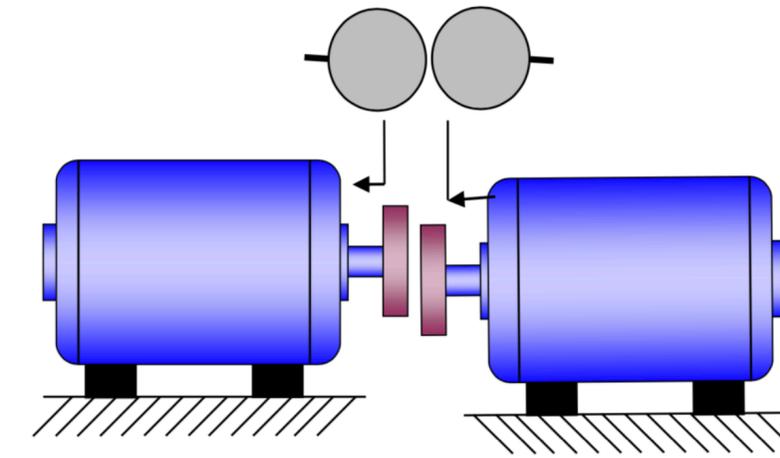
Dall'analisi dei segnali acquisiti ai due lati del giunto si identifica il tipo di disallineamento presente



Disallineamento Angolare



Disallineamento Parallelo



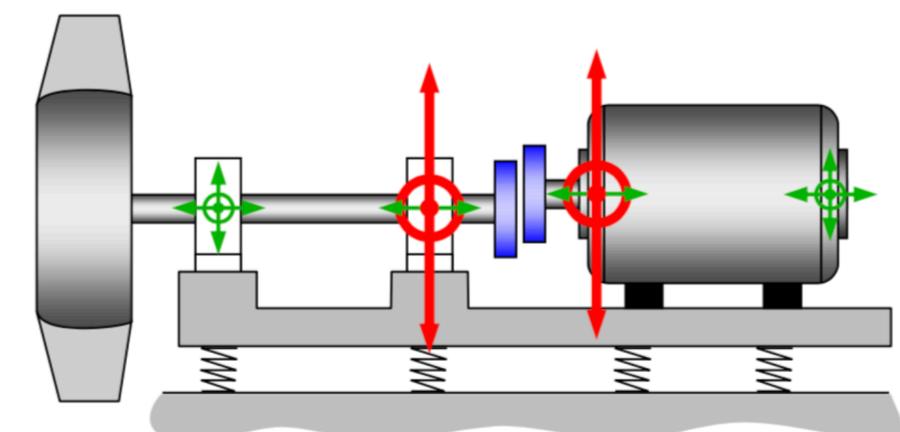
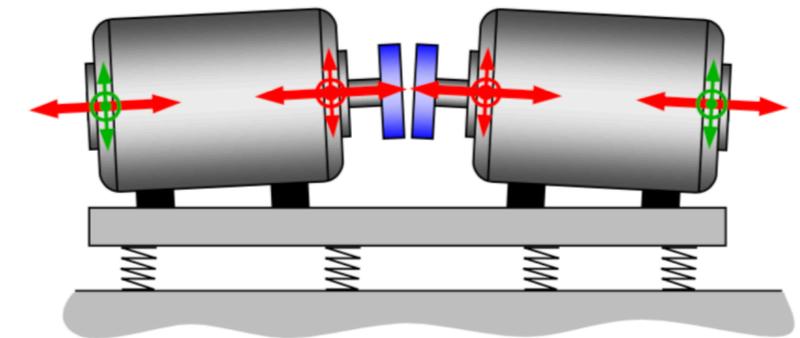
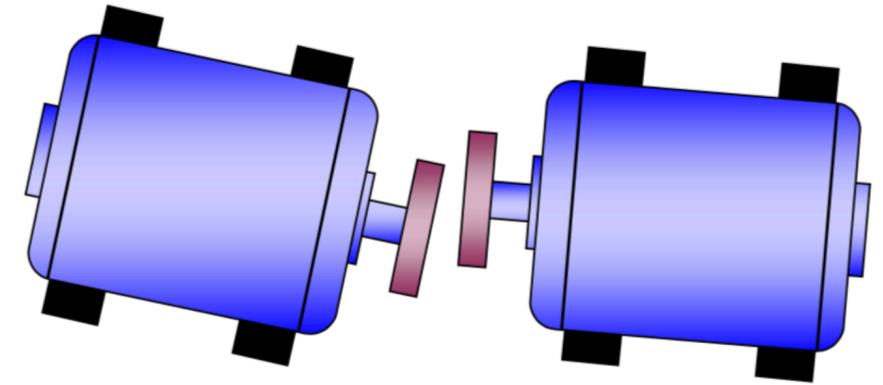
E' vietato ogni utilizzo diverso da quello inerente la preparazione dell'esame del corso di Meccanica delle Vibrazioni @Units
E' espressamente vietato l'utilizzo per qualsiasi scopo commerciale e/o di lucro



Disallineamento.. di solito è una combinazione dei precedenti!

Si distingue dallo squilibrio facendo test a differenti velocità o provando le macchine disaccoppiate!

La dilatazione termica può aumentare o diminuire il disallineamento.. attenzione come si fanno le misure

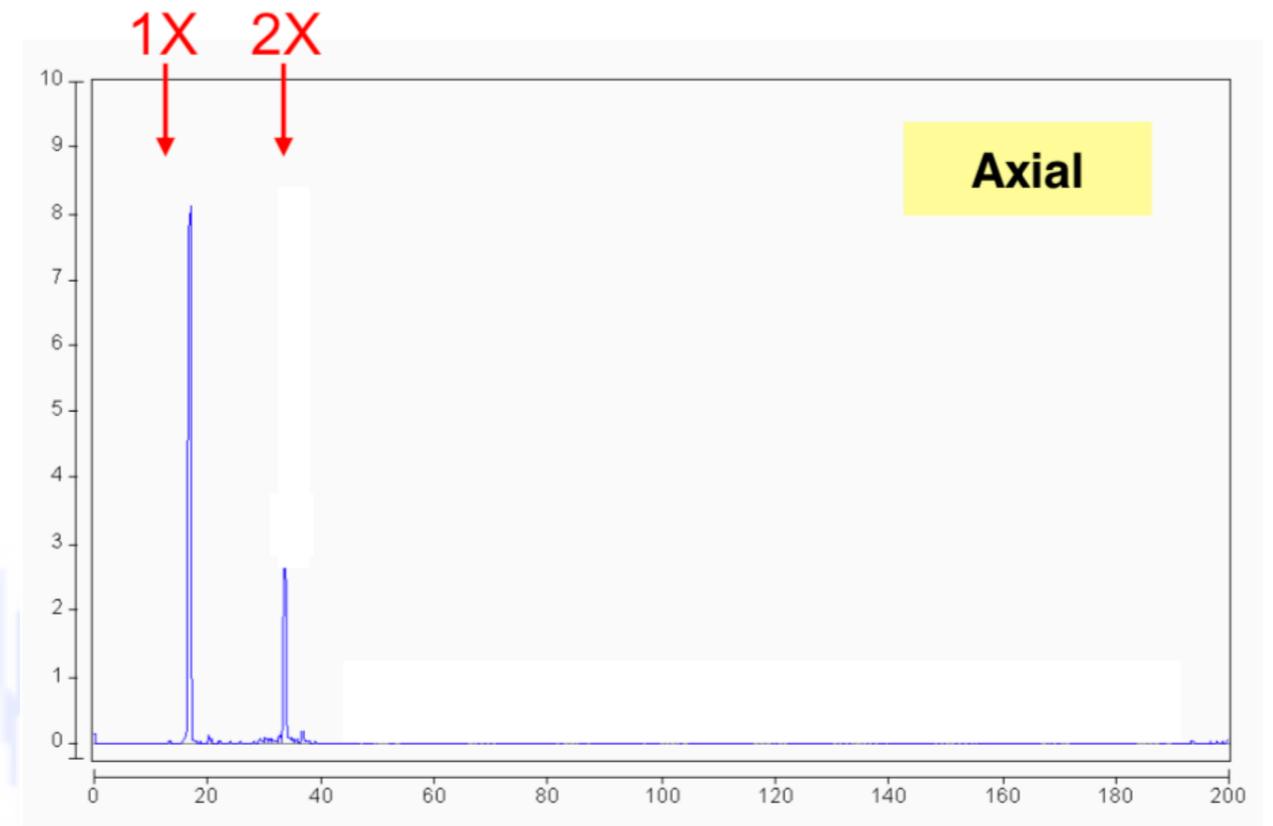
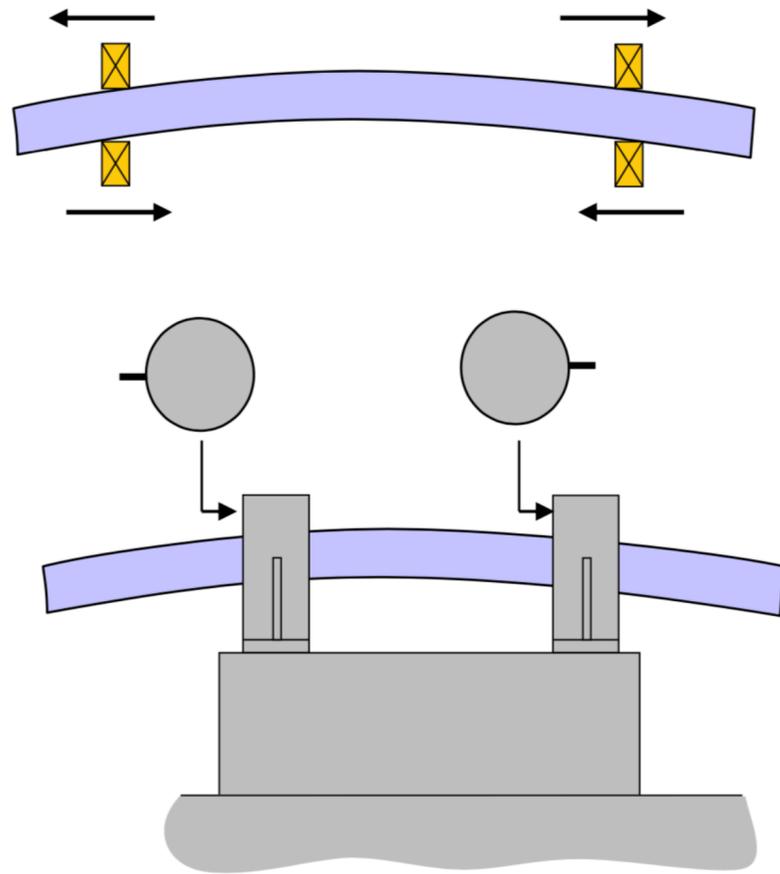


		Alignment Tolerance inch [mils] 😊	
		RPM	acceptable excellent
Short "flexible" couplings			
Offset 		900	6.0 3.0
		1200	4.0 2.5
		1800	3.0 2.0
		3600	1.5 1.0
Angularity (gap difference at coupling edge per 10" diameter) 		900	10.0 7.0
		1200	8.0 5.0
		1800	5.0 3.0
		3600	3.0 2.0
Spacer shafts and membrane (disk) couplings			
Offset (per inch spacer length) 		900	2.0 1.2
		1200	1.5 0.9
		1800	1.0 0.6
		3600	0.5 0.3
Angularity [mrad] 		900	2.0 [mrad] 1.2
		1200	1.5 0.9
		1800	1.0 0.6
		3600	0.5 0.3
Soft foot		any	2.0 mils

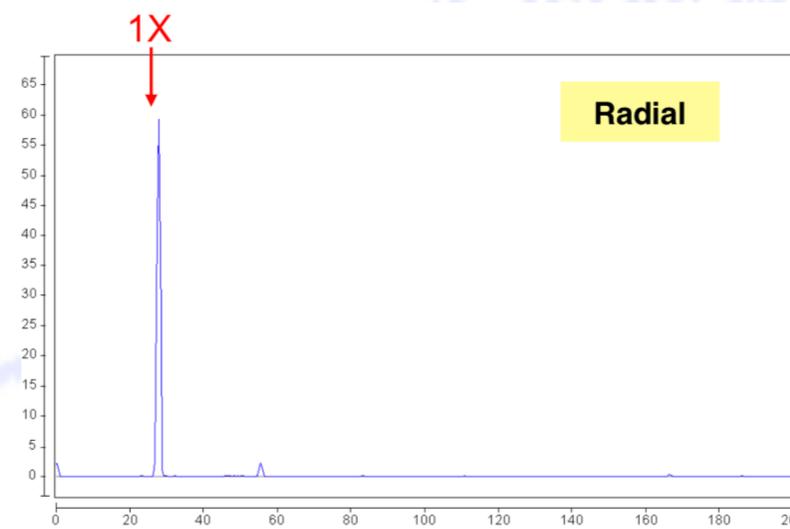
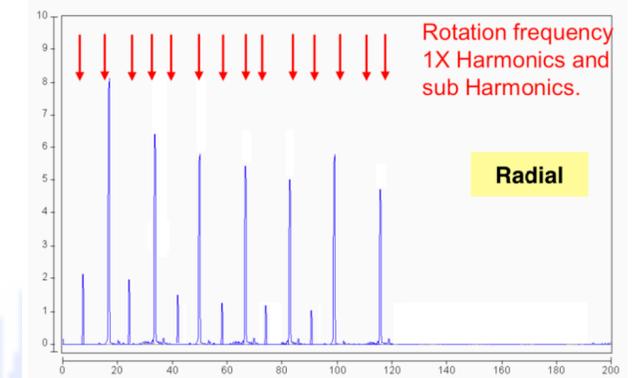
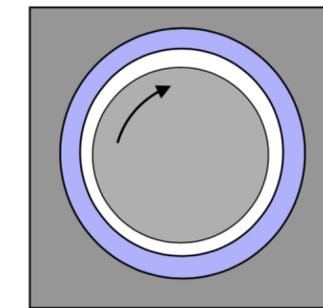
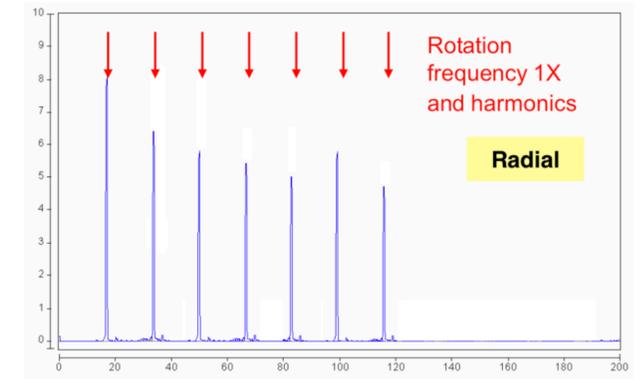
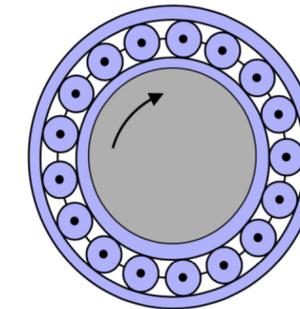
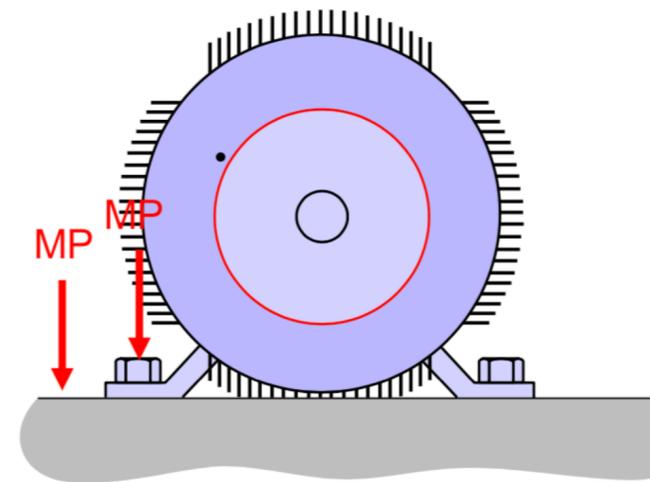
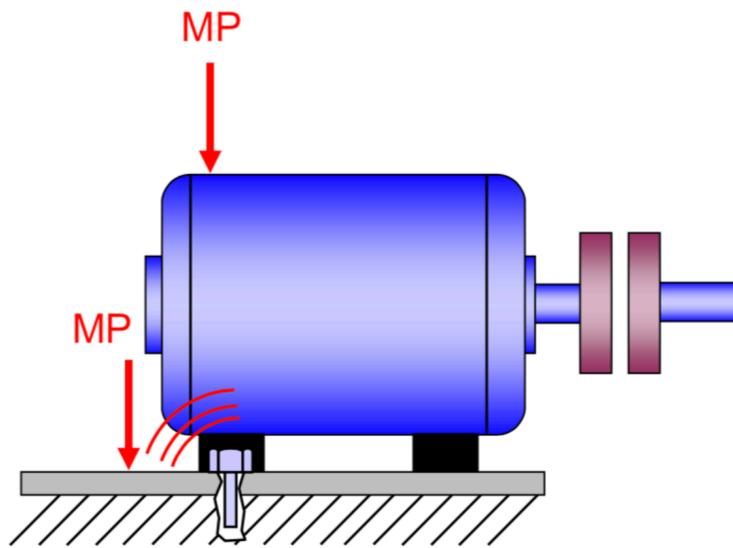
mils
= 1/1000 di pollice
= 0,0245 mm

Flessione dell' albero.. accade ogniqualvolta l'asse di rotazione non è rettilineo
Può essere congenito con l'albero, o imposto da carichi esterni.

I supporti sono eccitati assialmente ed in controfase



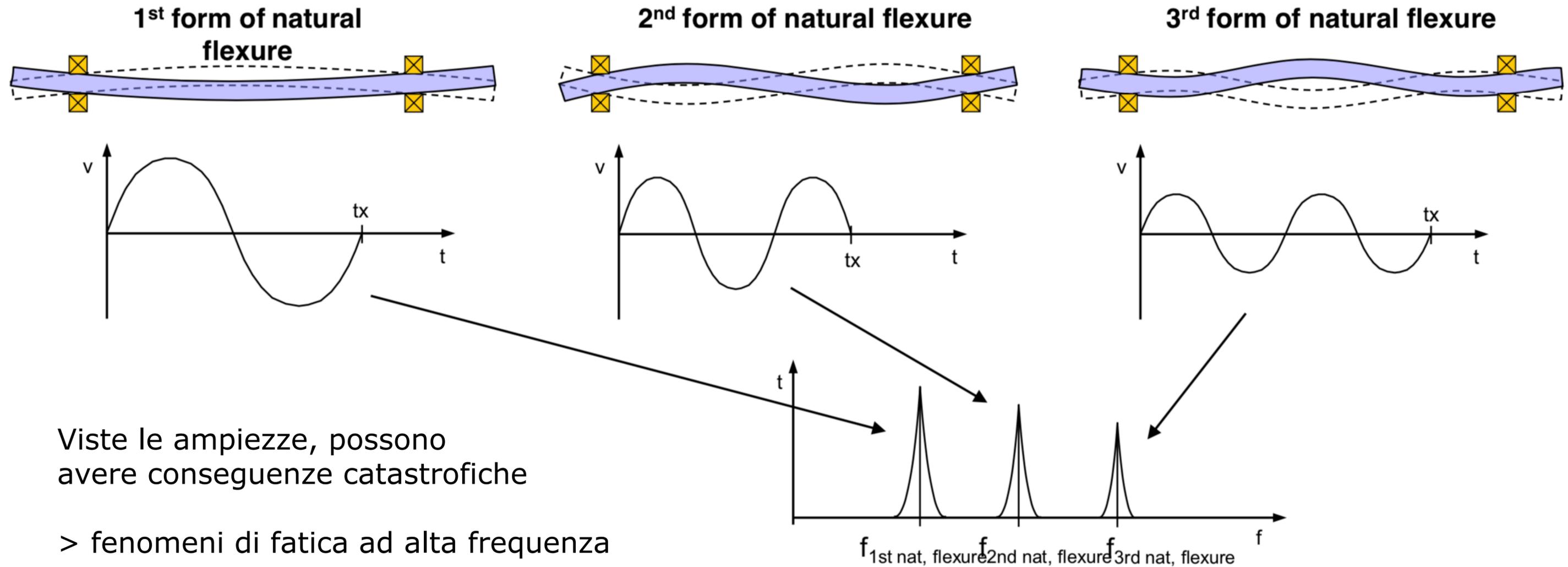
Allentamenti.. possono essere di diversi tipi, degli organi interni alla macchina (cuscinetto) o nelle connessione tra la macchina ed il resto del mondo



Soft foot:
allentamenti, cedimenti della base
misurare la macchina e la fondazione
Saranno in fase o in opposizione?

Membri interni:
armoniche e sub-armoniche

Risonanze.. ogniqualvolta una forzante eccita una risonanza del sistema, genererà elevati livelli di vibrazioni (le risonanze non hanno relazione armonica!)



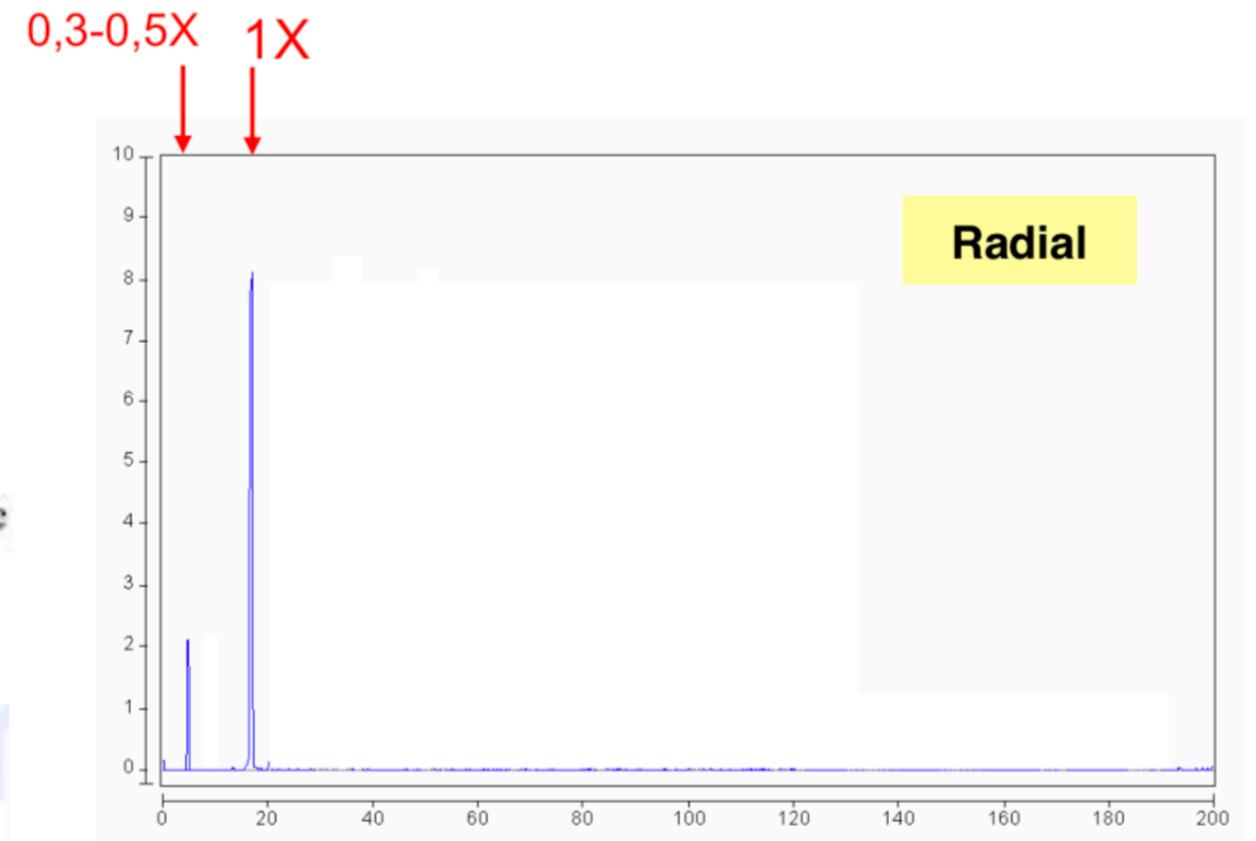
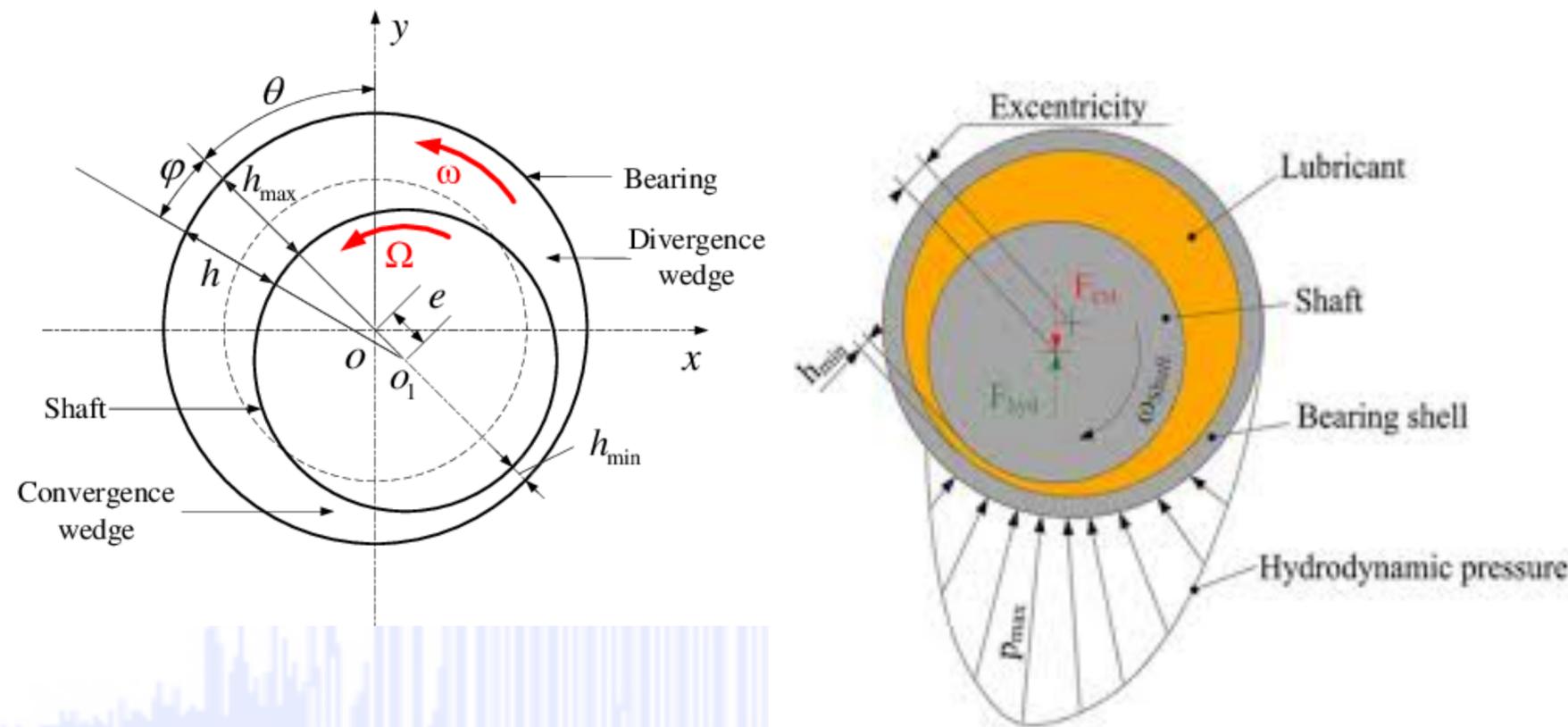
Viste le ampiezze, possono avere conseguenze catastrofiche

> fenomeni di fatica ad alta frequenza

Cuscinetti Idrodinamici.. nei cuscinetti è il lubrificante nel meato (convergente divergente) che supporta il carico.

Si instaurano movimenti a bassa frequenza correlati al movimento dell'albero nella sede ed alla continua instabilità del meato.

Le sub-armoniche sono tipiche !!

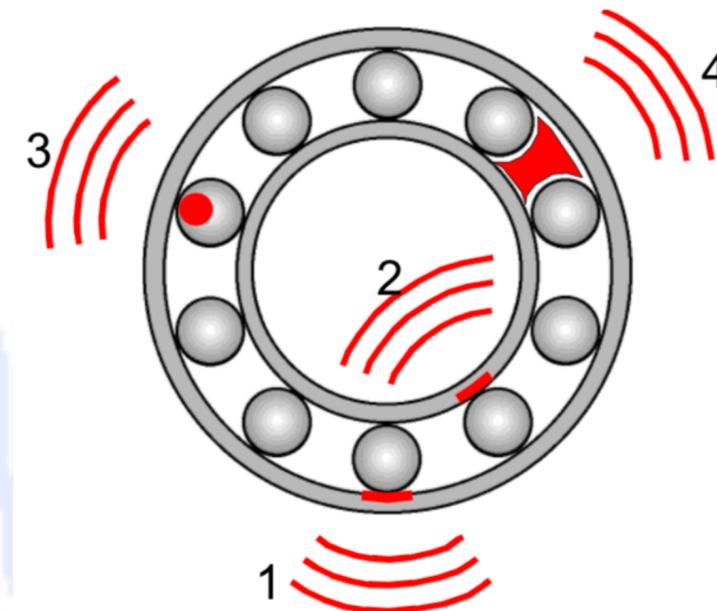
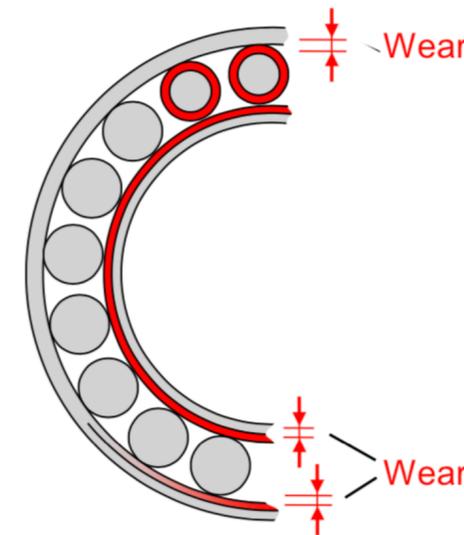


Cuscinetti volventi.. nei cuscinetti a strisciamento si instaurano diversi fenomeni che possono cambiare l'impronta vibrazione registrata

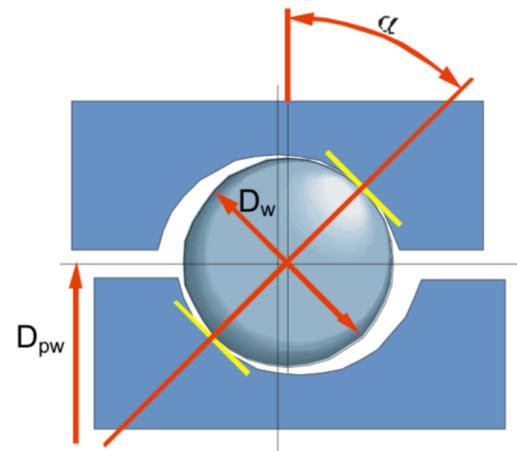
In generale c'è usura con conseguente aumento dei giochi, che fa aumentare le vibrazioni. Questa è dovuto a sovraccarichi, a sbagliati dimensionanti e montaggi a mancanza di lubrificazione

..

In seconda battuta ci sono di danneggiamenti delle parti (piste interne o esterne, elementi volventi, gabbie) ciascuno associato alla geometria del cuscinetto ed alla sua cinematica



Cuscinetti volventi.. i calcoli sono non sono troppo complessi, ma richiedono la precisa conoscenza della geometria e delle dimensioni delle parti



Più facile è sfruttare i calcolatori di frequenza messi a disposizione dei produttori dei cuscinetti stessi

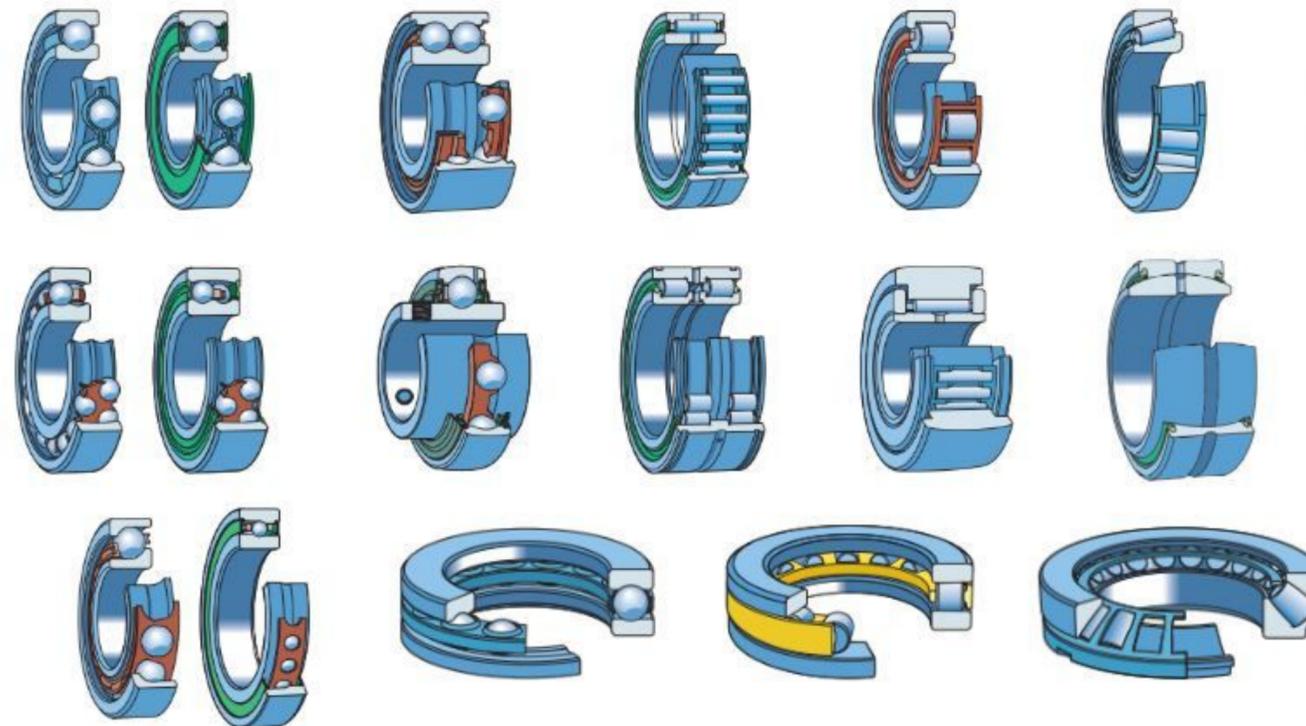
(soprattutto quanto i tipi di cuscinetti installati è numeroso e differente dai cuscinetti radiali a sfere con una sola pista)

$$BPFO = \frac{Z \cdot n}{2 \cdot 60} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

$$BPFI = \frac{Z \cdot n}{2 \cdot 60} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

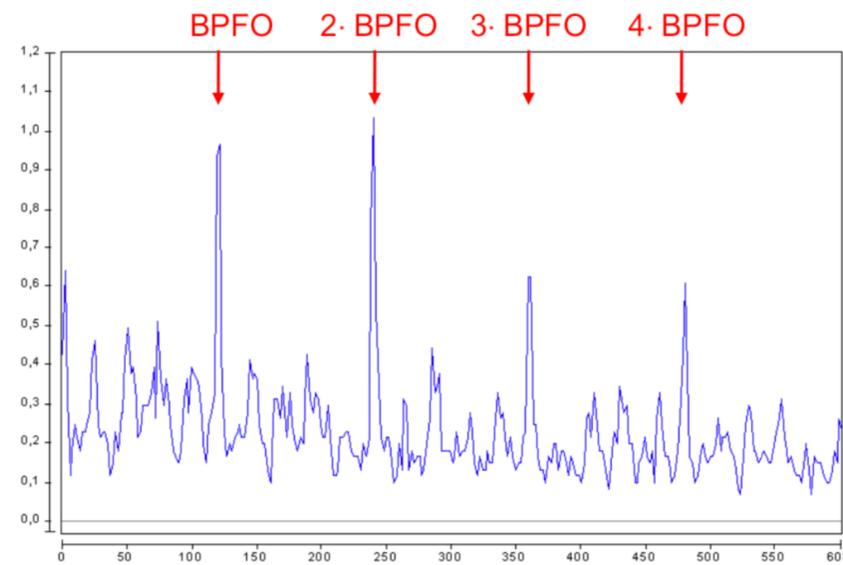
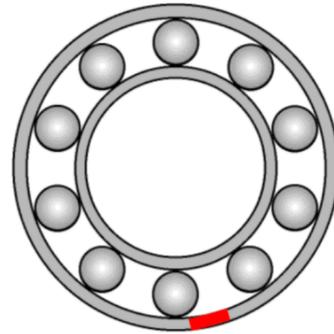
$$BSF = \frac{D \cdot n}{d \cdot 60} \left(1 - \left[\frac{d}{D} \cos \alpha \right]^2 \right)$$

$$TFT = \frac{n}{2 \cdot 60} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

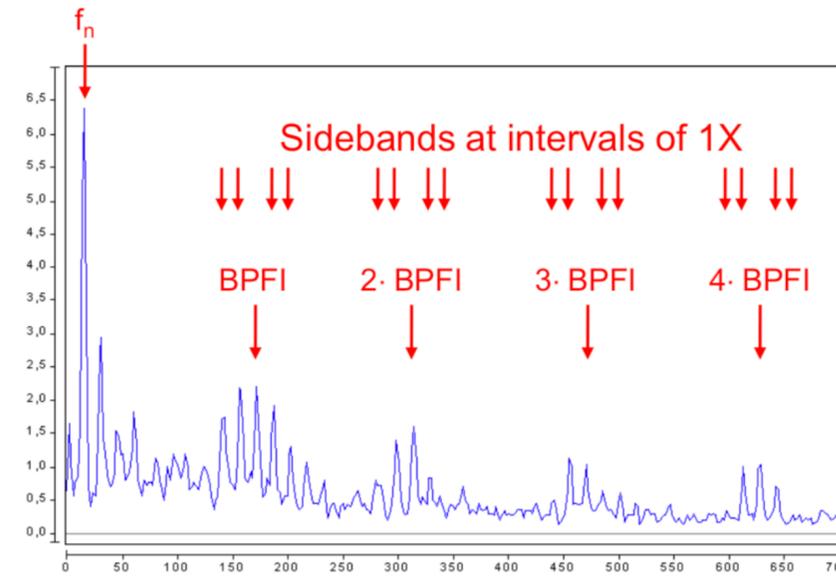
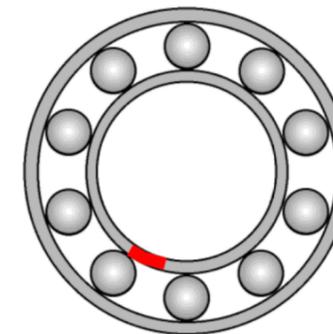


Cuscinetti volventi.. la localizzazione del danno è facilitata dalla forma dello spettro

Danno guida esterna
BPFO

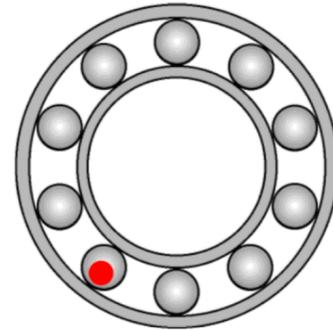


Danno guida interna
BPFI

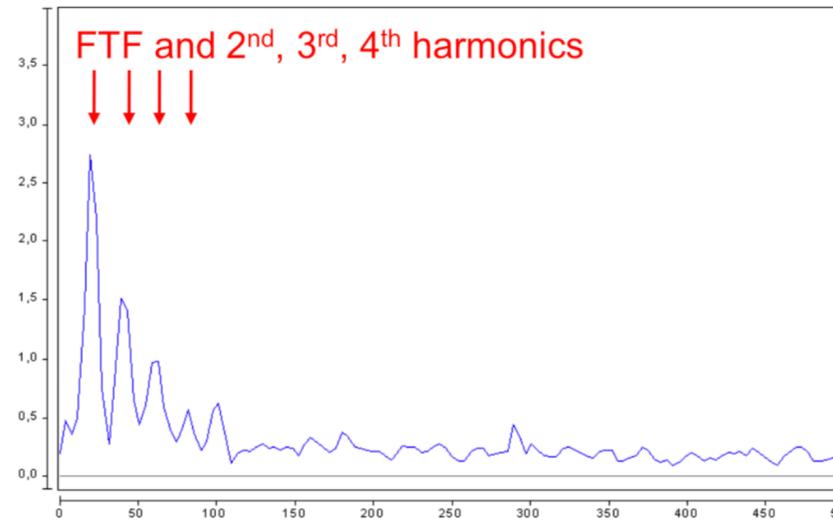
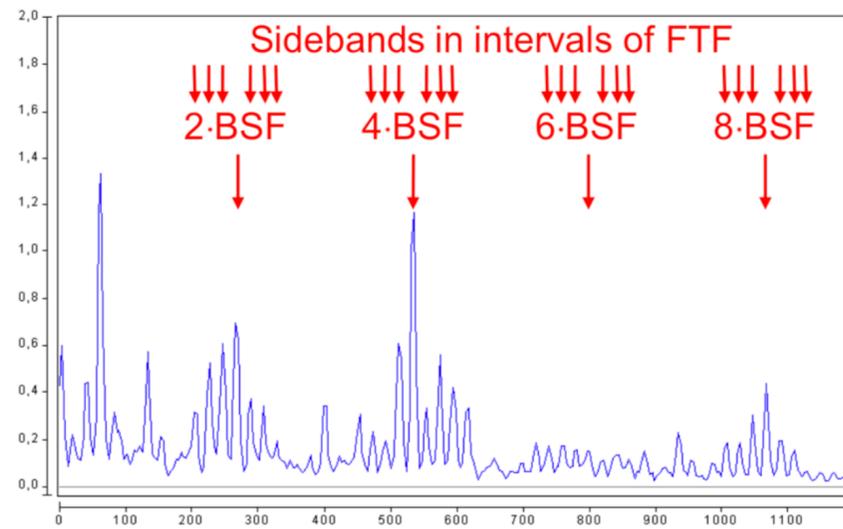
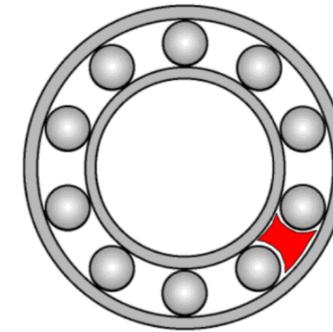


Cuscinetti volventi.. la localizzazione del danno è facilitata dalla forma dello spettro

Danno elemento volvente
BSF

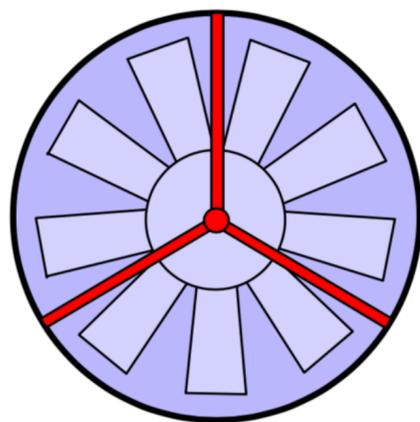
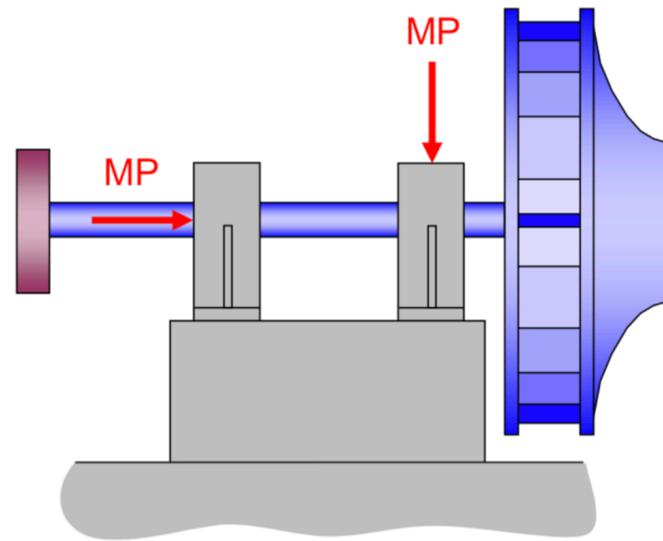


Danno gabbia
TFT

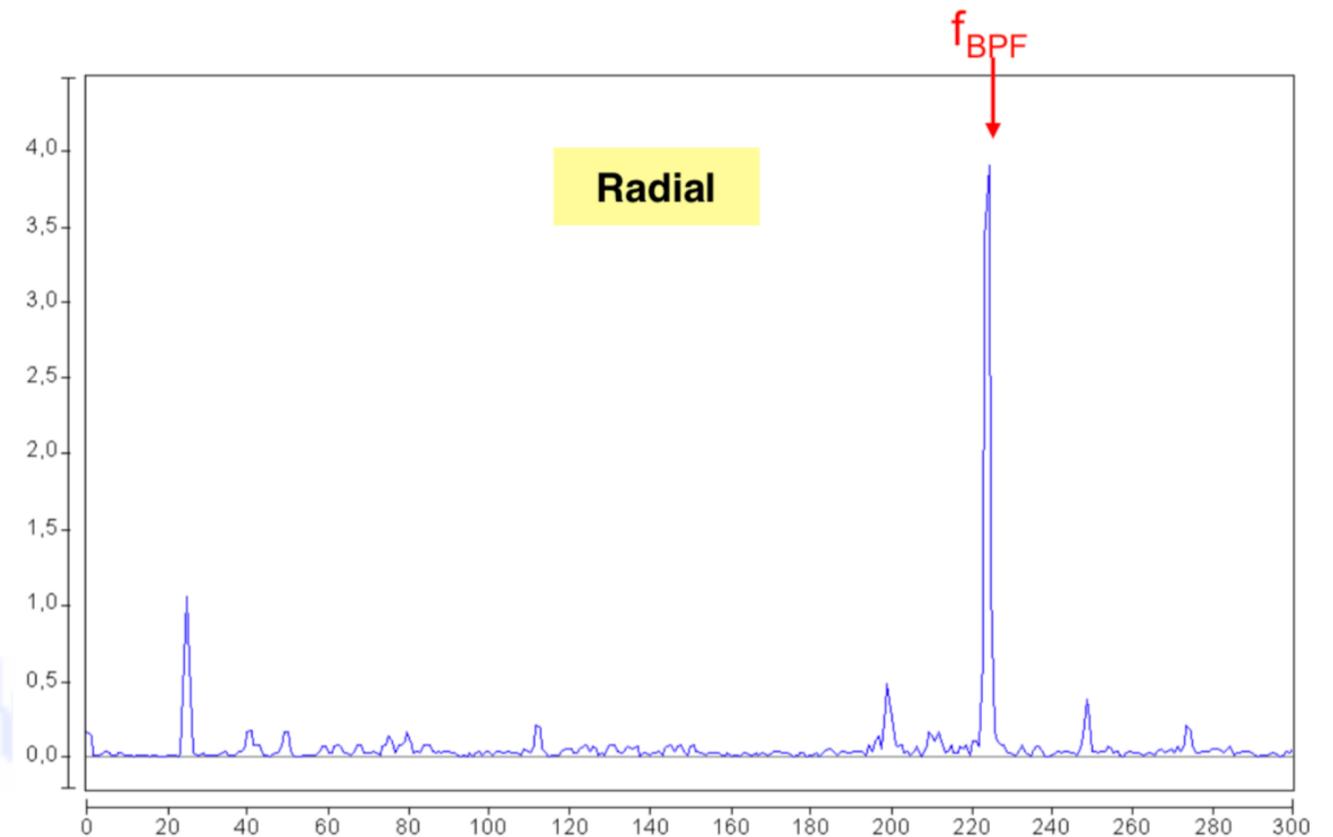


Pale e Vani.. Le palettature delle giranti caricano periodicamente la macchina (un numero di volte al giro pari al numero di pale > armoniche proporzionali a $N_p \times$)

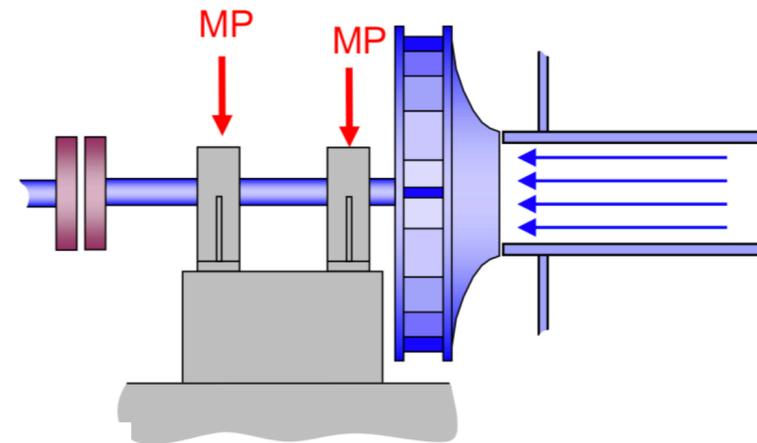
In funzione dell'aeraulica della girante, saranno rilevabili maggiormente in direzione radiale o assiale



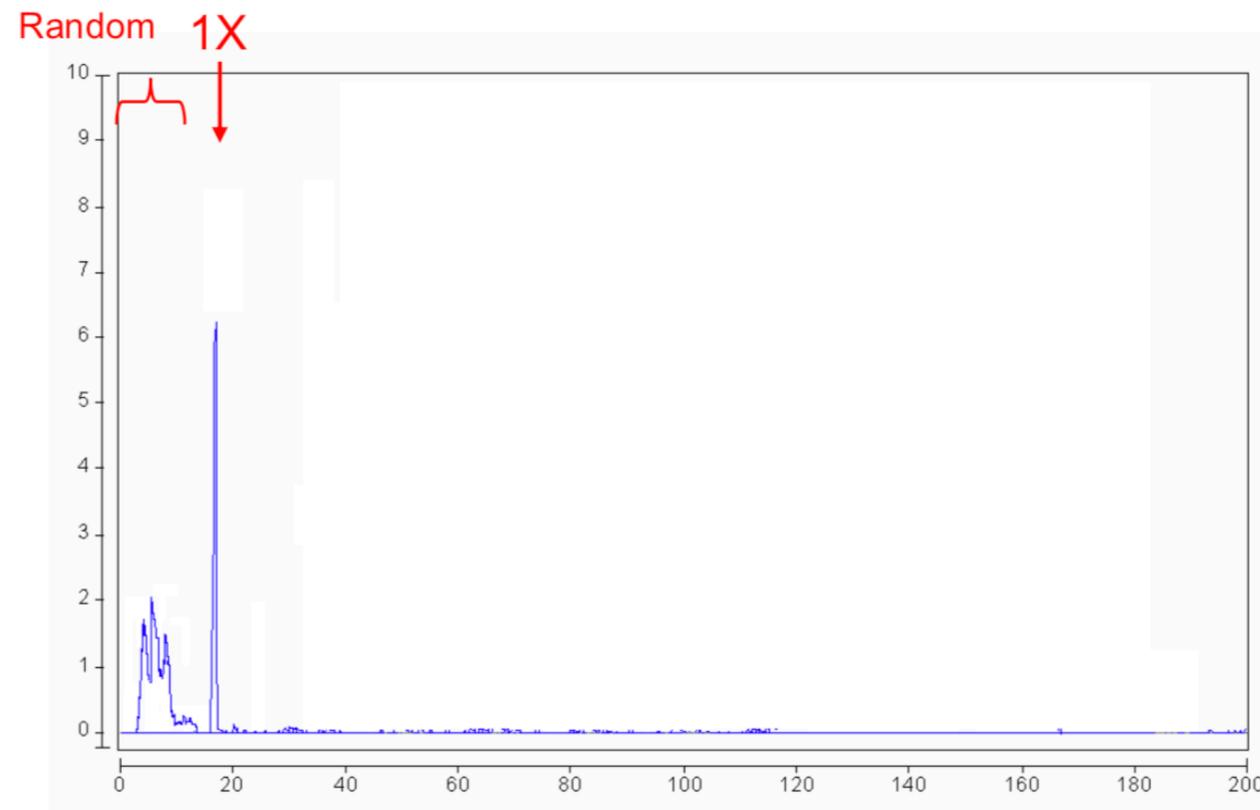
Con 9 pale e 3 supporti.. quale sarà la frequenza caratteristica del sistema?



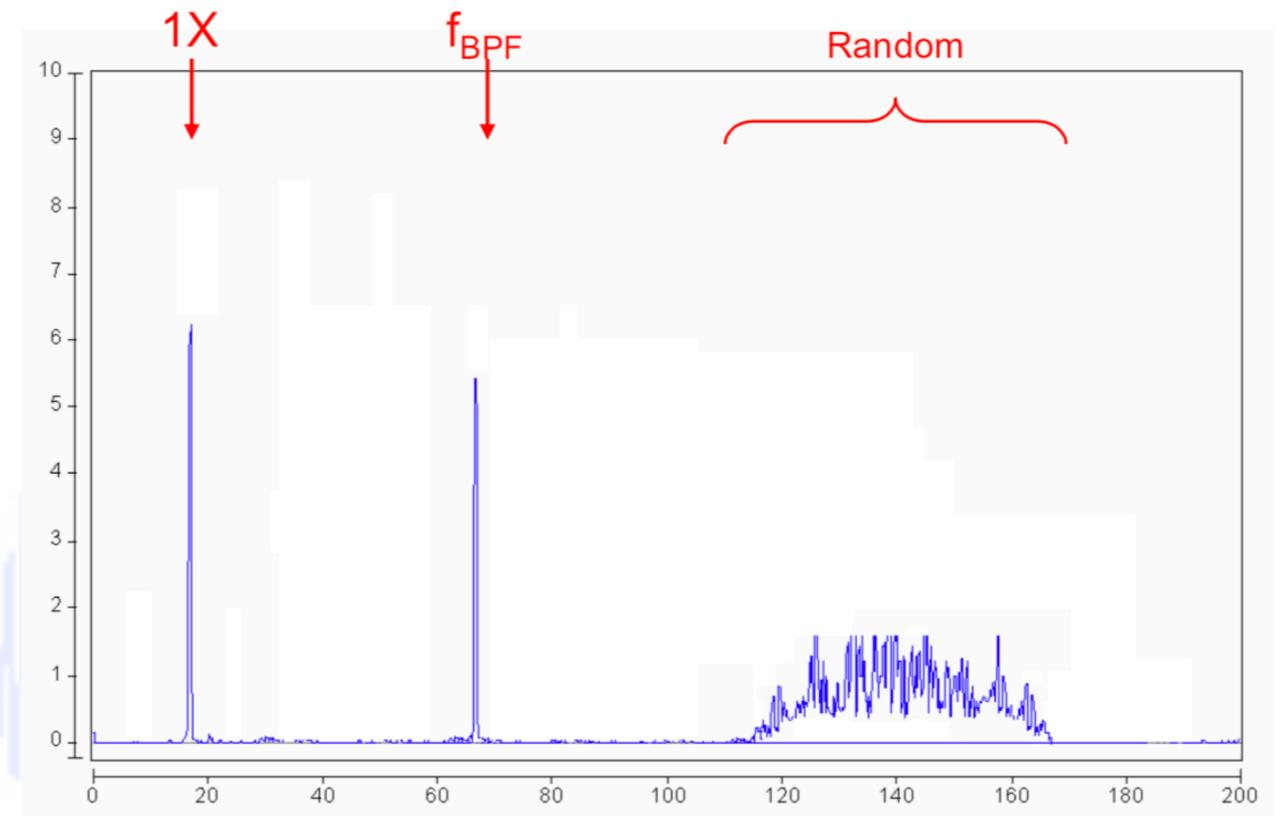
Forze idrauliche/aerodinamiche.. il fluido che si muove nella macchine aerauliche eccita a sua volta la struttura. I fenomeni rilevabili sono Turbolenza e Cavitazione che hanno spettri con contenuto in frequenza differente



Turbolenza



Cavitazione



Cinghie. le cinghie sono elementi flessibili che collegano pulegge di diametro differente

La trasmissione di potenza con le cinghie presenta problemi legati al montaggio, all'allineamento delle pulegge, all'eccentricità delle pulegge alle risonanze del ramo non teso della cinghia, all'usura.. ciascuno con uno spettro particolare!<

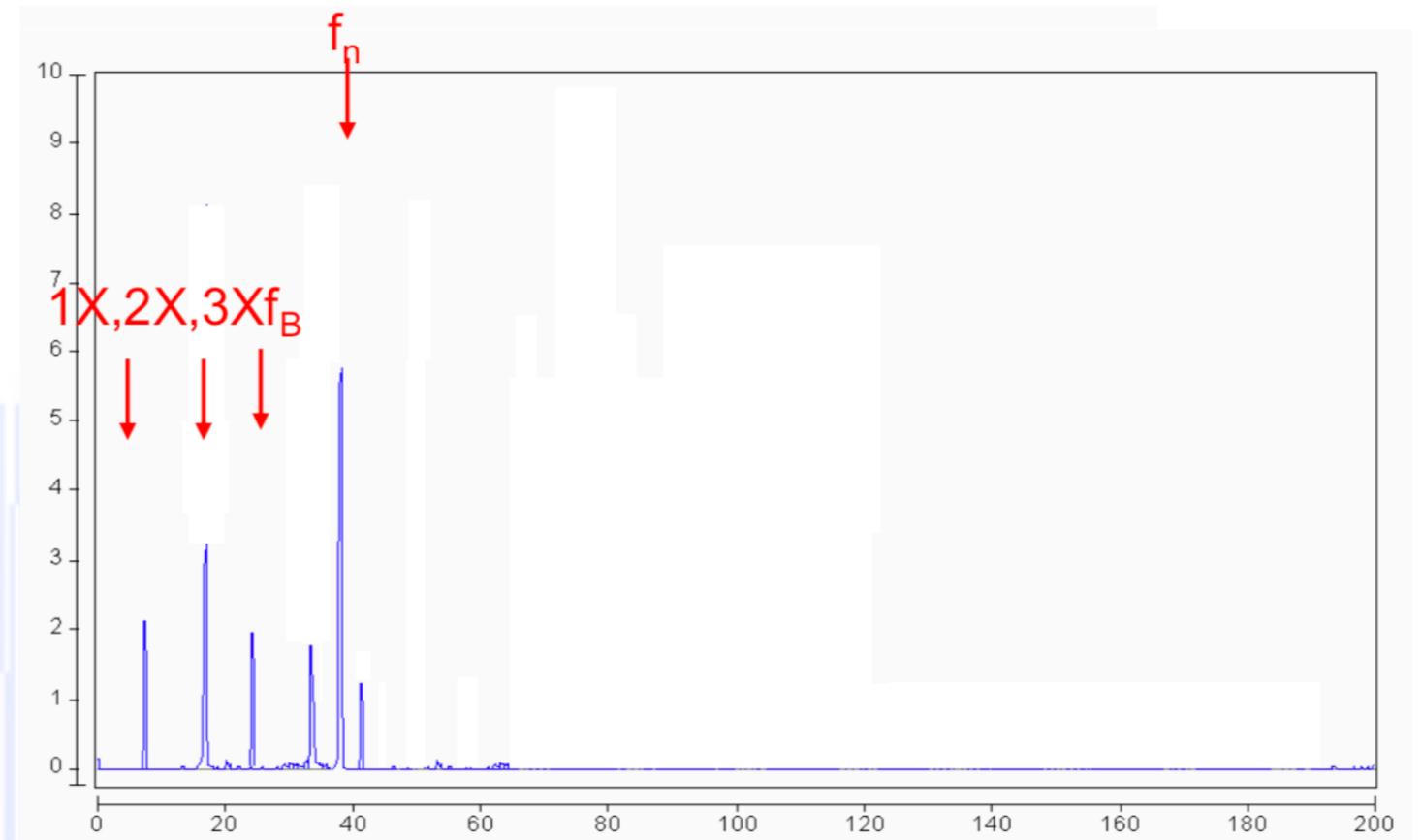
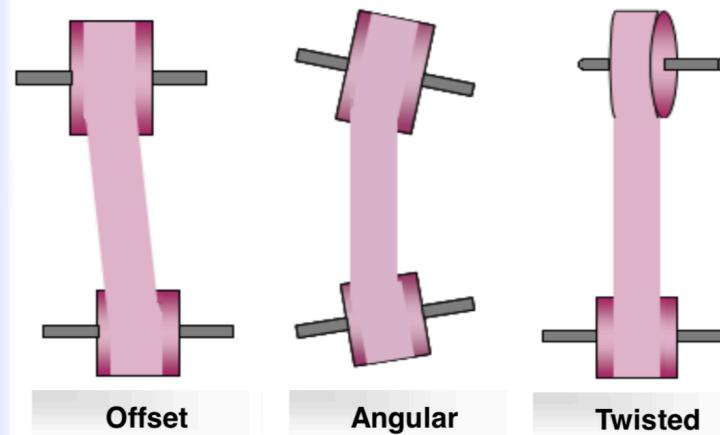
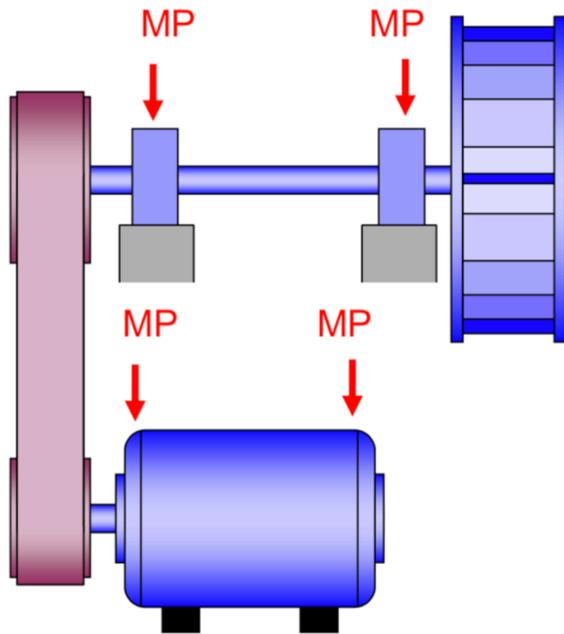
$$f_B = \pi \frac{\omega_1 \phi_1}{l}$$

angolo di abbraccio

lunghezza cinghia

montaggio > 1x
usura 1x 2x 3x di f_B

...



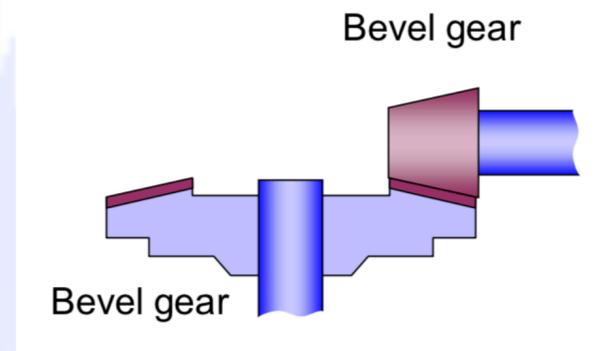
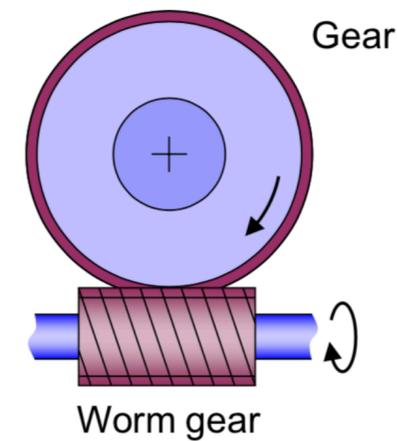
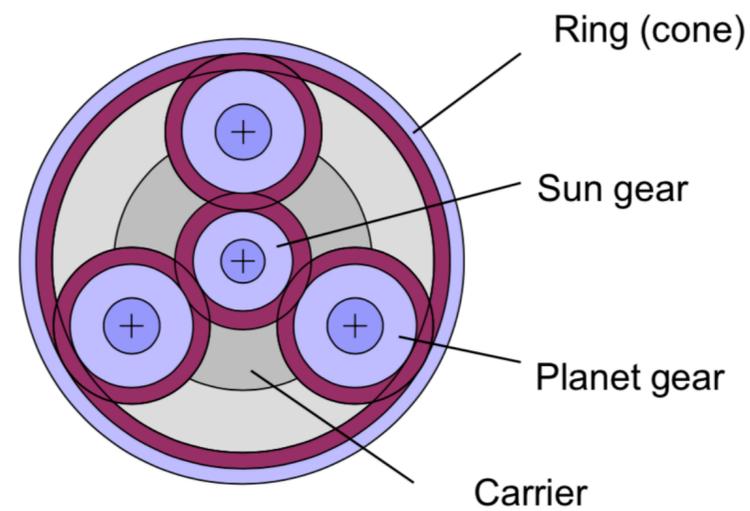
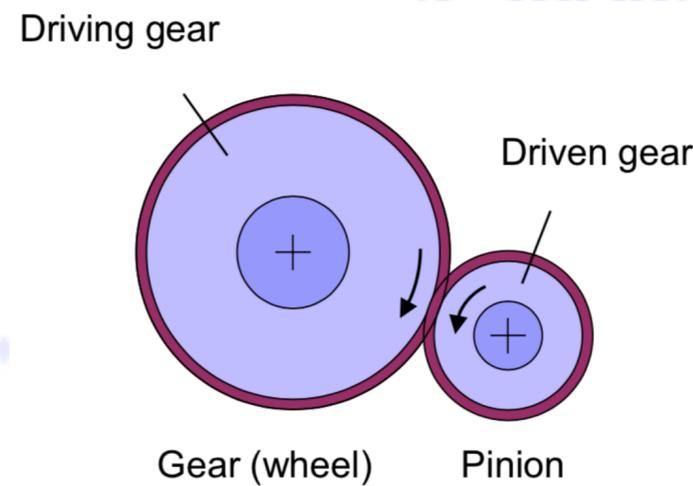
Ingranaggi.. gli ingranaggi un comune dispositivo di trasmissione della coppia

Si distinguono ruotismi
 Ordinari
 Epicicloidali
 A vite senza fine
 A ruote coniche
 ...

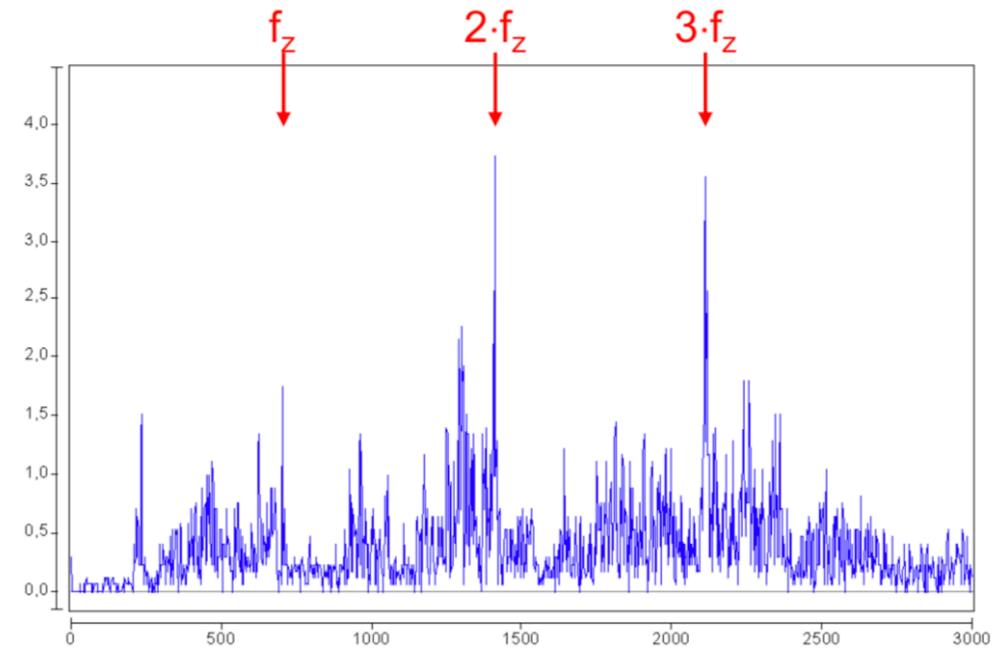
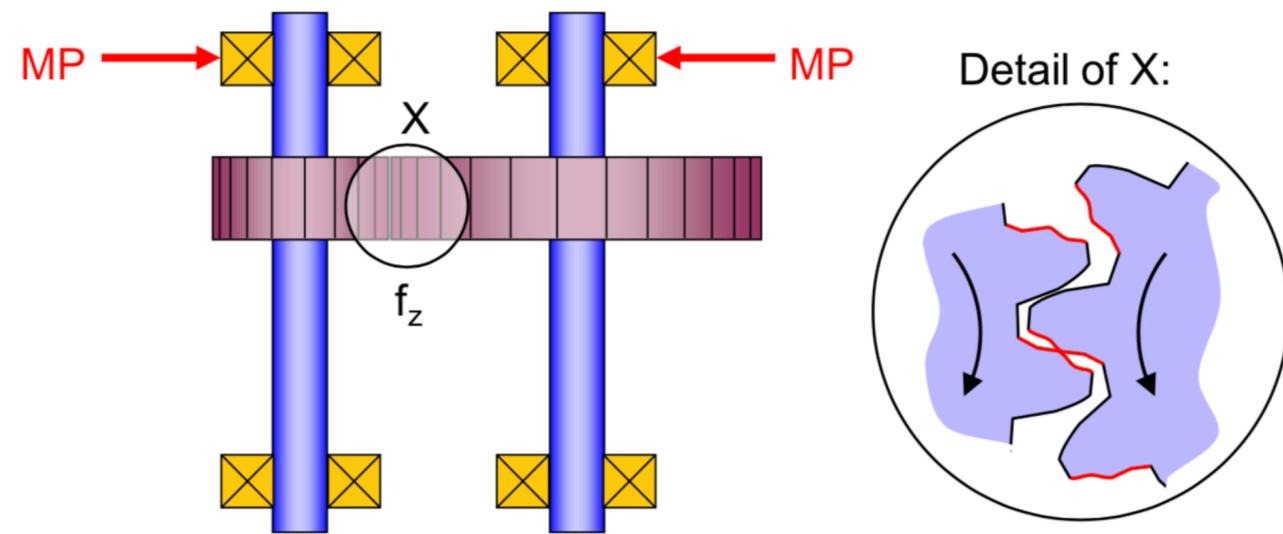
Con ruote a denti
 Dritti
 Elicoidali
 ...

A funzionamento
 Continuo
 Intermittente
 Reversibile
 ..

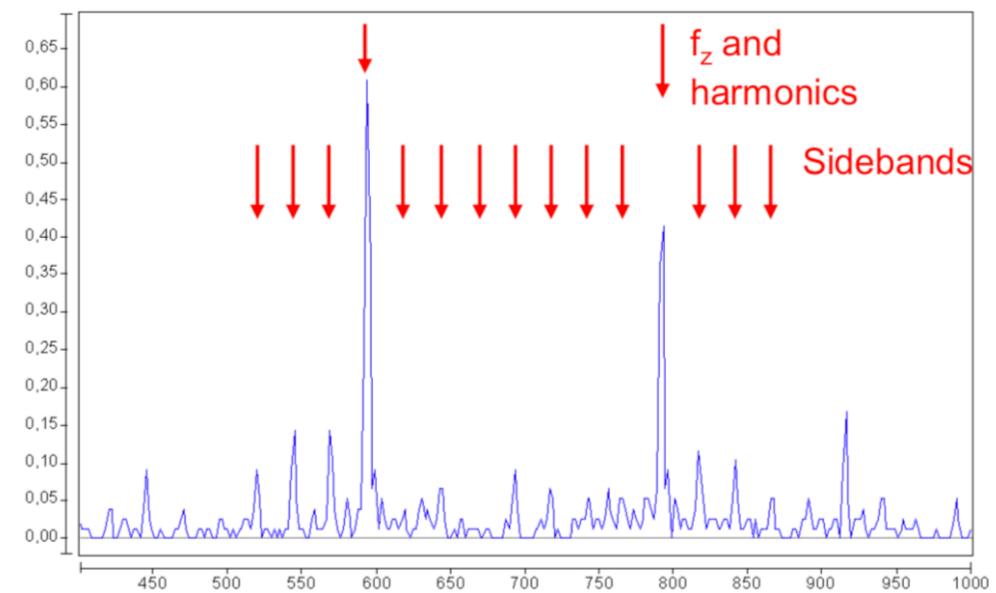
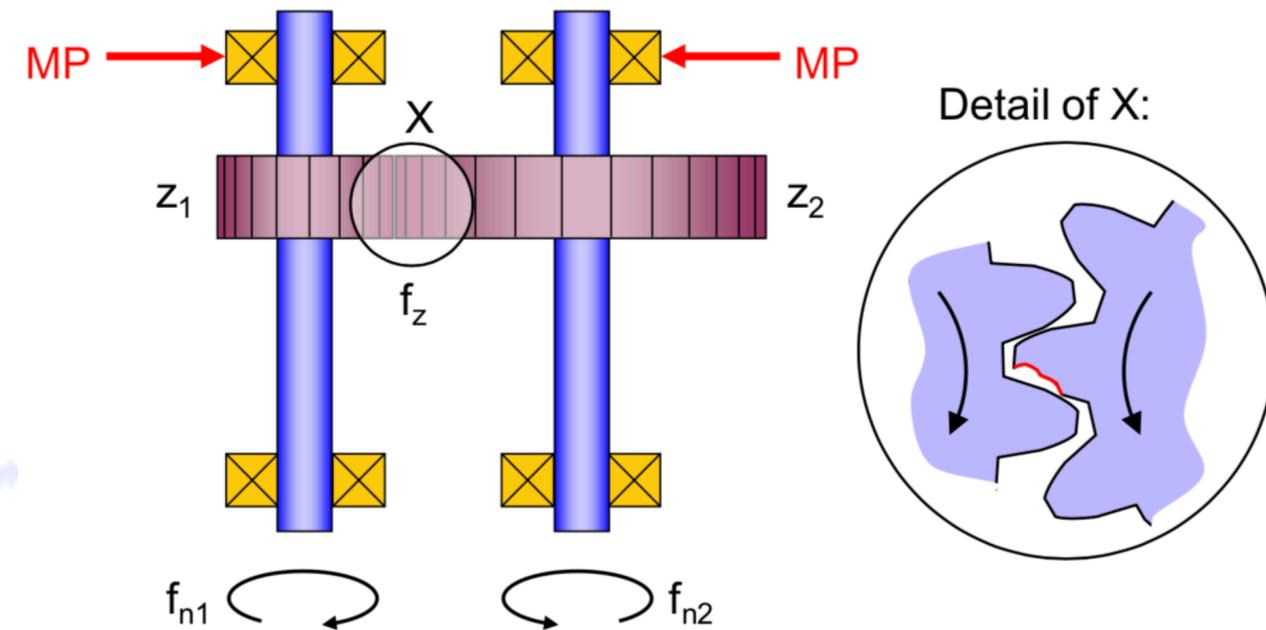
.. sarà necessario porre attenzione alla tipologie,
 alla cinematica, alla tipologia di danneggiamento per aver le corrette frequenze di danno potenziale!



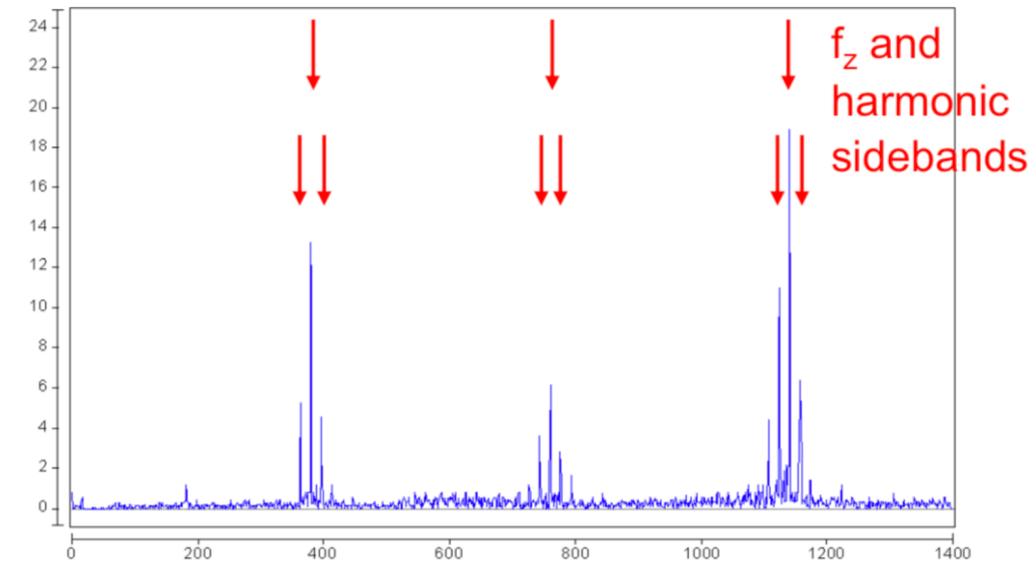
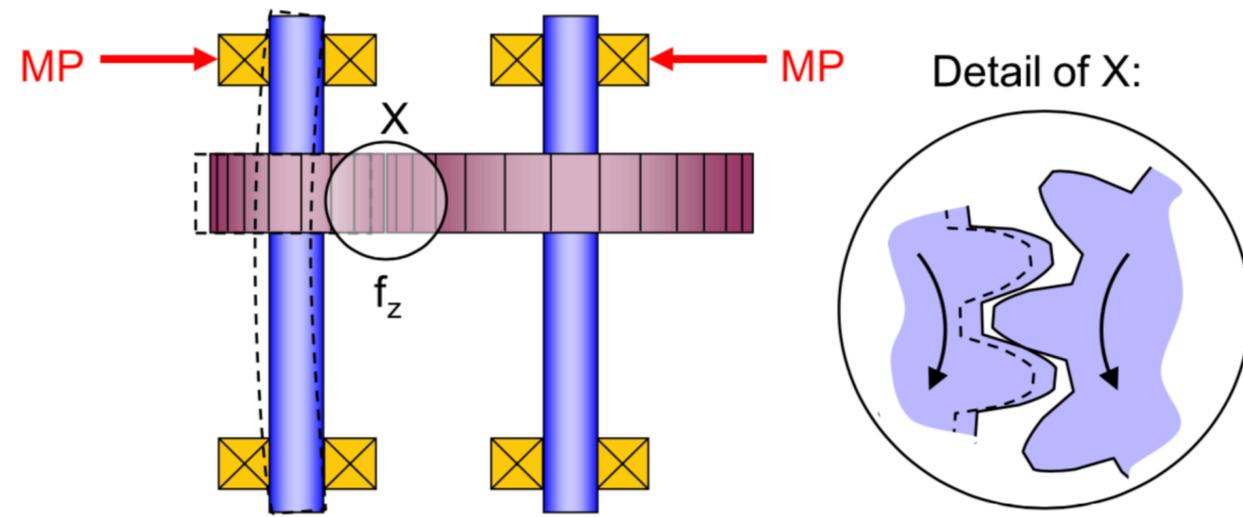
Diagnostica



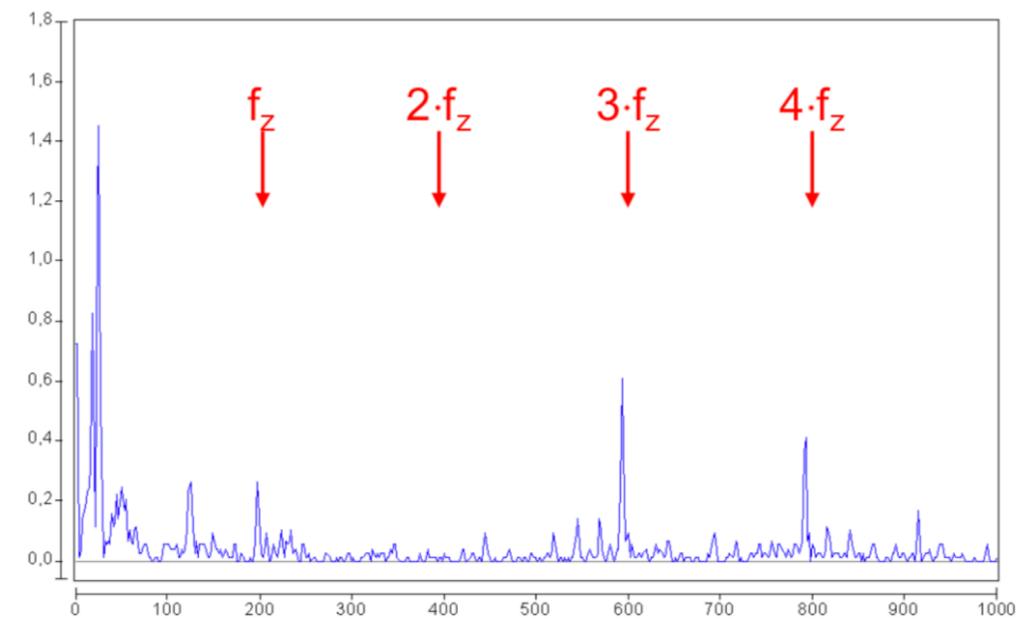
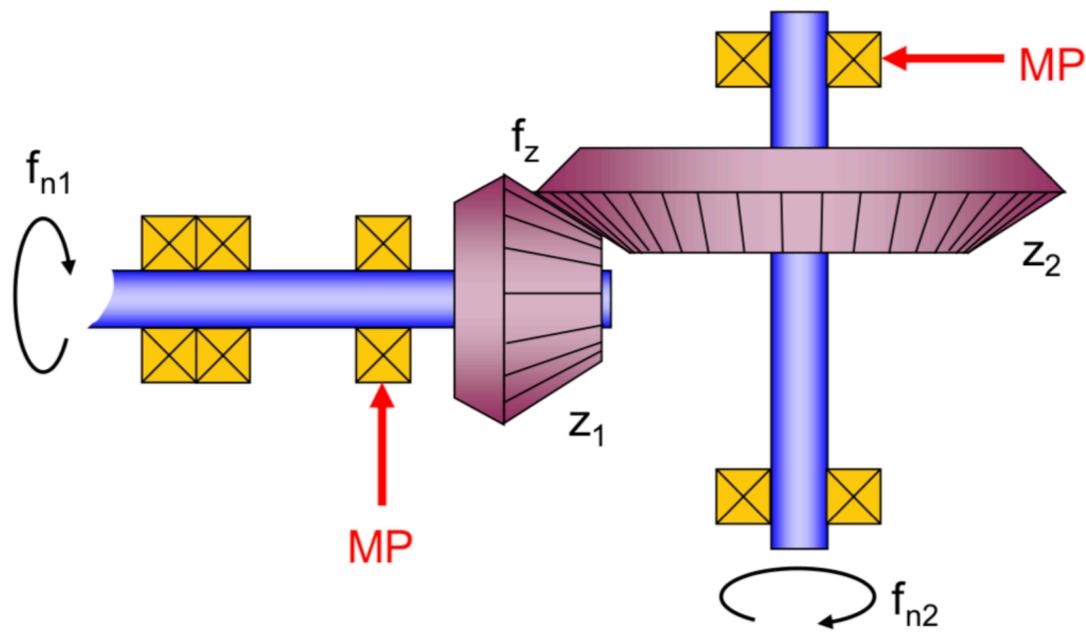
Usura



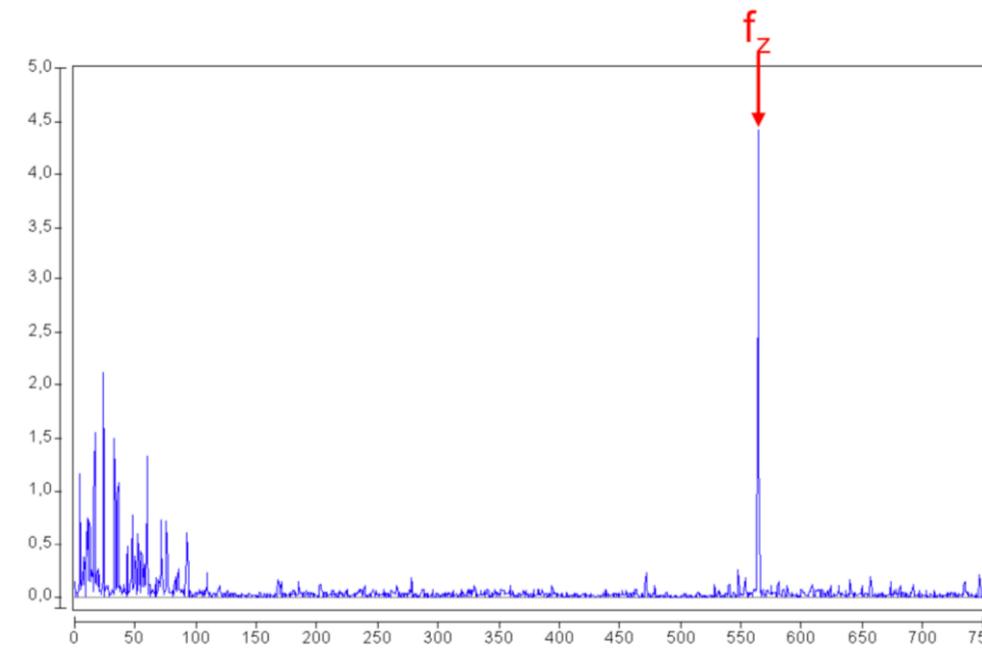
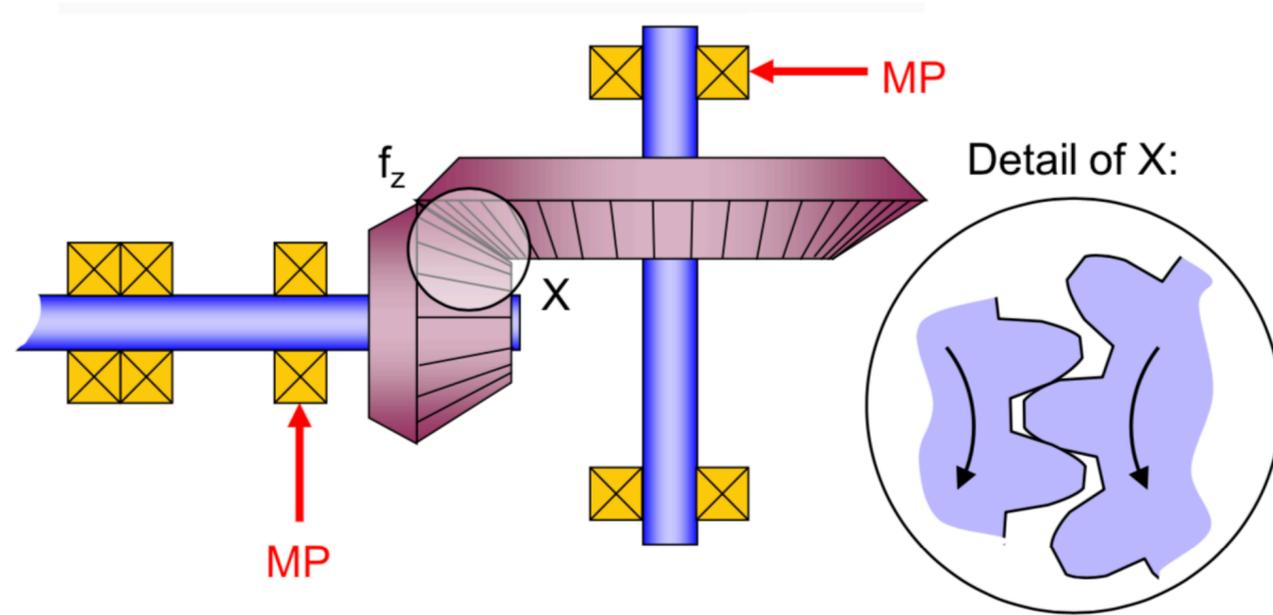
Rottura di un dente



**Eccentricità
o
Albero piegato**



**Ingranamento
Errato**



Forma dente errata

Attenzione ai rotismi epicicloidali!

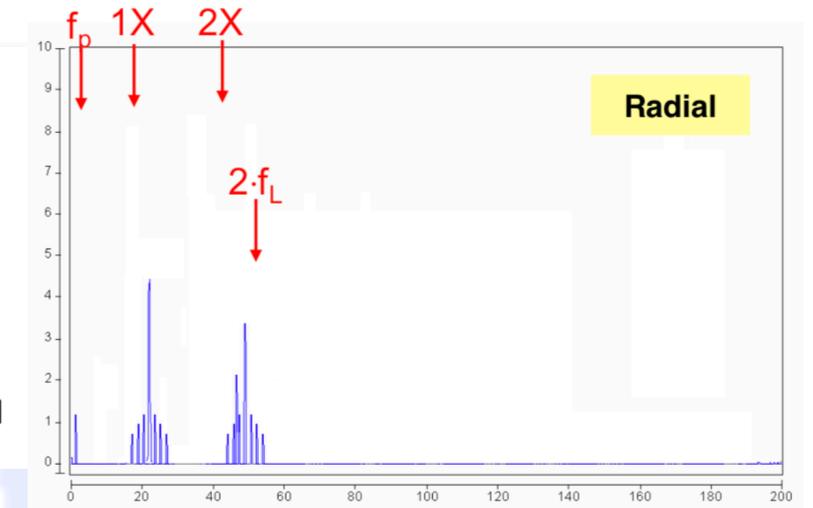
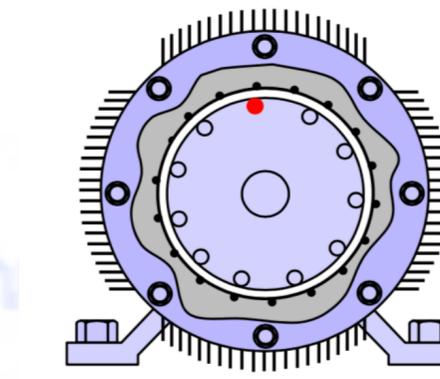
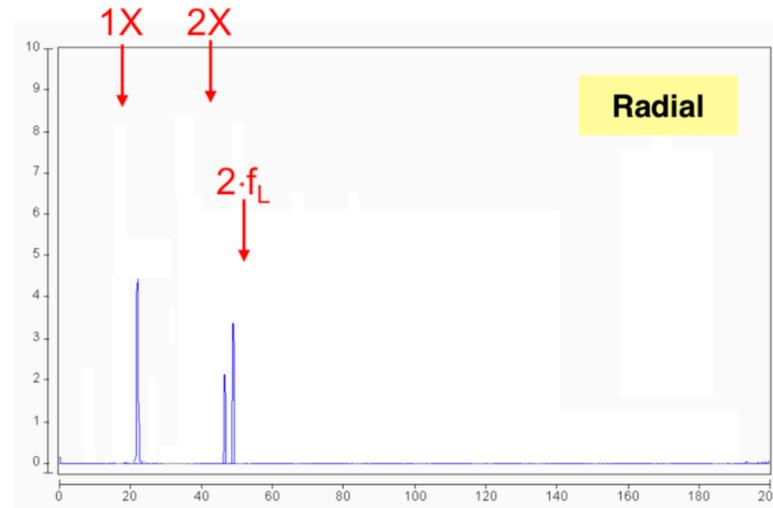
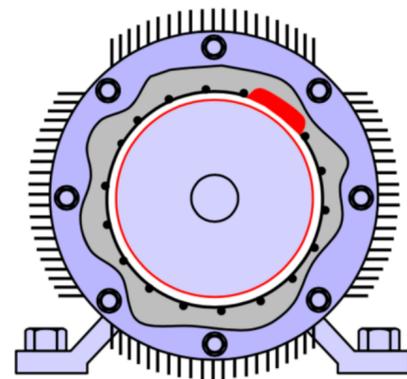
Le velocità di rotazione che determinano le frequenze di danno devono essere opportunamente corrette con la velocità del porta-treno!

Problemi elettrici.. i motori elettrici combinano in loro le frequenze di danno potenziale dipendenti dalle eccitazioni meccaniche e da quelle elettriche

- eccentricità statore
- eccentricità rotore
- barre allentate
- barre troncate
- cuscinetti
- ..

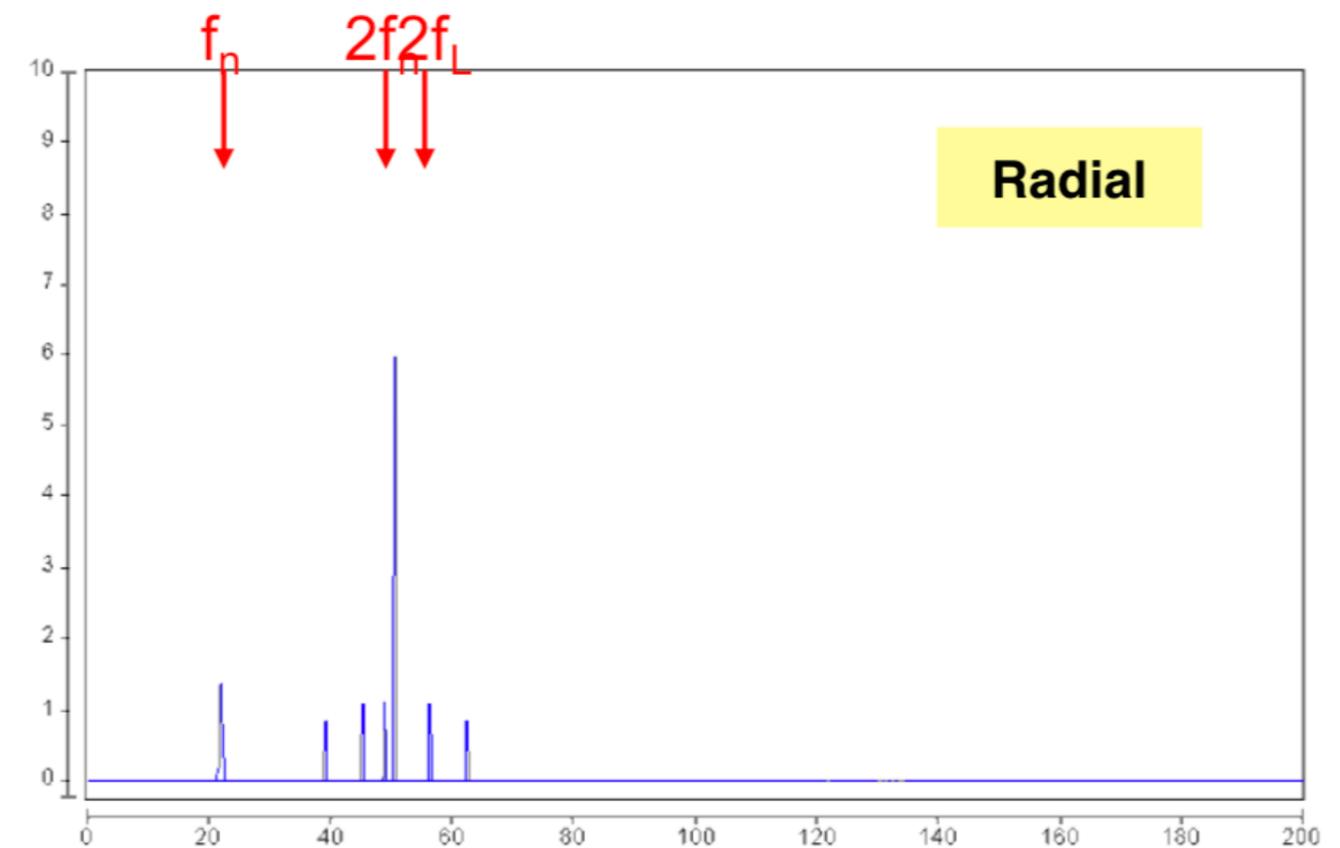
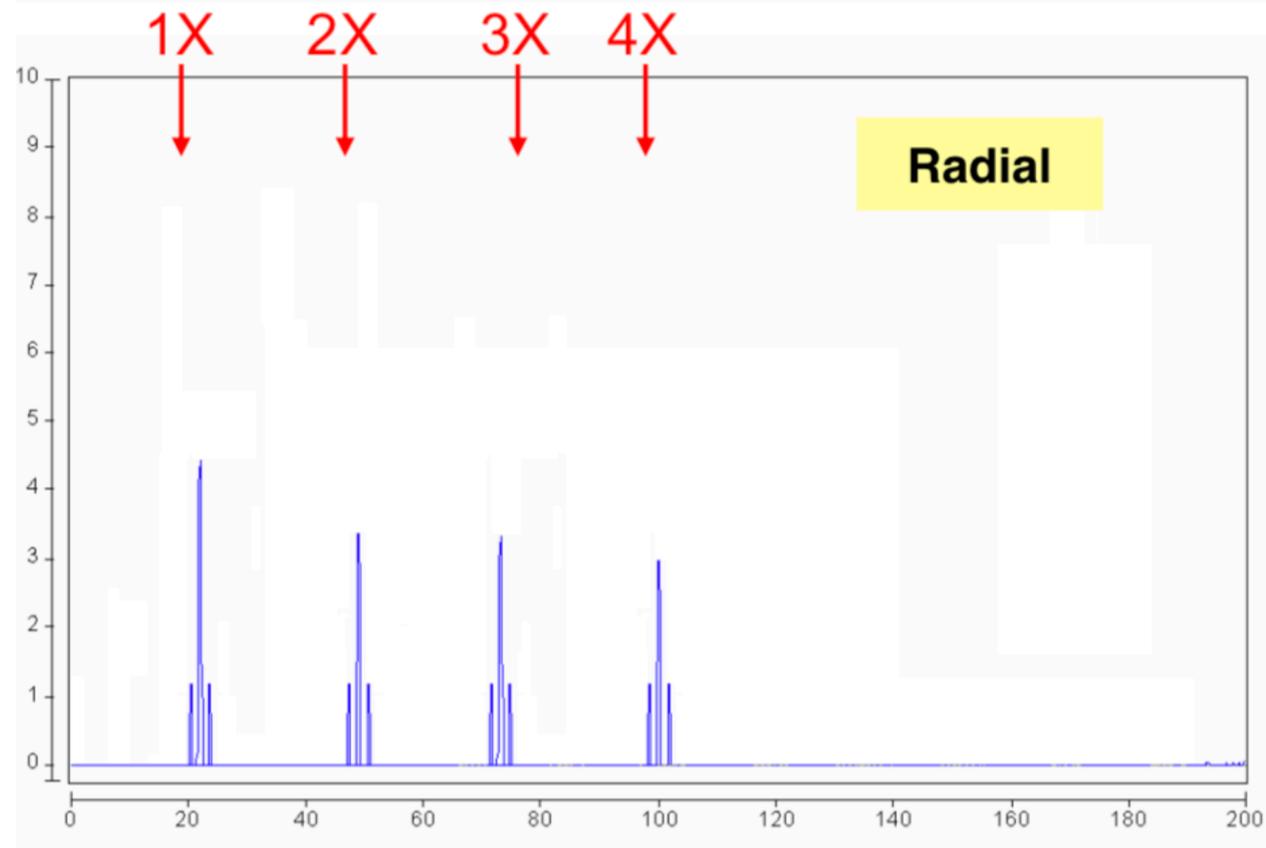
- frequenza di alimentazione f_l
- frequenza di barra (barre) $f_{bar} = f_n * n_{bar}$
- frequenza sincrona $f_{sync} = 2f_l / p$
- frequenze di scorrimento $f_{slip} = f_{sync} - f_n$
- frequenza passaggio poli $f_p = f_{slip} * p$

- frequenza di eccitazione del drive
- tiro magnetico
- cortocircuiti
- ...



Barre rotore rotte o allentate

Connessioni Elettriche allentate

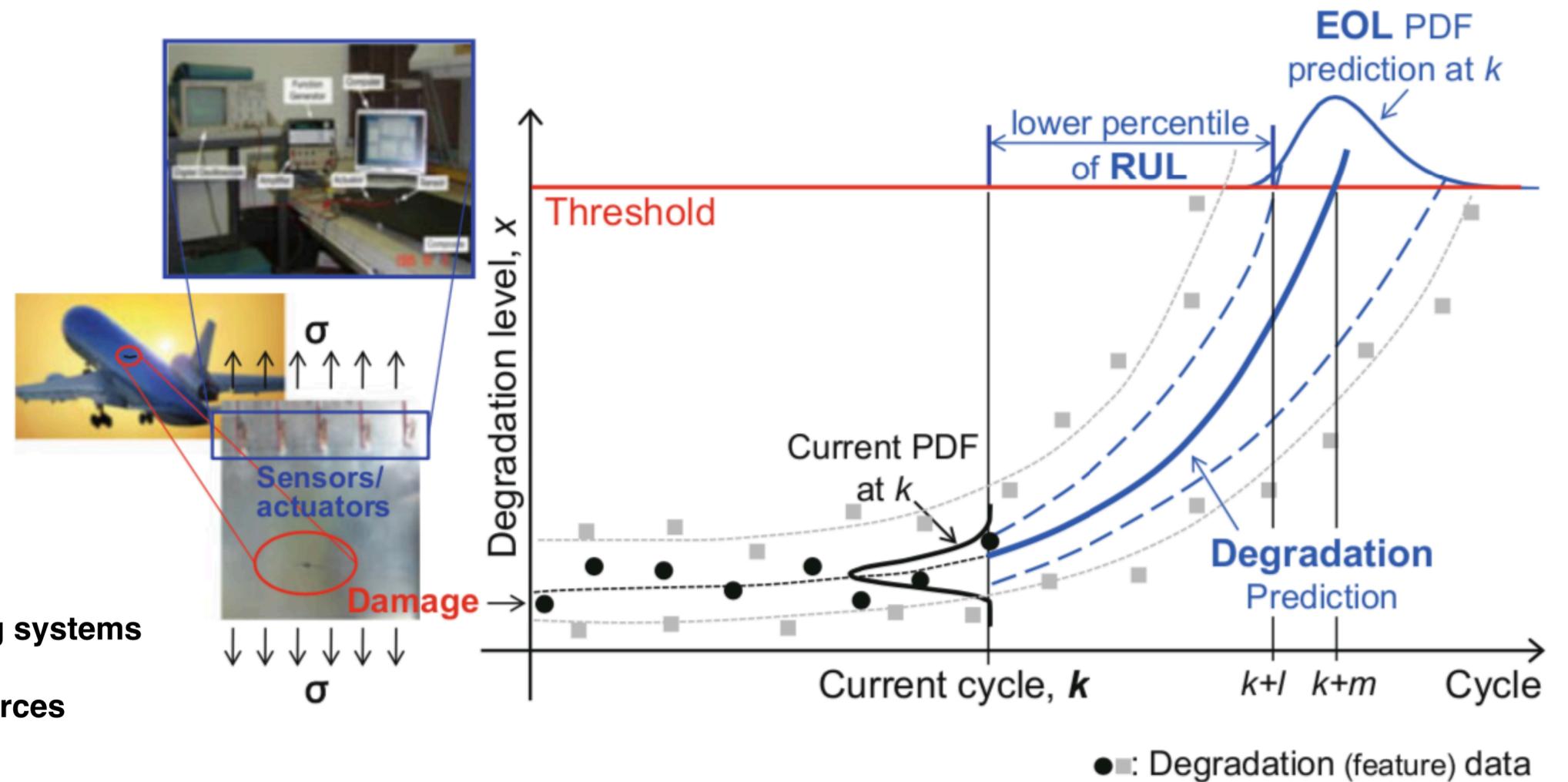


E' vietato ogni utilizzo diverso da quello inerente la preparazione dell'esame del corso di Meccanica delle Vibrazioni @Units
E' espressamente vietato l'utilizzo per qualsiasi scopo commerciale e/o di lucro

..questo è quanto per un quadro generale sulla **diagnosi** del macchinario basata sull'analisi delle vibrazioni

Quanto manca per dover mantenere/cambiare il pezzo?

Si apre tutto un altro mondo..la **prognosi** del macchinario, ma è un altro corso!



*Prognostic and health management of engineering systems

Nam-Ho Kim, Dawn An, Joo.ho Choi

*Data driven modelling using matlab in water resources

and environmental engineering

Shahab Araghinejad

