

Unità di misura

Le unità di base utilizzate in questa presentazione per descrivere le forze vibratorie e i moti sono:

Newton (N)

Chilogrammo (chilogrammo)

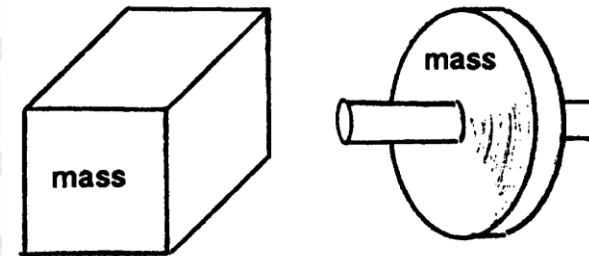
Metro (m)

Secondo/i

Le frequenze sono espresse in cicli/minuto (cpm), cicli/secondo (hz) o ordini

La velocità dell'albero è espressa in giri al minuto (giri/min)

La fase è espressa in gradi (gradi), in cui un giro di un albero o un periodo di vibrazione è di 360°



mass = (volume) (density)

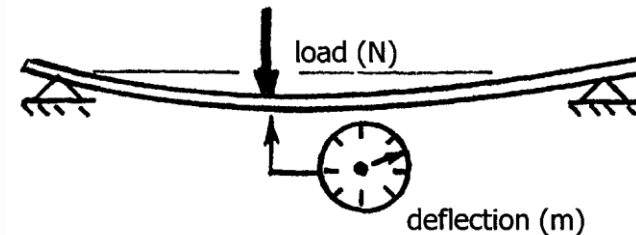
weight = (mass) (g)

or

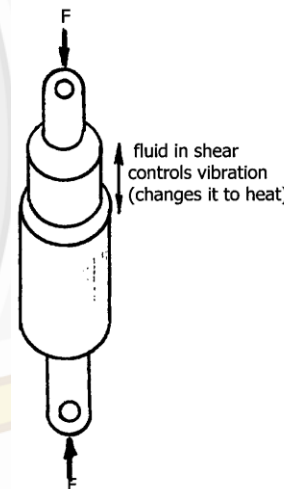
mass = weight/g

mass = kilograms

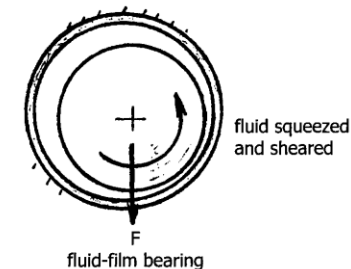
**g = gravitational constant
= 9807 mm/s²**



**stiffness = load (N)/deflection (m)
= N/m.**



damping = force (N)/velocity (m/s)

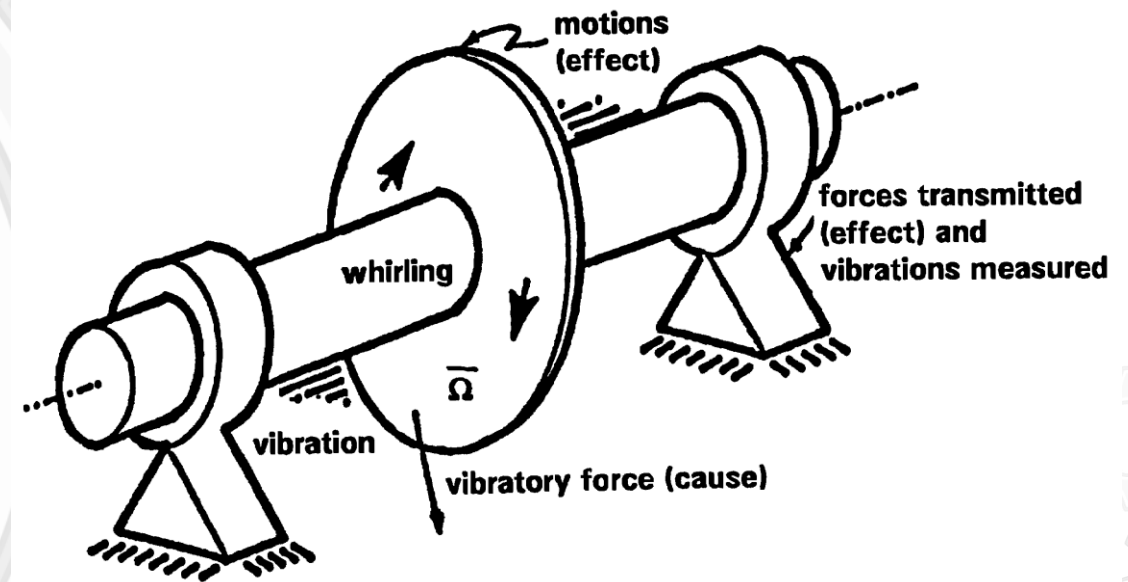


Unità di misura

$$F=ma \quad \vec{F}=m\vec{a}$$

Le ampiezze del movimento di vibrazione sono comunemente descritte utilizzando le seguenti unità:

- Spostamento, micrometri (μm)-da picco a picco
- Velocità, millimetri/s mm/s-picco o RMS
- Accelerazione, G's-Peak o RMS ($9.807 \text{ ms}^2 = 1\text{g}$)



Movimento armonico

La frequenza è definita come il numero di cicli o eventi per unità di tempo. Le unità di misura per la frequenza sono hz (cps), cpm e ordini.

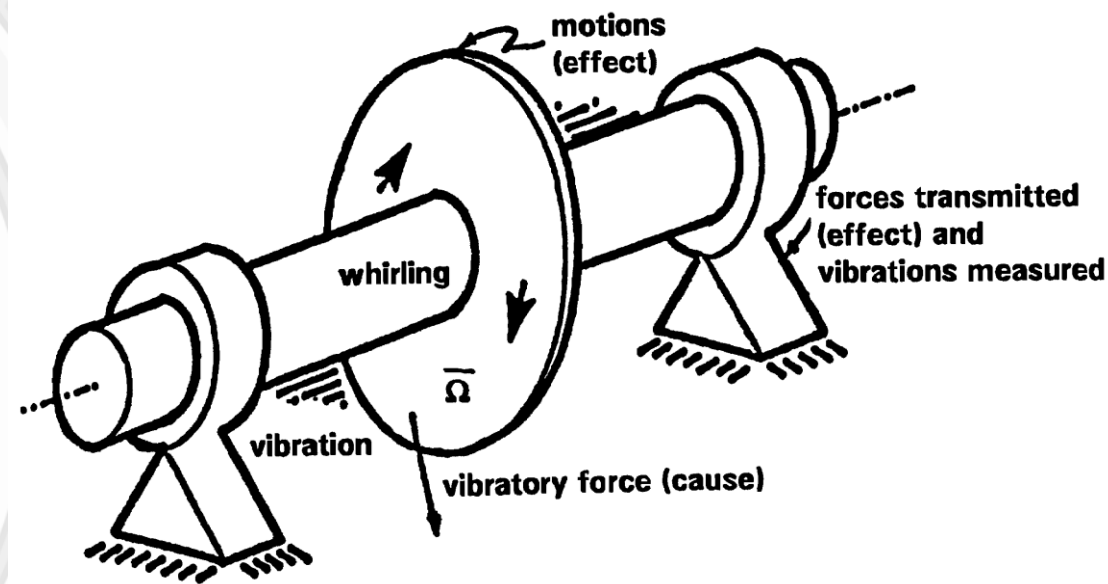
Il periodo (τ) è il tempo necessario per un ciclo.

$$T = \text{secondi/ciclo}$$

$$f = 1/\tau = \text{cicli/secondo}$$

Il periodo viene solitamente misurato in millisecondi (1.000 millisecondi al secondo).

Il moto armonico ha una sola frequenza.



Movimento periodico

Un moto che si ripete a intervalli di tempo uguali è considerato periodico.

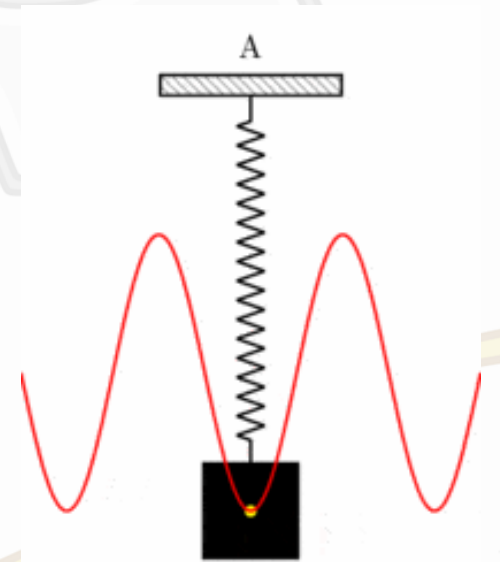
Il moto periodico può essere scomposto in un certo numero di moti armonici.

Esempio:

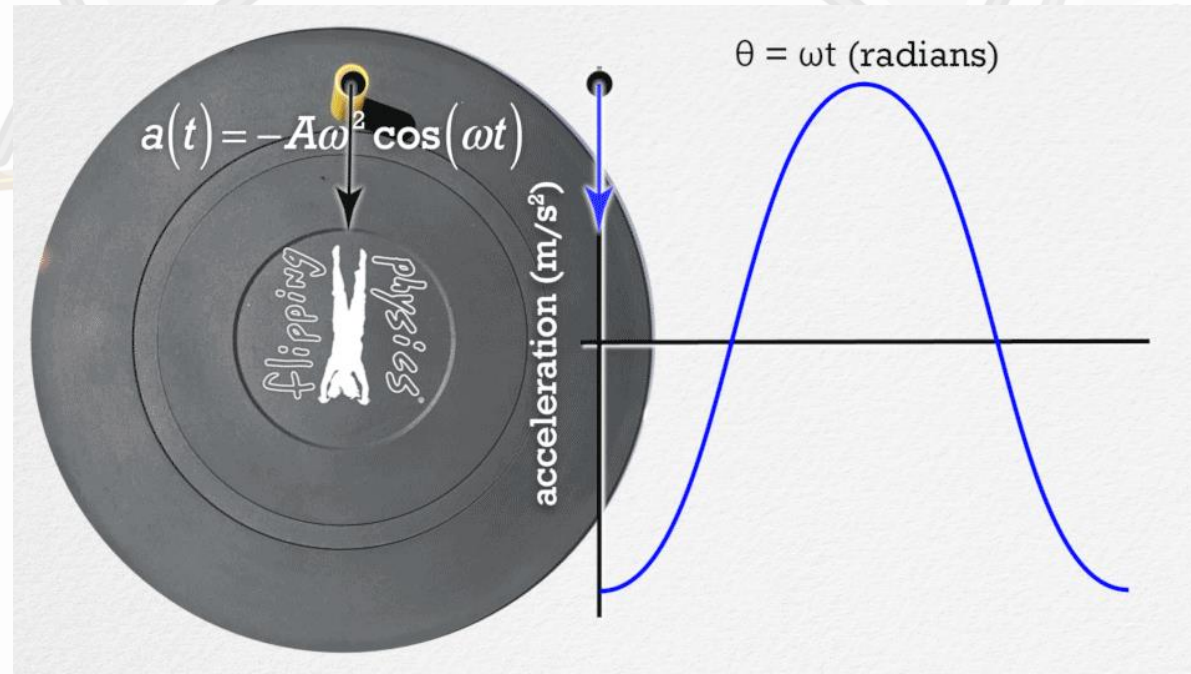
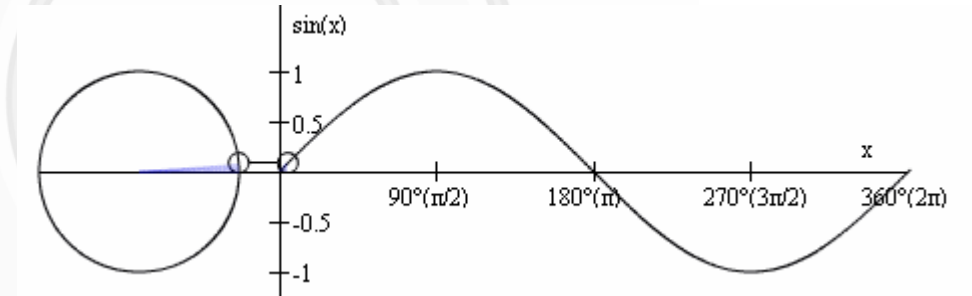
$$11,899 \text{ ms/ciclo} = 0,01189 \text{ s/ciclo}$$

(1.000 ms = 1 s)

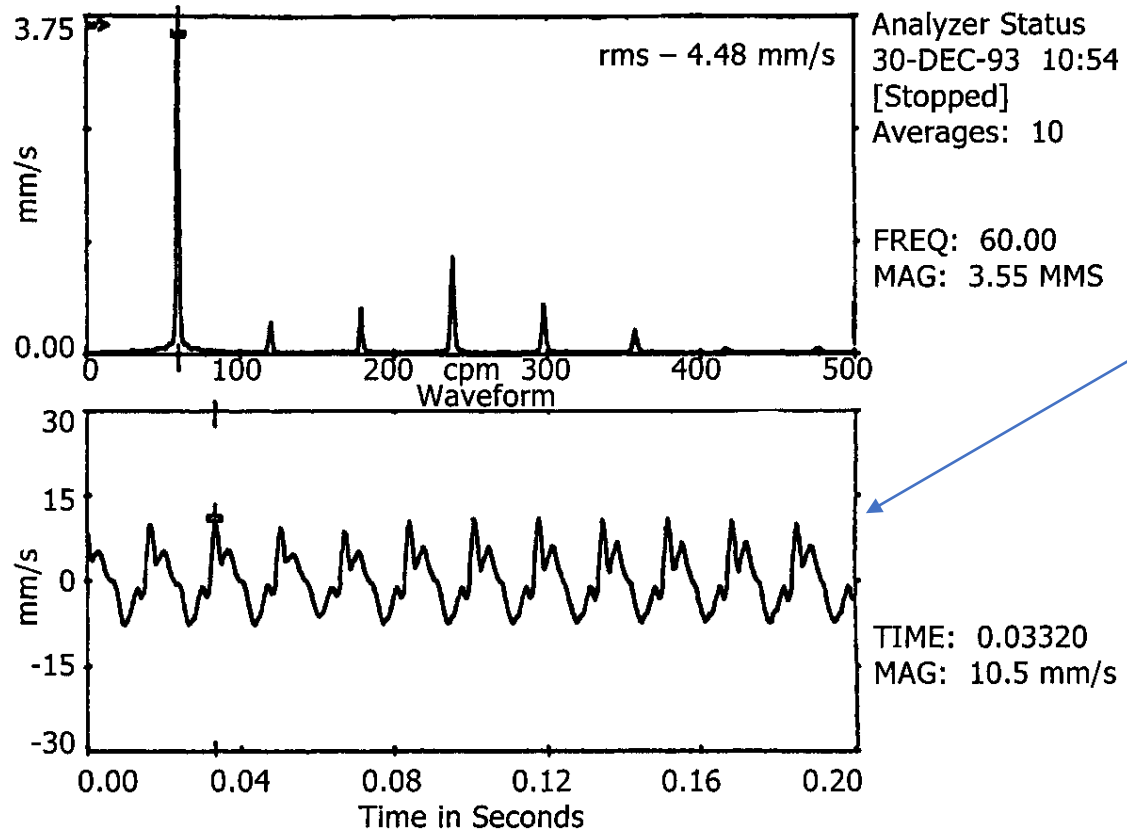
$$f = 1 \text{ ciclo} / 0,01189 \text{ s} = 84,04 \text{ Hz} = 5.042 \text{ cpm}$$



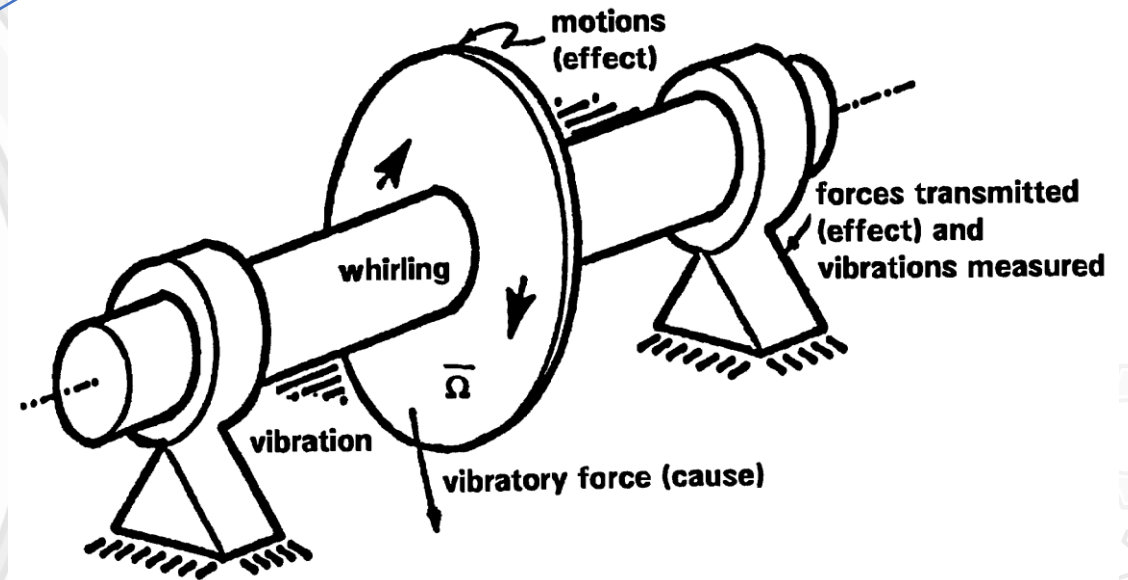
Movimento periodico



Movimento periodico



Esempio di movimento periodico



Ampiezze

L'ampiezza è il livello di vibrazione in un campione di dati.

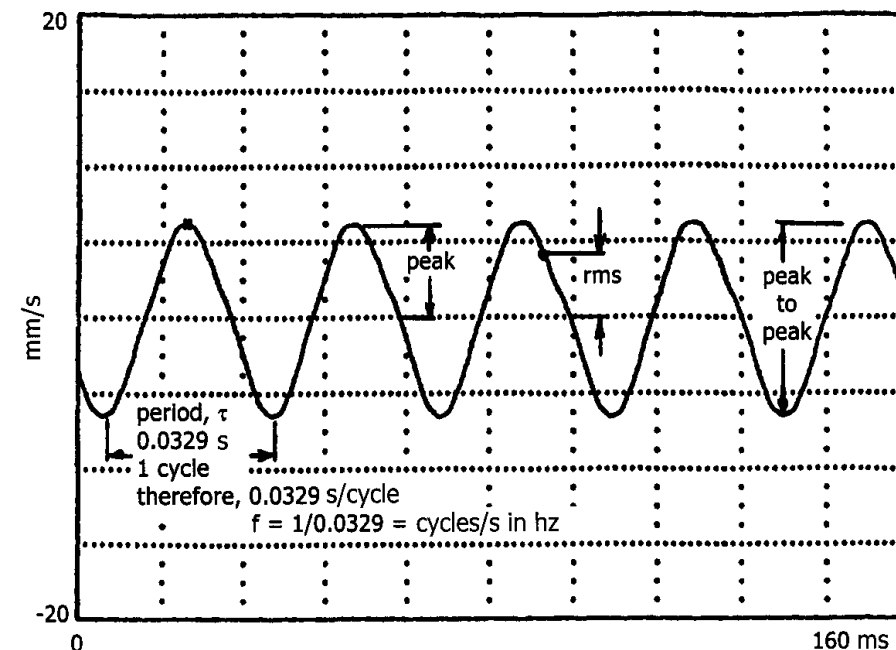
L'ampiezza di picco è il valore più grande, positivo o negativo, in un campione di dati.

L'ampiezza da picco a picco è l'escursione massima di un ciclo di vibrazione misurata su picchi positivi e negativi adiacenti

Il valore di RMS è la radice quadratica media dello spettro

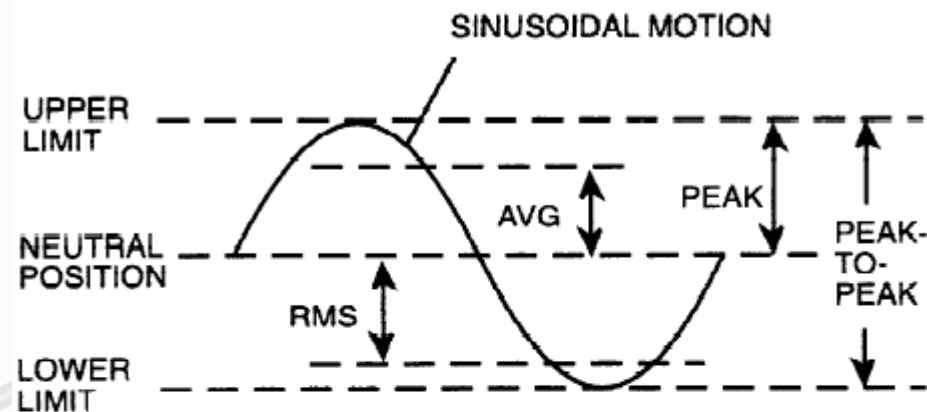
$$\text{RMS} = .707 \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots V_n^2}$$

V = Ampiezza dei picchi spettrali



Ampiezze

Tabella di conversione valutazione ampiezze

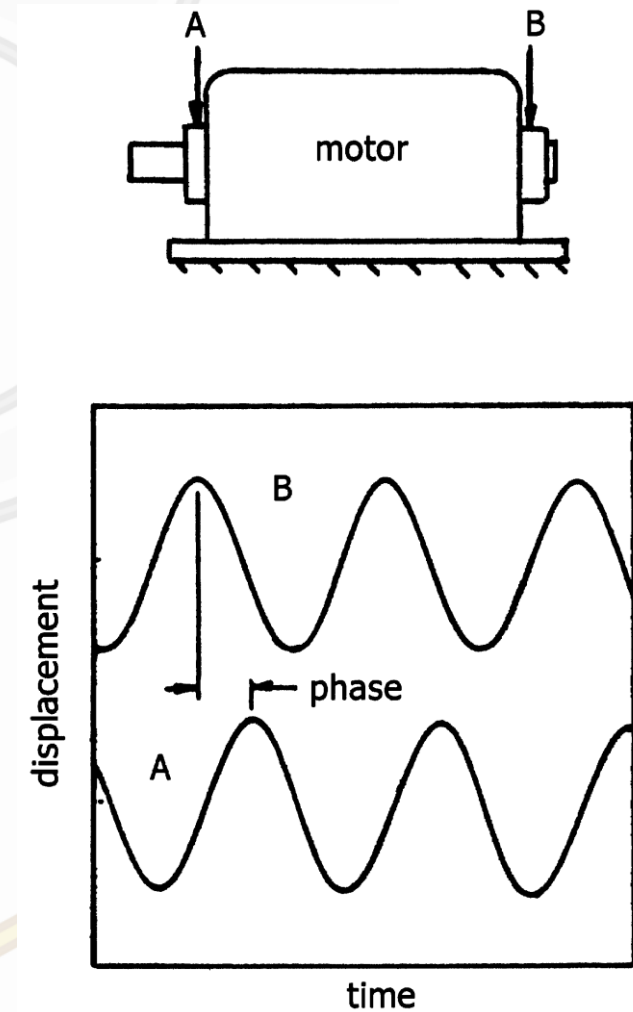


MULTIPLY NUMBER OF BY TO OBTAIN	PEAK-TO-PEAK	PEAK	RMS	AVERAGE
PEAK-TO-PEAK	1.000	2.000	2.828	3.142
PEAK	.500	1.000	1.414	1.571
RMS	.354	.707	1.000	1.5
AVERAGE	.318	.636	.900	1.000

Fase

La fase è la relazione temporale tra vibrazioni della stessa frequenza o tra una forza e una vibrazione della stessa frequenza.

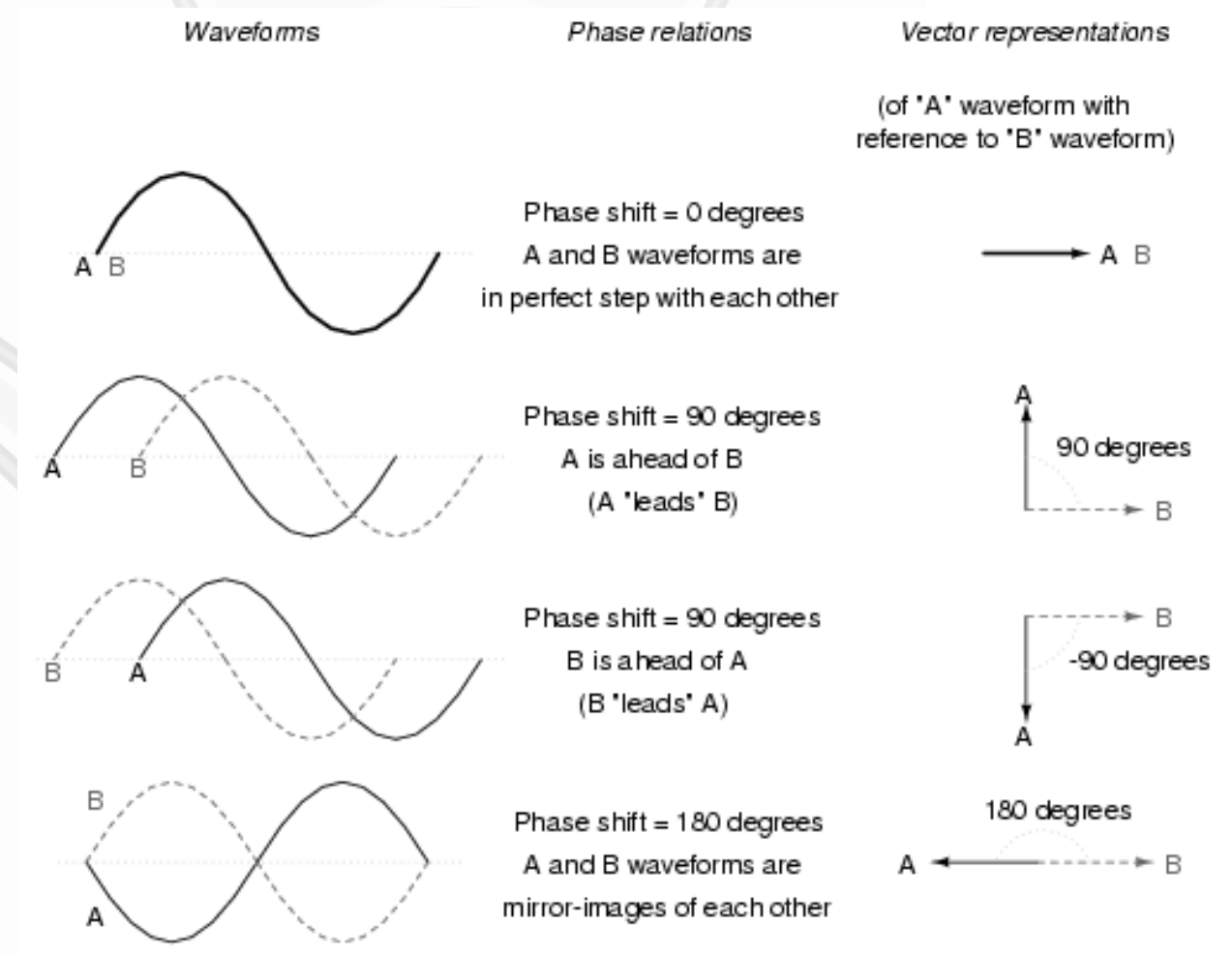
In genere viene misurato in gradi di rotazione dell'albero o come ritardo temporale.



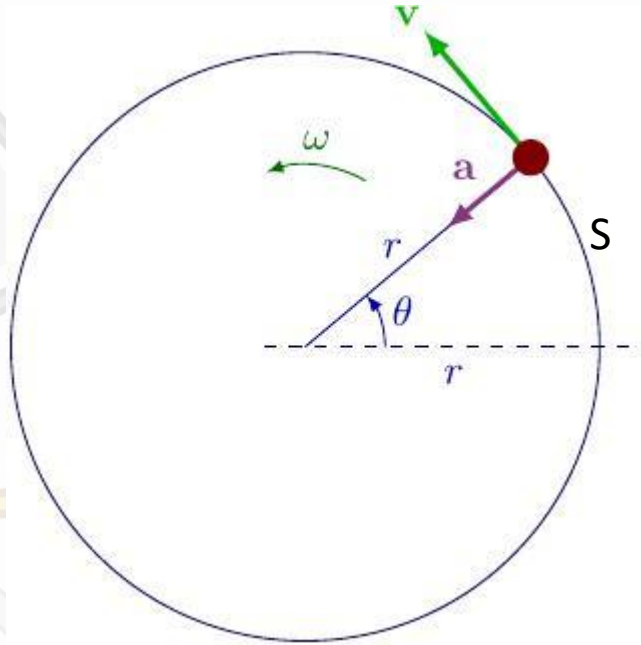
Fase

La fase è la relazione temporale tra vibrazioni della stessa frequenza o tra una forza e una vibrazione della stessa frequenza.

In genere viene misurato in gradi di rotazione dell'albero o come ritardo temporale.



Fase



$$F = 1/T = \omega/2\pi$$

$$\theta = \omega t = 2\pi f t$$

$$\text{Circonferenza} = 2\pi r$$

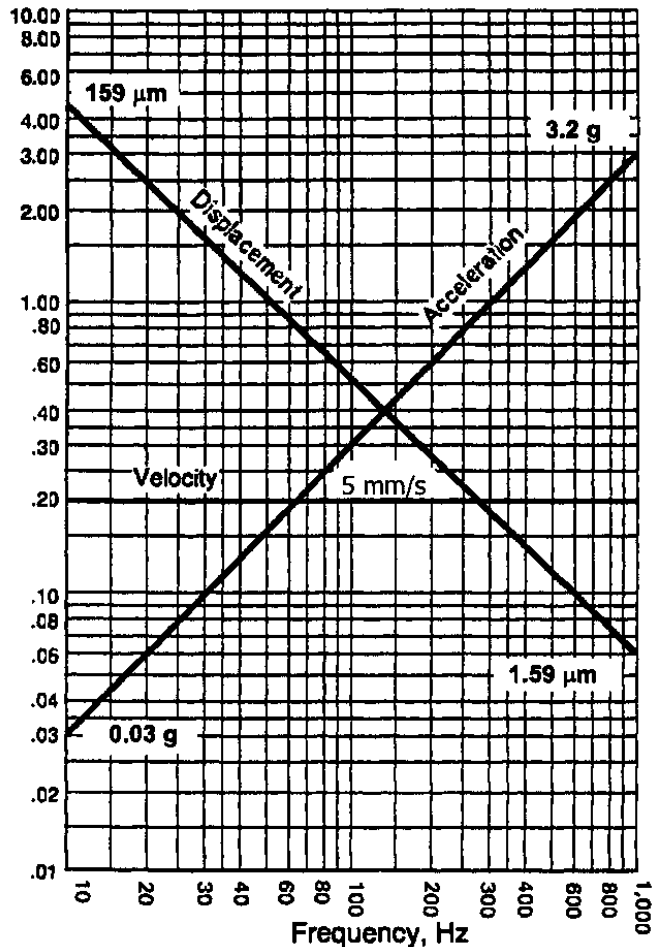
$$\text{Spostamento} = r\theta = r2\pi f t$$

Misure di vibrazione

Misura	Unità	Descrizione
Spostamento	µm p-p	moto della macchina, della struttura o del rotore, si riferisce alla sollecitazione
Velocità	mm/s	velocità temporale del movimento, si riferisce alla fatica dei componenti
Accelerazione	gs*	si riferisce alle forze in gioco all'interno dei componenti

* $1g = 9807 \text{ mm/s}^2$

Misure di vibrazione



L'accelerazione, picco o rms, viene utilizzata per frequenze superiori a 60.000 CPM (1.000 Hz).

$V = 5 \text{ mm/s @ } 600 \text{ cpm}$

$(A = 0,03 \text{ g})$

$V = 5 \text{ mm/s @ } 60.000 \text{ cpm}$

$(A = 3,25 \text{ g})$

La velocità, di picco o rms, viene utilizzata per frequenze comprese tra 600 cpm (10 Hz) e 60.000 cpm (1.000 Hz).

Lo spostamento viene utilizzato per frequenze inferiori a 600 cpm.

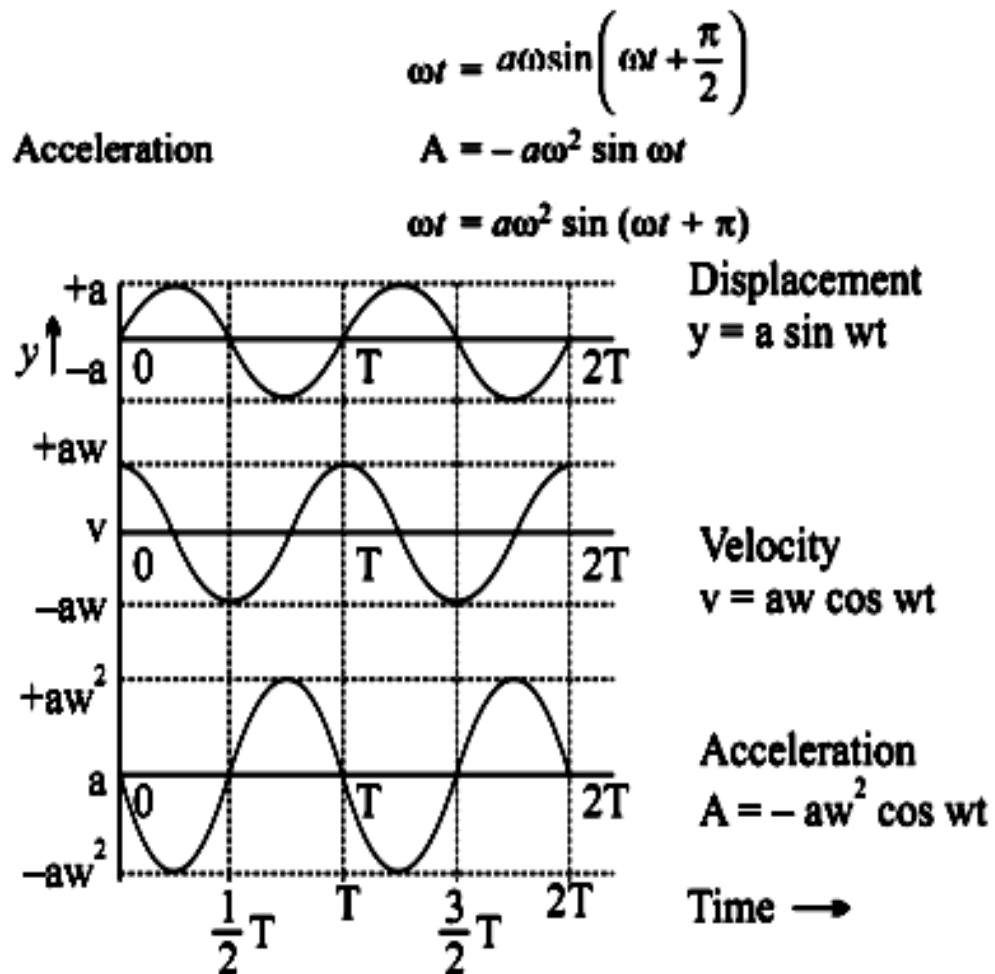
$V = 5 \text{ mm/s @ } 600 \text{ cpm}$

$(D = 159 \text{ μm pk-pk})$

$V = 5 \text{ mm/s @ } 60.000 \text{ cpm}$

$(D = 1,59 \text{ μm pk-pk})$

Misure di vibrazione



Velocità = $2 \pi f D$

Accelerazione = $2 \pi f V$ o $(2 \pi f)^2 D$

D = spostamento di picco, mm

$D = V / 2 \pi f$ (il valore si moltiplica per 2 per avere il pk-pk)

f = frequenza, cicli/s

V = velocità, mm/s

A = accelerazione, mm/s²

(dividere per 9807 mm/s²/g per ottenere l'accelerazione in g)

Misure di vibrazione

ESEMPIO 1.1

Convertire uno spostamento di 50 μm picco in picco a 1.775 cpm in velocità in mm/s di picco

50 μm pk-pk = 0,025 mm pk

$f = 1.775 \text{ cpm}$; $f = 1.775 \text{ cpm}/60 = 29,58 \text{ Hz}$

Allora $V = 2 \pi f D$

$V = (6,28) (29,58) (0,025) = 4,64 \text{ mm/s}$

Misure di vibrazione

Esempio 1.2

Convertire una velocità di picco di 3,75 mm/s (0-pk) a 6.000 hz in accelerazione in gs rms

$$A = 2 \pi f V$$

$$A = (6,28) (6.000 \text{ hz}) (3,75 \text{ mm/s di picco})$$

$$A = 141.300 \text{ mm/s}^2$$

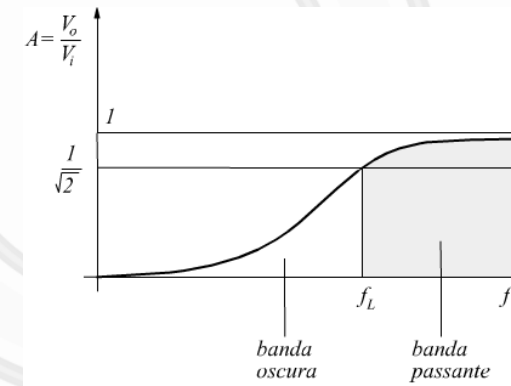
$$A = 11411,300/9807 = 11,63 \text{ gs di picco}$$

$$A = (11,63) (0,707) = 8,21 \text{ gs rms}$$

Filtraggio del segnale

Filtro passa alto:

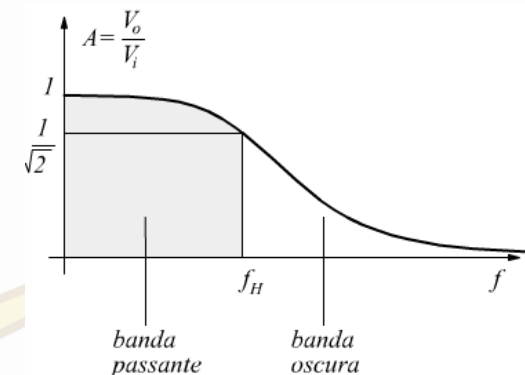
- La frequenza di ginocchio corrisponde con -3dB
- Le frequenze *sopra* la frequenza di ginocchio non sono considerate attenuate



Filtro passa alto

Filtro passa basso:

- La frequenza di ginocchio corrisponde con -3dB
- Le frequenze *sotto* la frequenza di ginocchio non sono considerate attenuate

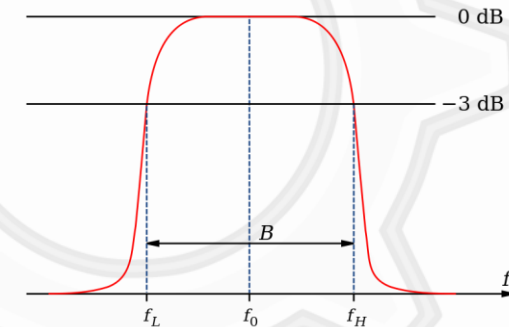


Filtro passa basso

Filtraggio del segnale

Filtro passa banda :

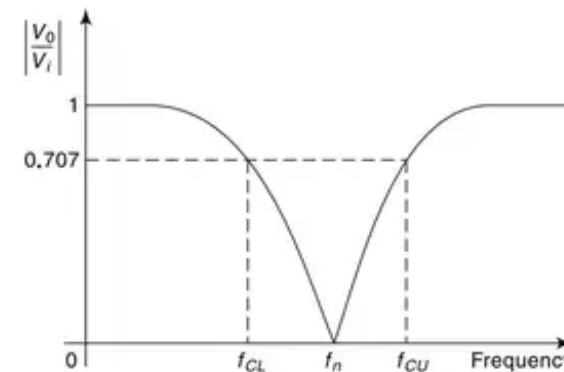
- Si identificano #2 frequenze di ginocchio con -3dB ($1/\sqrt{2}$)
- Le frequenze *all'interno* della banda passante non sono considerate attenuate



Filtro passa banda

Filtro passa notch:

- Si identificano #2 frequenze di ginocchio con -3dB ($1/\sqrt{2}$)
- Le frequenze *all'esterno* della banda passante non sono considerate attenuate



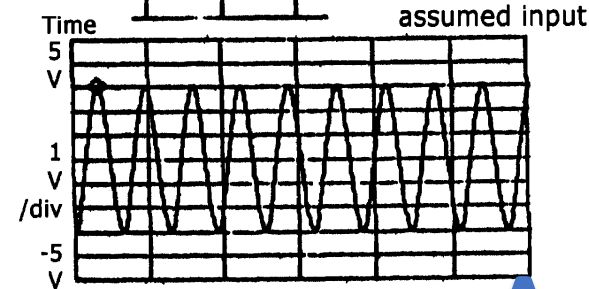
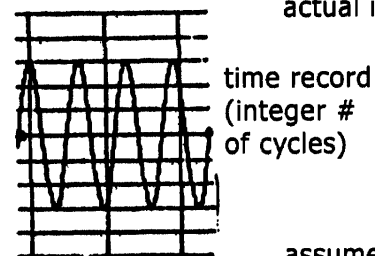
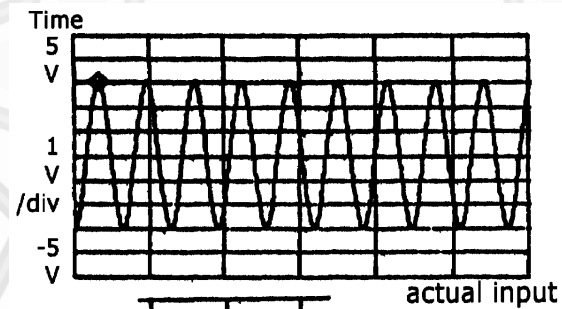
Filtro Notch

Finestratura del segnale

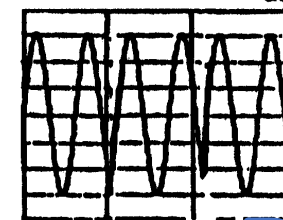
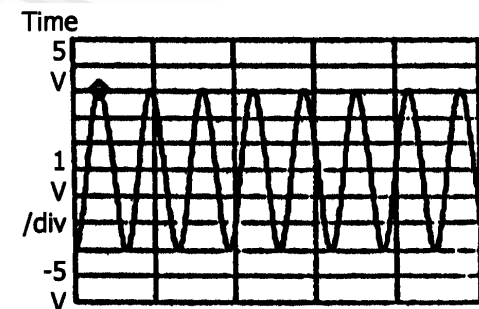
Al fine di permettere una corretta conversione con la FFT si presuppone che il segnale temporale abbia un ciclo intero di campioni nel blocco di acquisizione

Spesso questo non accade pertanto si presentano discontinuità temporali (fig.B) e senza una opportuna modifica al segnale si presenta il fenomeno del

Leakage



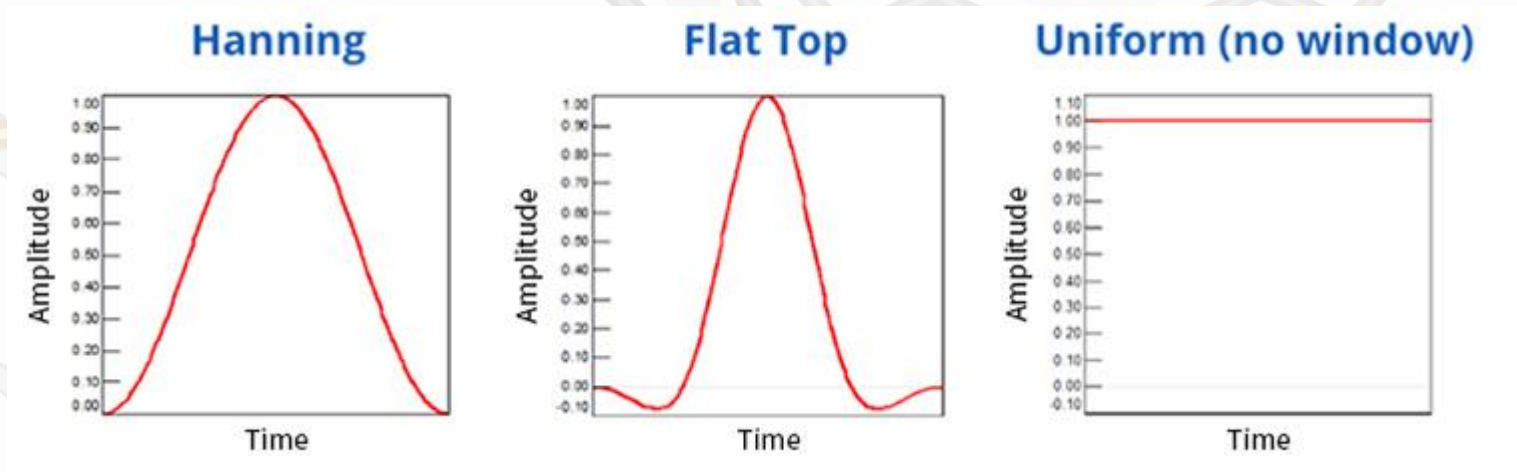
A



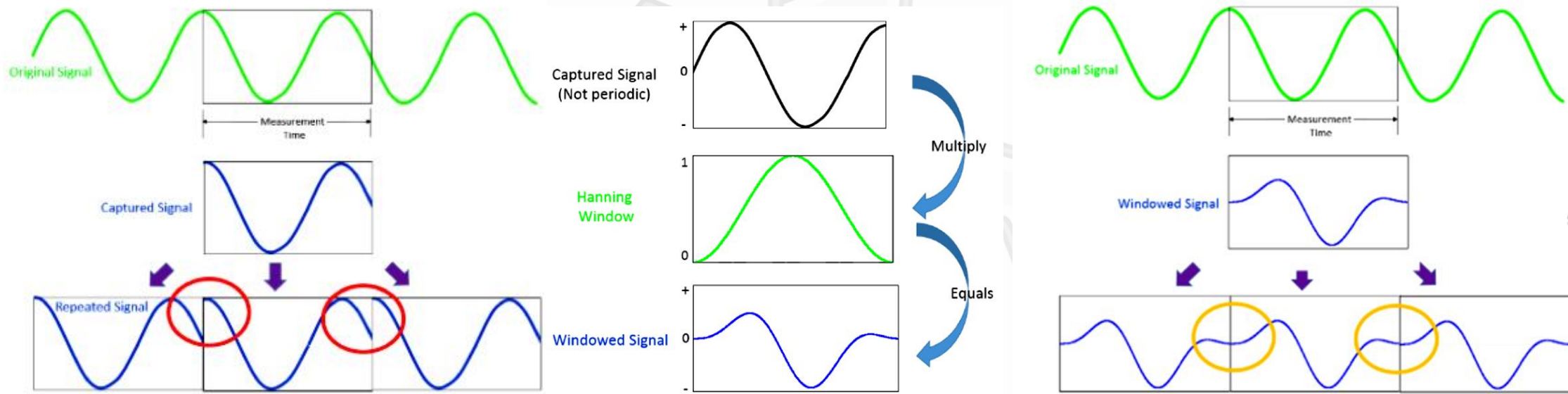
B

Finestratura del segnale

Per evitare discontinuità tra blocchi adiacenti di campionamento si applica al segnale una finestra che forza il segnale agli estremi ad un valore definito (solitamente 0)



Finestratura del segnale



La finestatura evita il problema di leakage ma introduce errori sia di ampiezza che di frequenza

Finestratura del segnale

La finestratura evita il problema di leakage ma introduce errori sia di ampiezza che di frequenza

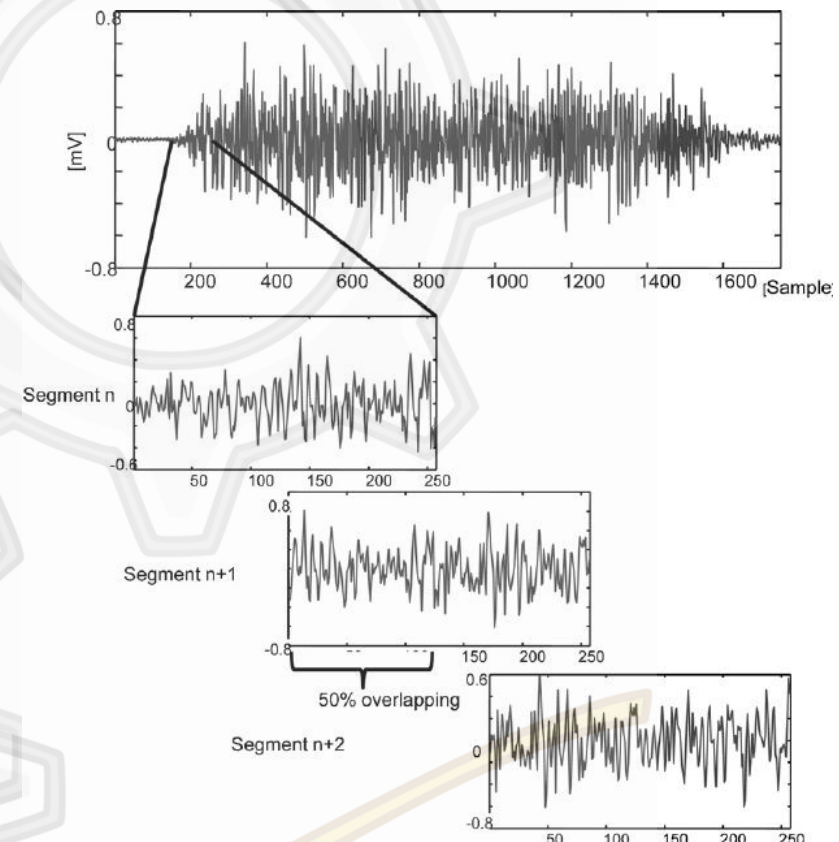
Window	Purpose	Amplitude Uncertainty	Window Factor (WF)
uniform	impact tests	56.5%	1
Hanning	fault analysis	16%	1.5
flat top	condition evaluation	1%	3.8

Mediatura

Il processo di mediatura del segnale permette di migliorare il rapporto tra il segnale e le componenti anomale (rumore) presenti nel segnale stesso

L'overlap (sovrapposizione) permette di limitare il tempo di acquisizione

Ad ogni blocco del segnale viene applicata la finestrazione in modo che la ricostruzione del segnale non produca l'effetto del leakage



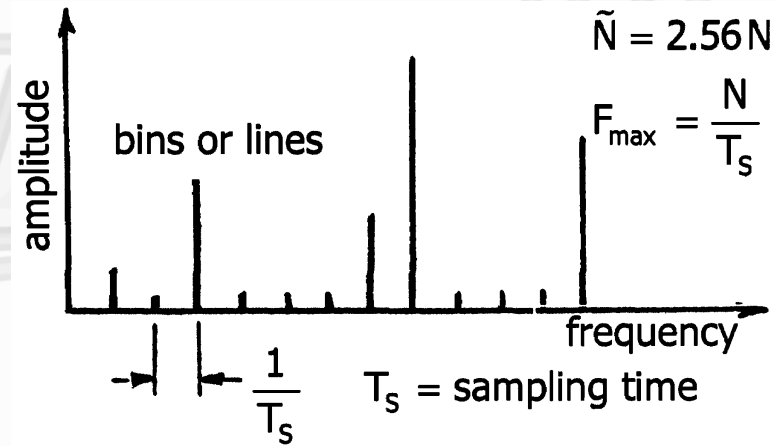
LRF vs Resolution

$$\text{LRF} = \frac{F_{\text{MAX}}}{N}$$

$$F_{\text{MAX}} = 400 \text{ hz}$$

$$N = 800 \text{ Lines}$$

$$\text{LRF} = \frac{400}{800} = \frac{1}{2} \text{ hz}$$



Window	Purpose	Amplitude Uncertainty	Window Factor (WF)
uniform	impact tests	56.5%	1
Hanning	fault analysis	16%	1.5
flat top	condition evaluation	1%	3.8

$$\text{resolution} = 2 \times \text{bandwidth} = \frac{2 \times \text{frequency span} \times (\text{WF})}{\text{number of lines}}$$

$$\text{Risoluzione} = \frac{2 \times 400 \times 1,5}{800} = 1,5$$

Riepilogo

L'oscilloscopio misura le tensioni che variano nel tempo e fornisce una forma d'onda temporale.

La tensione, picco o picco-picco, nella forma d'onda temporale può essere convertita in uno spostamento picco-picco, in una velocità di picco (valore massimo) o in un'accelerazione di picco. La tensione deve essere divisa per il valore di scala del trasduttore; Ad esempio, 100 mV per g per un accelerometro.

Le frequenze di vibrazione possono essere calcolate dal periodo (tempo di ripetizione) della forma d'onda temporale e invertendola.

L'analizzatore FFT visualizza una forma d'onda temporale e uno spettro da un blocco di dati digitalizzato.

I dati FFT vengono visualizzati in linee discrete, centrate in contenitori. Le frequenze tra queste linee non possono essere distinte.

La frequenza risolvibile più bassa è quella sul tempo di acquisizione dei dati.

Riepilogo

La mancanza di periodicità assoluta nella vibrazione provoca il fenomeno di Leakage (armoniche) nello spettro.

Le finestre vengono utilizzate nell'analizzatore FFT per forzare l'inizio e la fine di un blocco di dati da zero.

La finestra di Hanning viene utilizzata nella raccolta dati generale perché è un buon compromesso tra precisione dell'ampiezza e risoluzione in frequenza.

La finestra uniform viene utilizzata per le prove di impatto perché inizia e termina a zero senza compromettere i dati iniziali nel campione.

La precisione di risoluzione determina se le frequenze dello spazio ravvicinato possono essere discretizzate o meno nello spettro.

La risoluzione corretta per una configurazione dell'analizzatore FFT viene calcolata moltiplicando due volte il fattore finestra per il rapporto tra l'intervallo di frequenza e il numero di linee.

Riepilogo

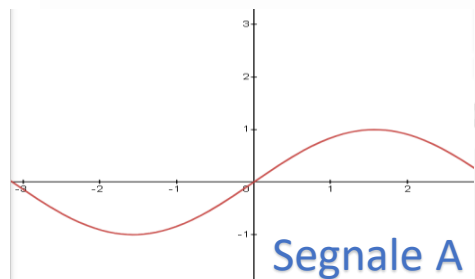
La gamma dinamica riguarda l'ampiezza dello spettro.

Il range dinamico di un analizzatore FFT permette di risolvere piccole ampiezze in presenza di grandi segnali.

La media viene utilizzata per migliorare i dati nella forma d'onda temporale e nello spettro.

Il rumore nello spettro viene mediato statisticamente, non eliminato, dalla media rms.

Segnali temporali



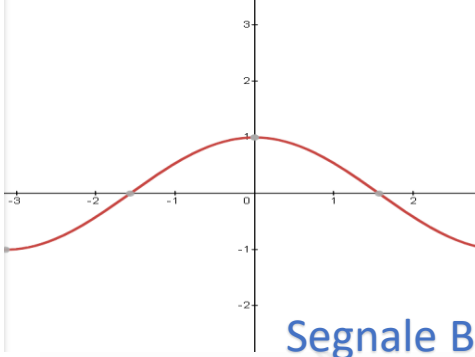
$$\sin x$$

Il segnale temporale rappresenta il reale comportamento della vibrazione sul punto di misura

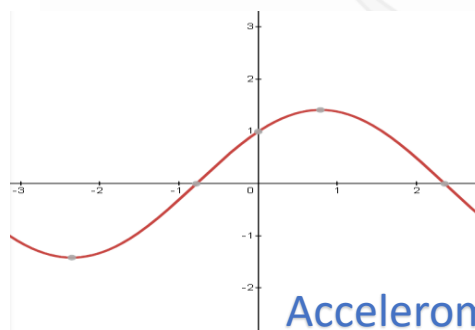
Il segnale temporale acquisito con l'accelerometro è la sommatoria delle forzanti presenti sulla struttura

A differenza dello spettro, il segnale temporale racchiude anche la fase del segnale

L'analisi del segnale ci permette pertanto di conoscere in modo più dettagliato la struttura della vibrazione



$$\sin x + \frac{\pi}{2}$$



$$\sin x + \sin(x + \frac{\pi}{2})$$

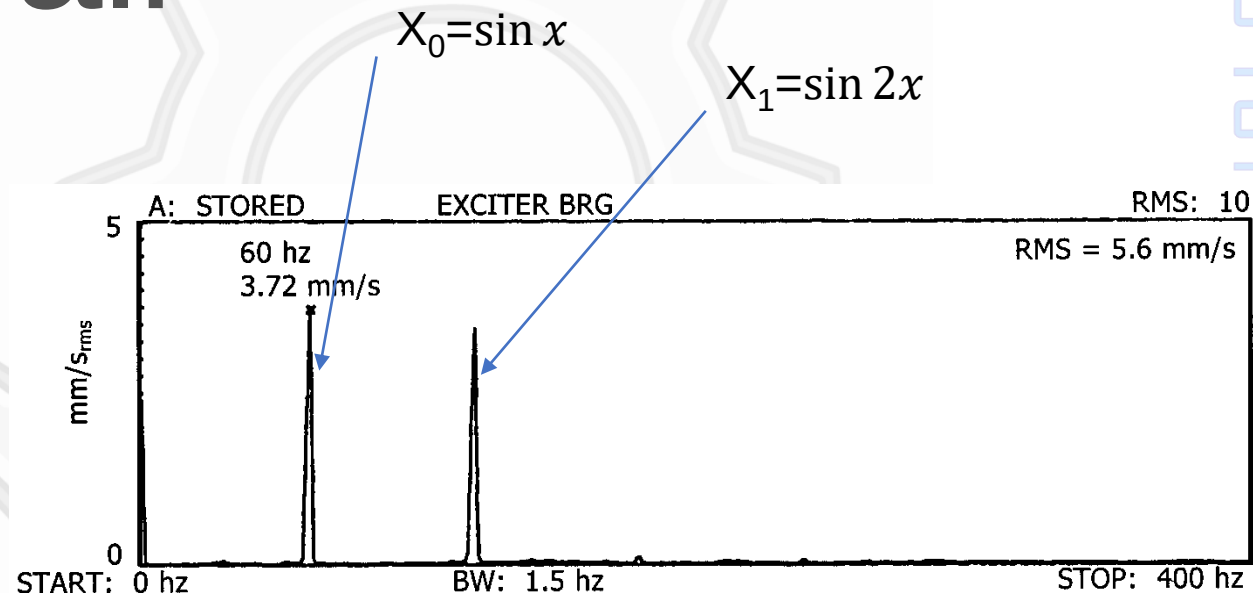
Segnali temporali

Presenza di 2 frequenze una doppia dell'altra

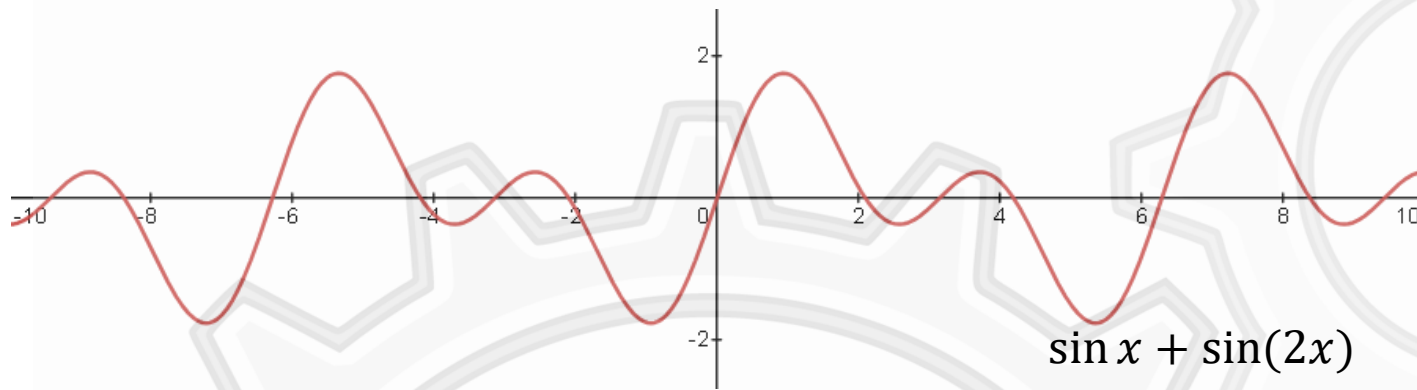
Le due frequenze presentano circa la stessa ampiezza

Nessuna indicazione sulla fase dei segnali

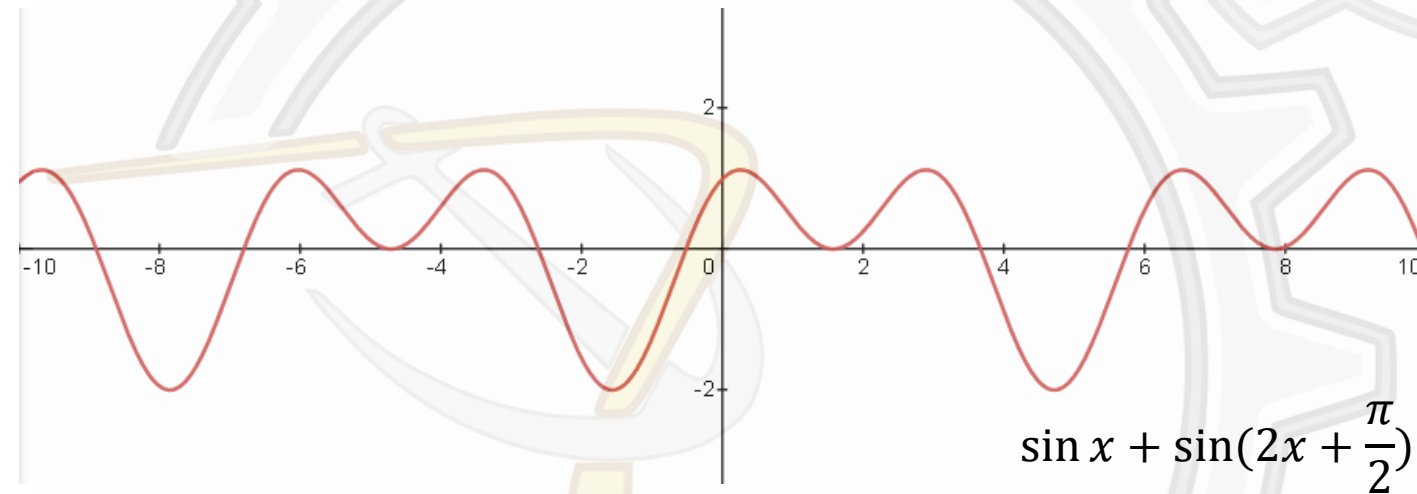
Nessuna indicazione sulla tipologia della forma d'onda



Segnali temporali

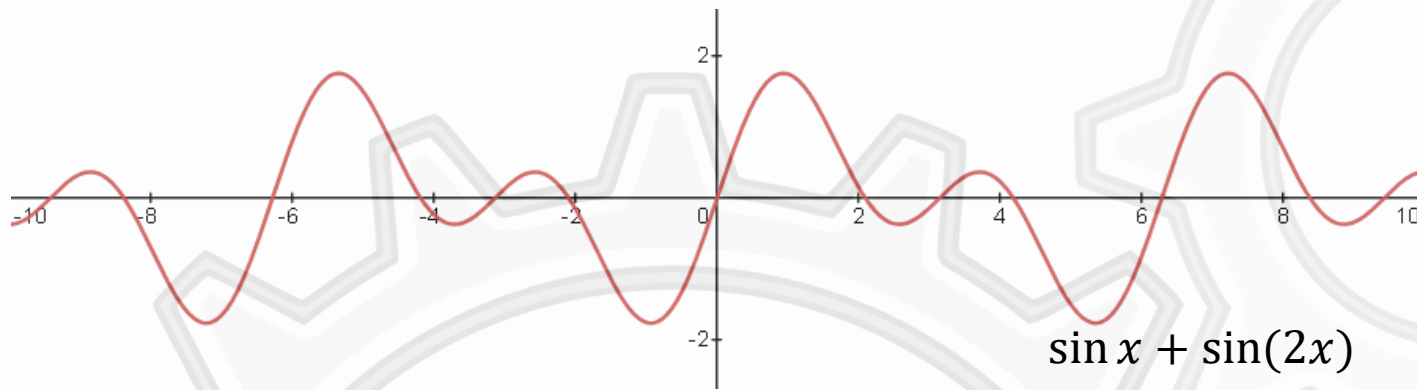


Sfasamento di 90°

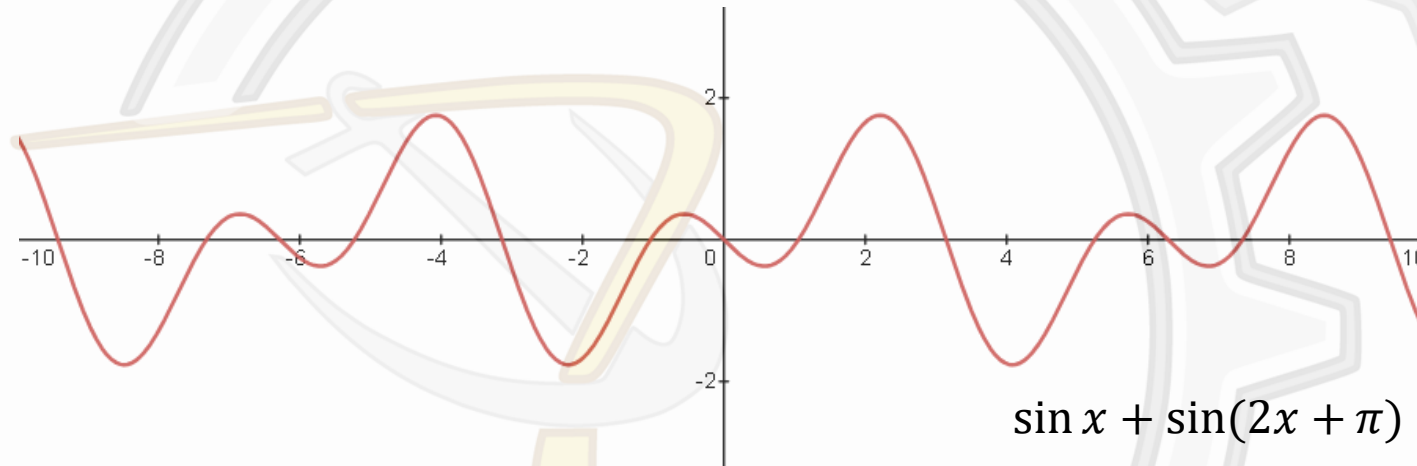


Il segnale temporale rappresenta il reale comportamento della vibrazione sul punto di misura

Segnali temporali

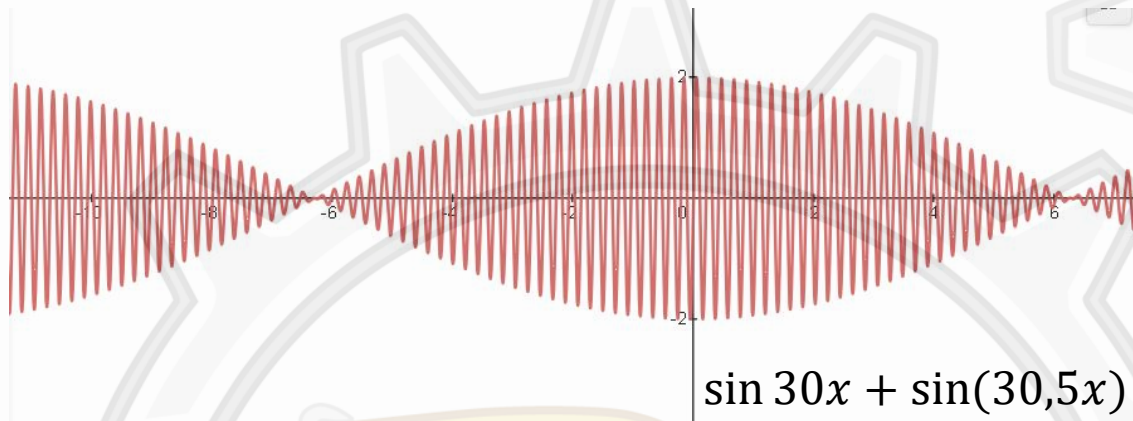


Sfasamento di 180°



Il segnale temporale rappresenta il reale comportamento della vibrazione sul punto di misura

Segnali temporali

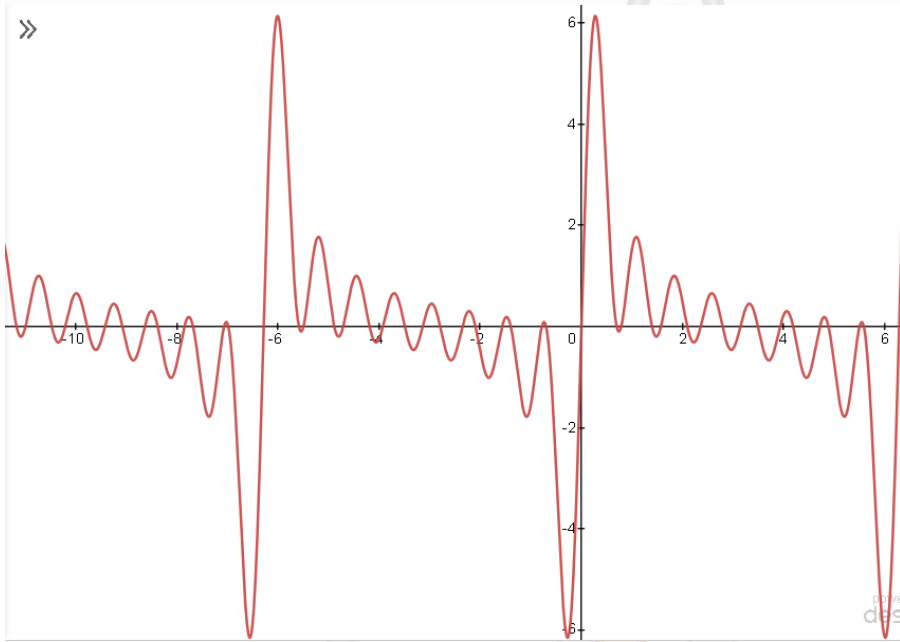


Due frequenze distinte ma in battimento tra loro
(frequenze spettrali vicine)

Fenomeno del Battimento

Si identifica un indice di modulazione

Segnali temporali



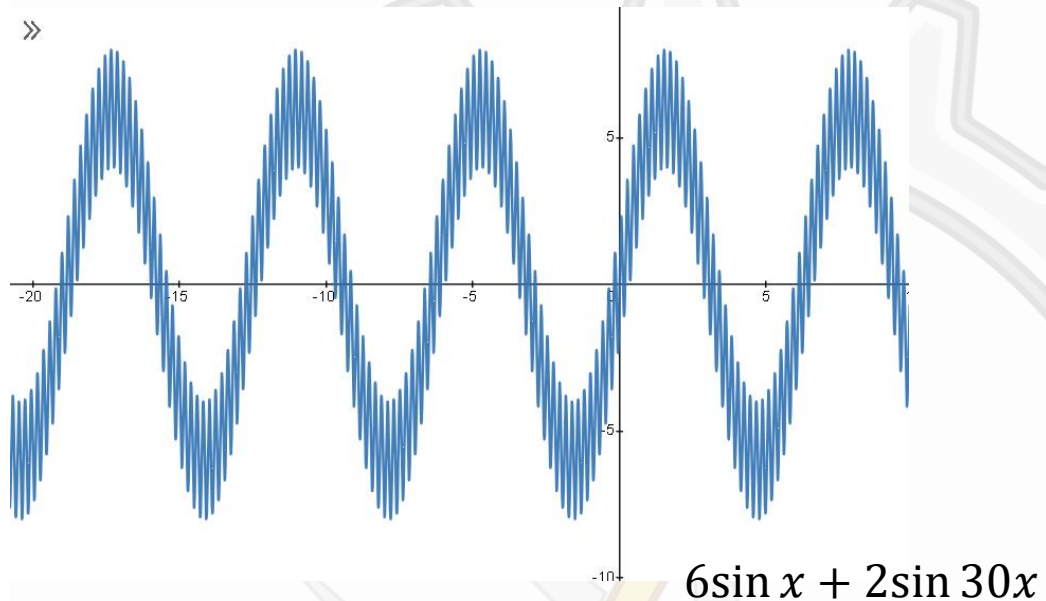
Presenza di armoniche (#8) producono un segnale impulsivo

L'80% dell'energia (circa 6 volte l'ampiezza della fondamentale) è associata in 30° circa della rotazione dell'albero

Segnali impulsivi evidenziano un forte incremento dei valori di Crest Factor

$$\sin 1x + \sin 2x + \sin 3x + \sin 4x + \sin 5x \dots + \sin 8x$$

Segnali temporali



Presenza di due armoniche definite distanti tra loro ma fisicamente collegate

Si evidenzia una frequenza fondamentale a bassa frequenza ($6\sin x$) ed una sovrapposta ad alta frequenza ($2\sin 30x$)

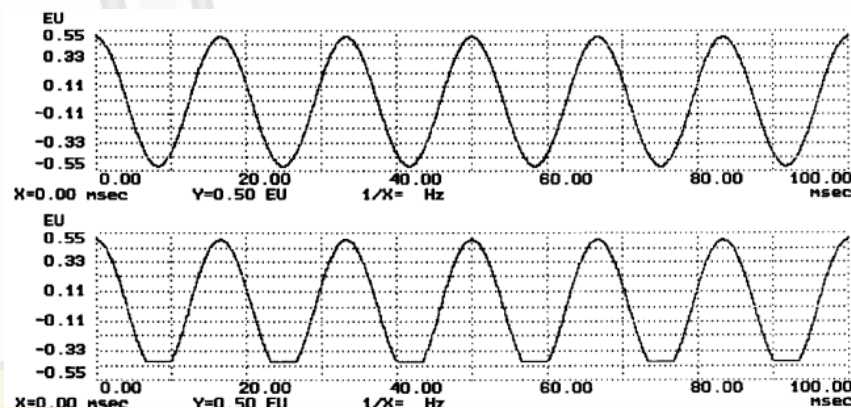
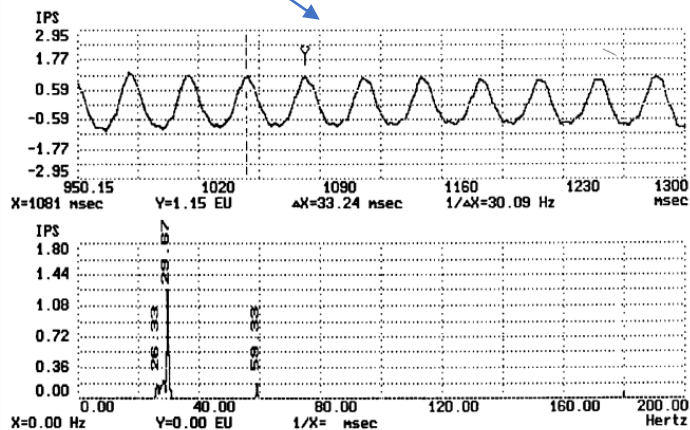
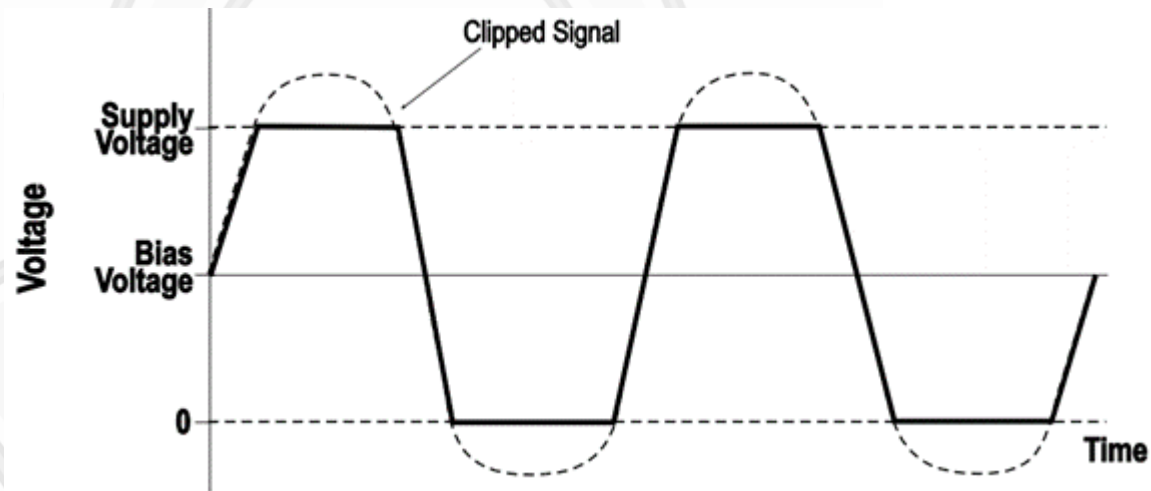
Modifica della vibrazione legata a 1X da parte della variazione di coppia generata dal campo magnetico statorico (slot-passing)

Segnali temporali

Il segnale risulta più ampio del range dinamico impostato

Un segnale troncato comporta armoniche spettrali non reali

Il segnale può essere troncato elettricamente o meccanicamente (rotor rub)



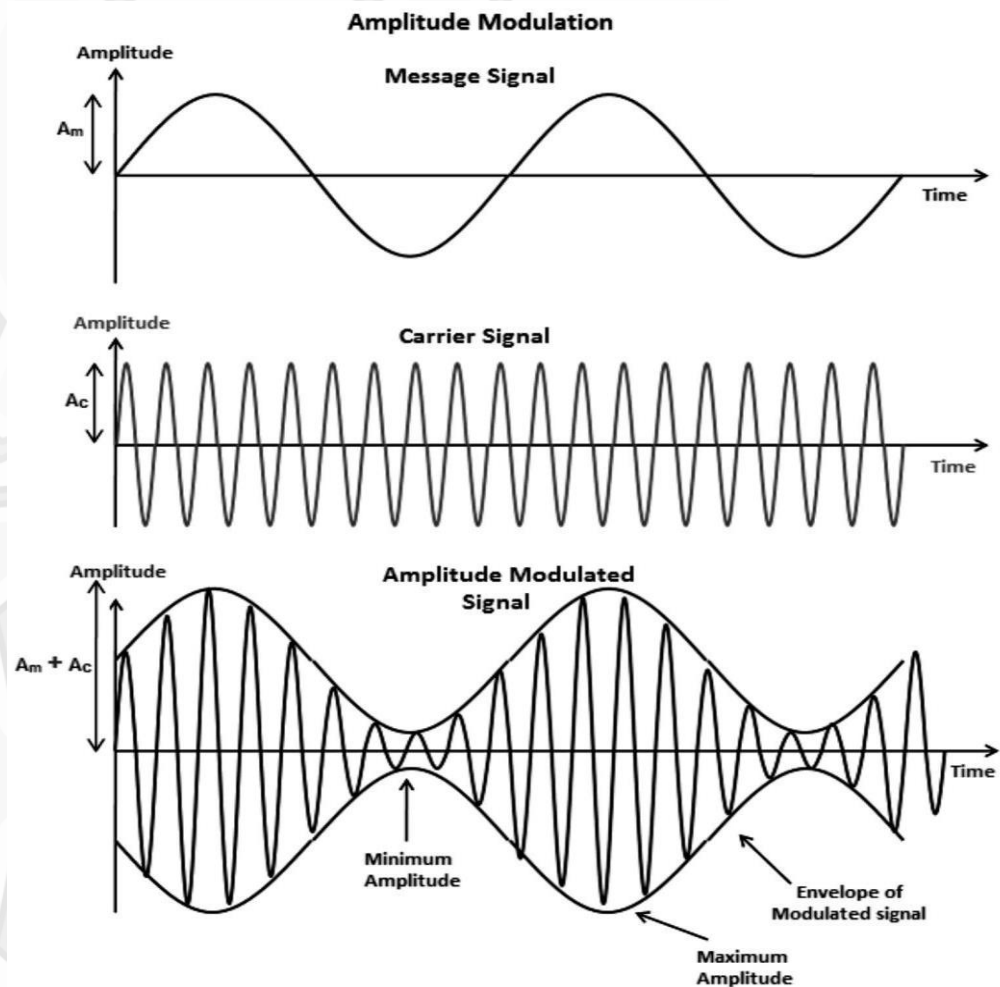
Segnali temporali

Il segnale acquisito è composto da una frequenza principale (detta portante) ed una frequenza secondaria che modifica il segnale della principale (detta modulante)

Una demodulazione del segnale porta alla ricostruzione del segnale originario che ha creato la modulazione

La demodulazione di un segnale modulato in ampiezza viene eseguito mediante un normale [filtro passa basso](#)

Tipico esempio il danneggiamento pista interna di un cuscinetto



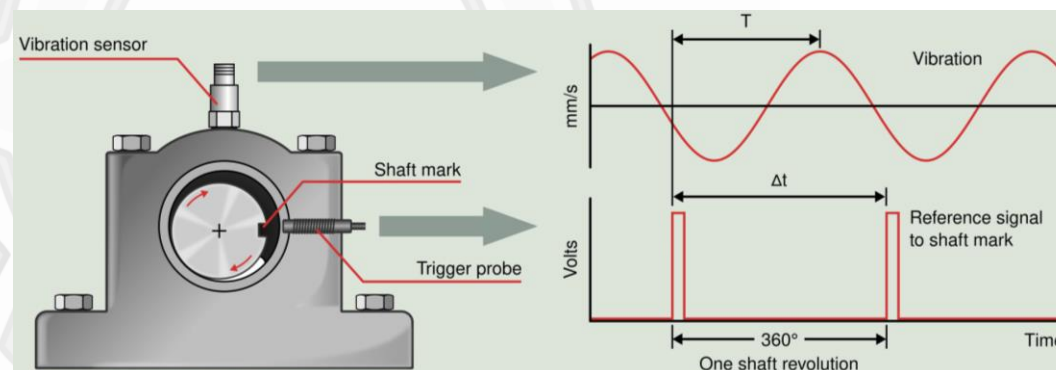
Analisi di fase

La fase tra i due segnali in figura è una relazione temporale rispetto ad una rotazione completa dell'albero

La fase viene solitamente calcolata a partire dall'impulso generato dalla tachimetrica

In figura si vede che l'ampiezza massima di vibrazione acquisita sul sensore mostrato, compare dopo T secondi in seguito all'impulso di trigger (circa 270°)

Questo significa che la misura fatta sul sensore avrà frequenza pari all'inverso del periodo e fase 270°



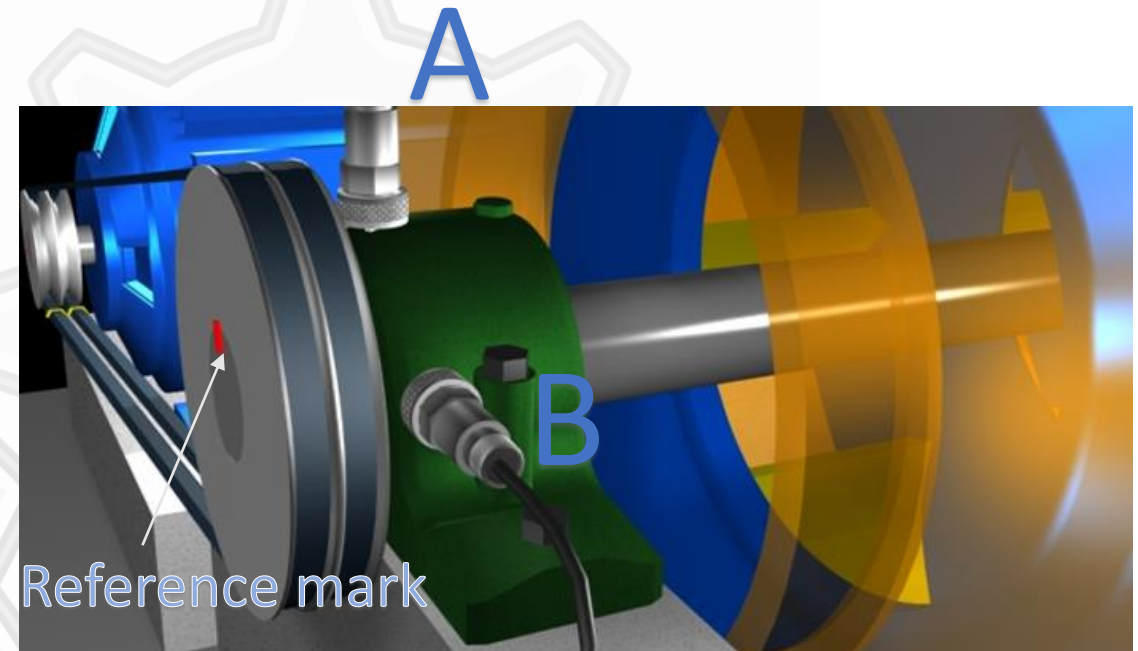
Formula calcolo angolo in gradi

$$360:\Delta t = x:T$$

Analisi di fase

Supponendo uno squilibrio (quindi senoide):

- Quale è la fase relativa tra il sensore A ed il sensore B?
- Quale è la fase relativa tra il sensore A e il reference mark?
- Quale è la fase relativa tra il sensore B ed il reference mark?

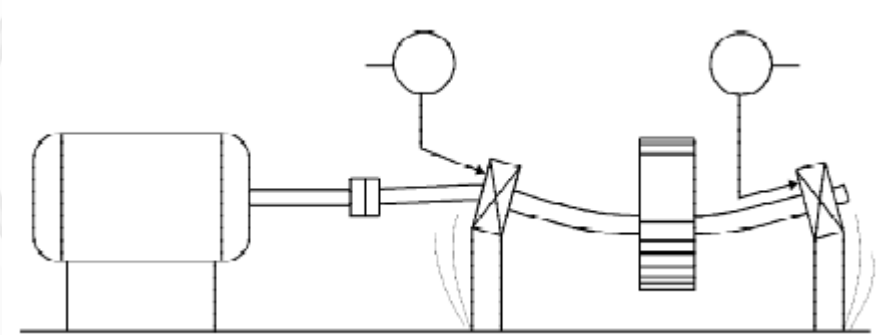


Analisi di fase

Sfasamento di 180° in direzione orizzontale

Solitamente una unica componente a 1X

Valutare la posizione ed eventualmente applicare i parametri correttivi



DETECTION OF BENT SHAFT PROBLEMS

Analisi di fase

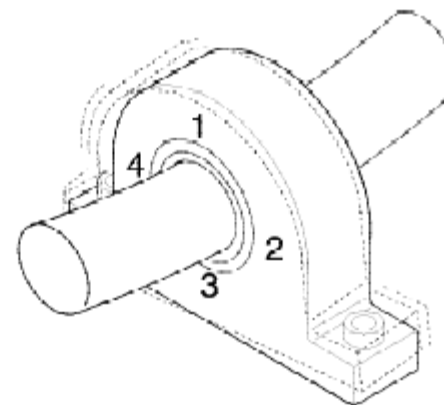
Sfasamento di 180° in direzione assiale sui punti cardinalmente opposti

Solitamente una unica componente a 1X

Valutare la posizione ed eventualmente applicare i parametri correttivi

PHASE

- | | |
|---|-------------|
| 1 | 60° |
| 2 | 150° |
| 3 | 240° |
| 4 | 330° |



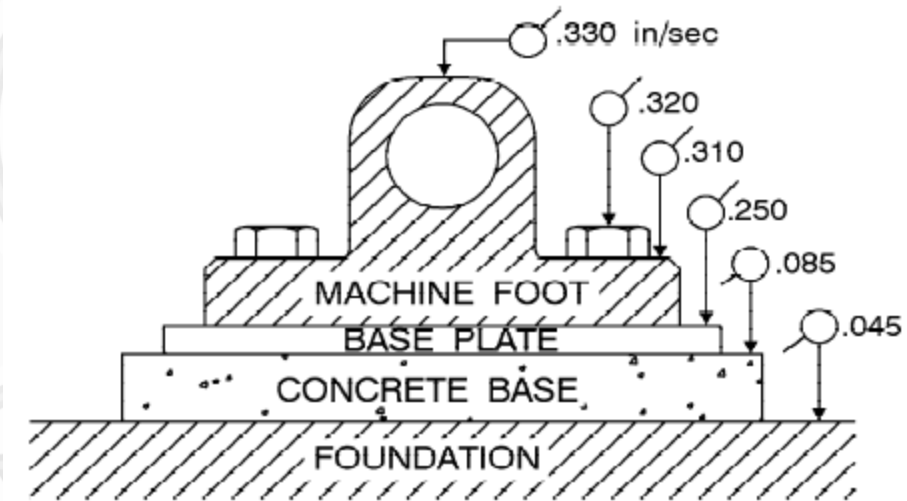
DETECTION OF BENT SHAFT PROBLEMS

Analisi di fase

Variazione di fase

Variazione di ampiezza (da 2,16 mm/s a 6,3 mm/s)

Valutare la posizione ed eventualmente applicare i parametri correttivi



Valutazione fase per allentamenti

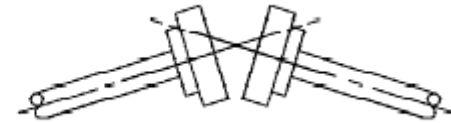
Analisi di fase

Sfasamento di 180° in direzione assiale alle estremità del giunto

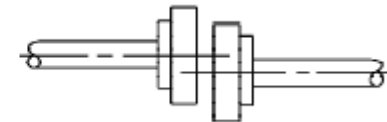
Normalmente esiste una tolleranza di circa $\pm 30^\circ$

Solitamente lo scostamento di fase esiste anche radialmente

**ANGULAR
MISALIGNMENT**



**PARALLEL (OFFSET)
MISALIGNMENT**



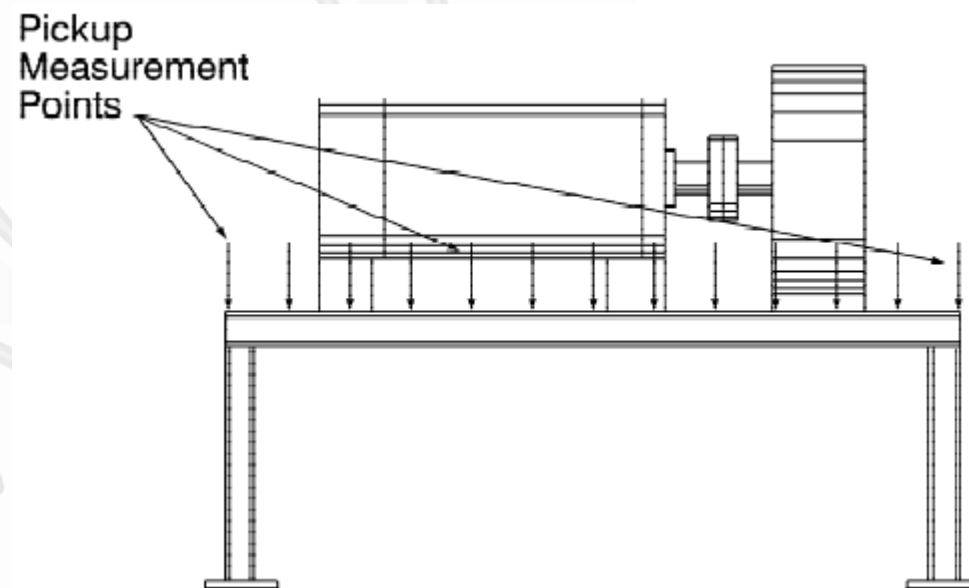
Valutazione fase per disallineamenti

Analisi di fase

Si prendono più punti sulla struttura in direzioni differenti

Vengono comparati i valori relativi ad un singolo piano (orizzontale, verticale, assiale)

Si crea una matrice di valori di **ampiezza** e di **fase** che definiscono come la vibrazione si trasmette lungo la struttura (e di conseguenza verificare la sua deformazione)



Valutazione fase per anomalie strutturali

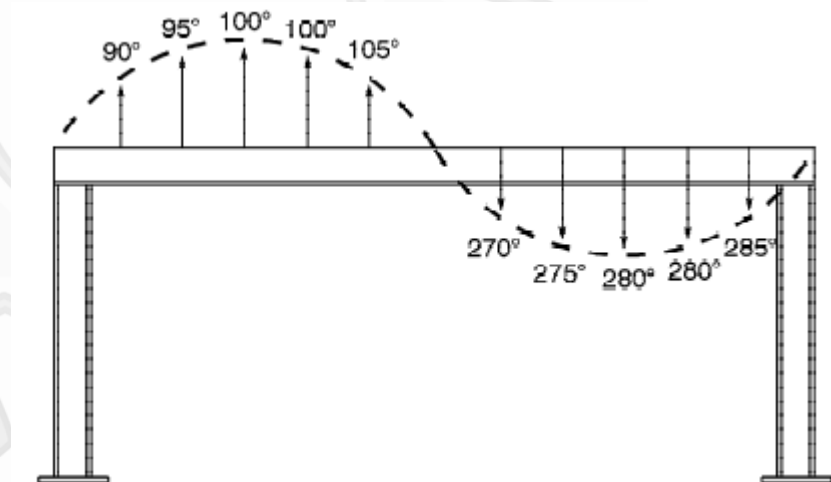
Analisi di fase

La struttura in direzione verticale «si muove» secondo quanto riportato in figura

Tale comportamento viene definito:

Modo Operativo di Vibrazione

Operationa Deflection Shape (ODS)



Valutazione fase per anomalie strutturali

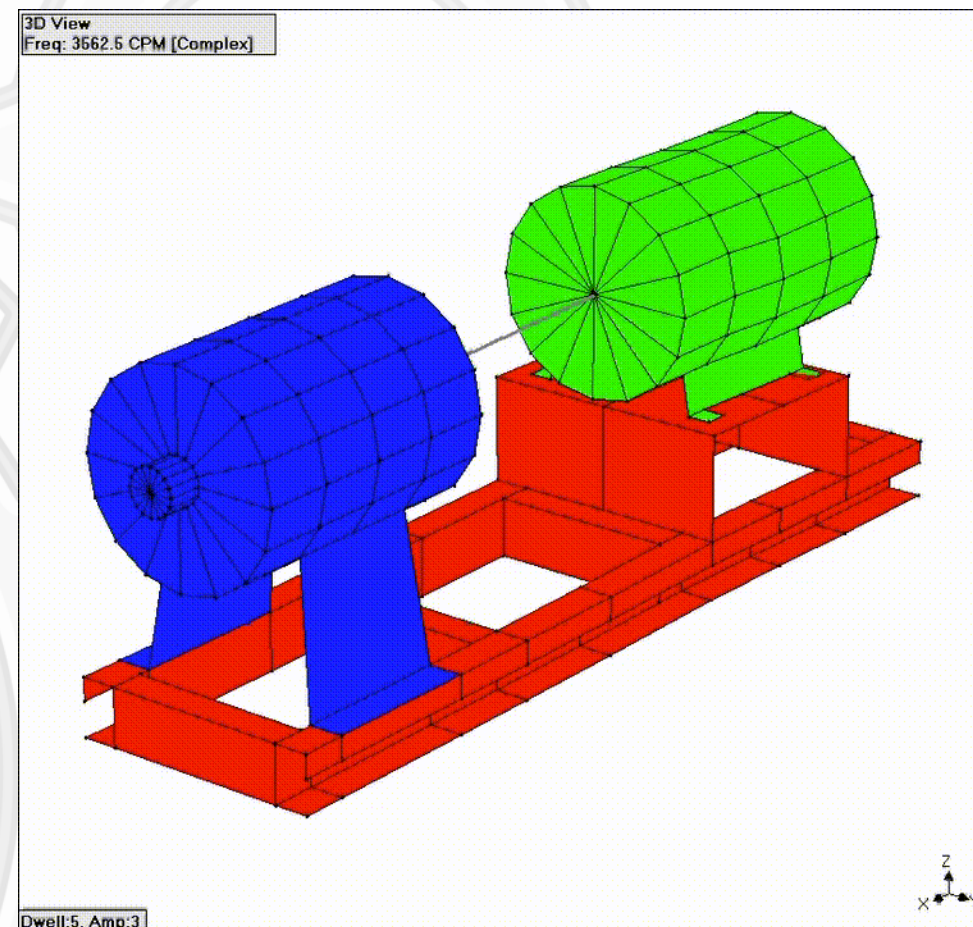
Analisi di fase

La struttura in direzione verticale «si muove»
secondo quanto riportato in figura

Tale comportamento viene definito:

Modo Operativo di Vibrazione

Operationa Deflection Shape (ODS)



Valutazione fase per anomalie strutturali

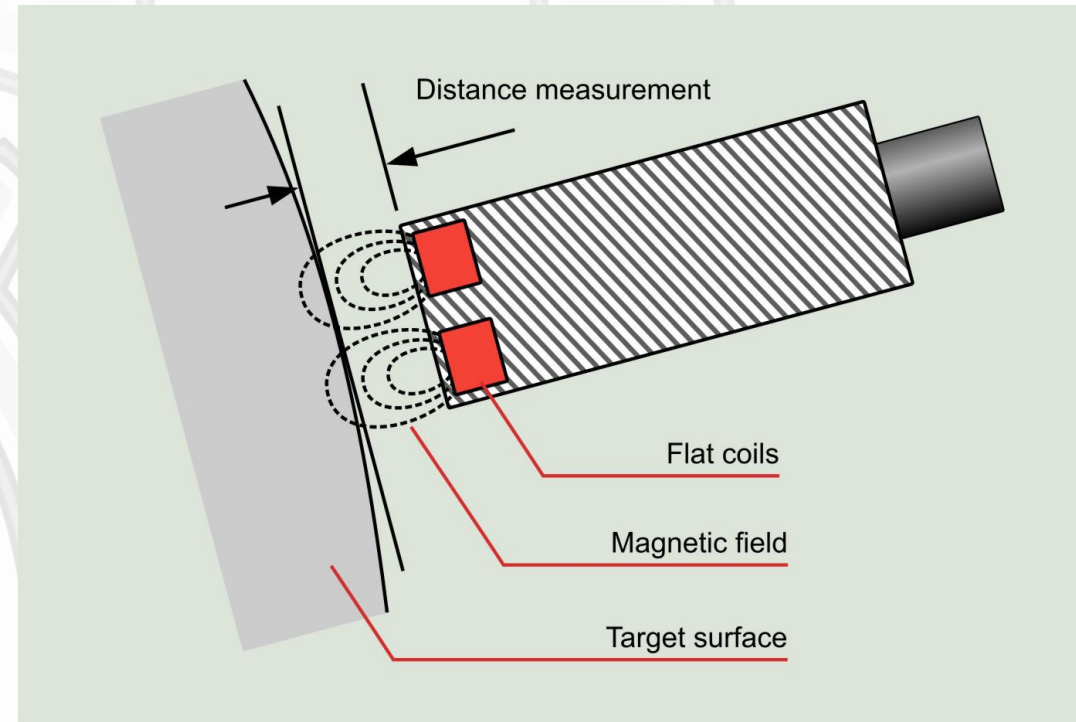
Orbite - Costruzione

Il sensore di prossimità, utilizzato nelle costruzione delle orbite, una volta alimentato crea un campo magnetico che va a concatenarsi con il materiale ferromagnetico da misurare

Il campo di misura non è infinito e spesso non supera i 5 mm

La risposta del sensore non è sempre uguale e dipende dalle caratteristiche ferromagnetiche del materiale sotto misura

Per avere una misura reale (in μm) bisogna effettuare la taratura del sensore sul materiale

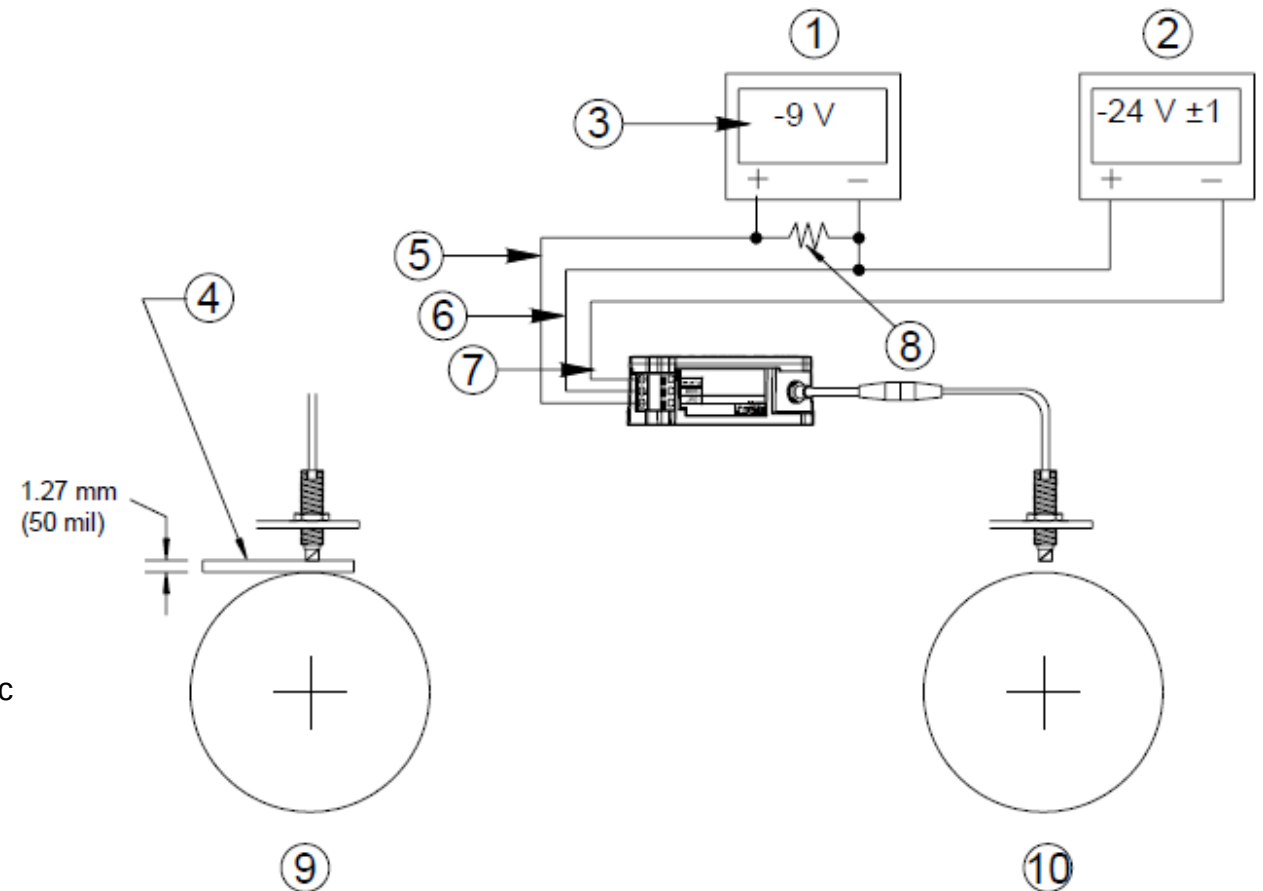


Orbite - Costruzione

1. Voltmetro
2. Alimentazione
3. Tensione al centro della zona lineare (solitamente $-9V_{dc}$)
4. Spessore
5. Segnale (OUT)
6. Massa (COM)
7. Alimentazione (V_{dc})
8. $10K\Omega$, 1%
9. Metodo Meccanico
10. Metodo Elettrico

Il sensore ha in uscita una tensione alternata V_{ac} sovrapposta ad una tensione continua V_{dc}

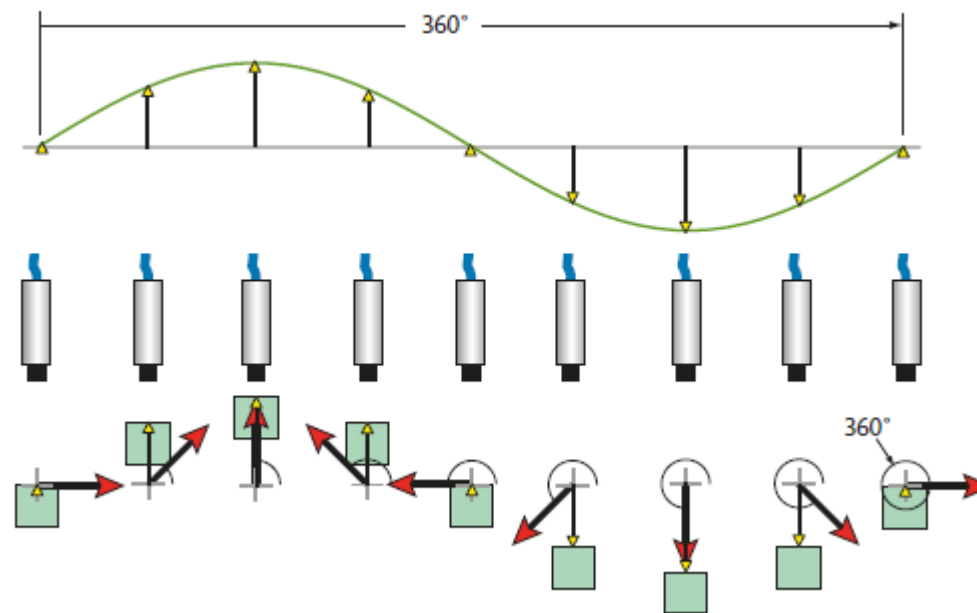
La tensione alternata viene utilizzata per creare l'orbita della vibrazione dell'albero



Orbite - Costruzione

L'acquisizione del valore di tensione relativo alla distanza del sensore dal movimento dell'albero ne descrive il suo andamento temporale

Quindi la tensione alternata misurata definisce la frequenza di vibrazione misurata direttamente sull'albero



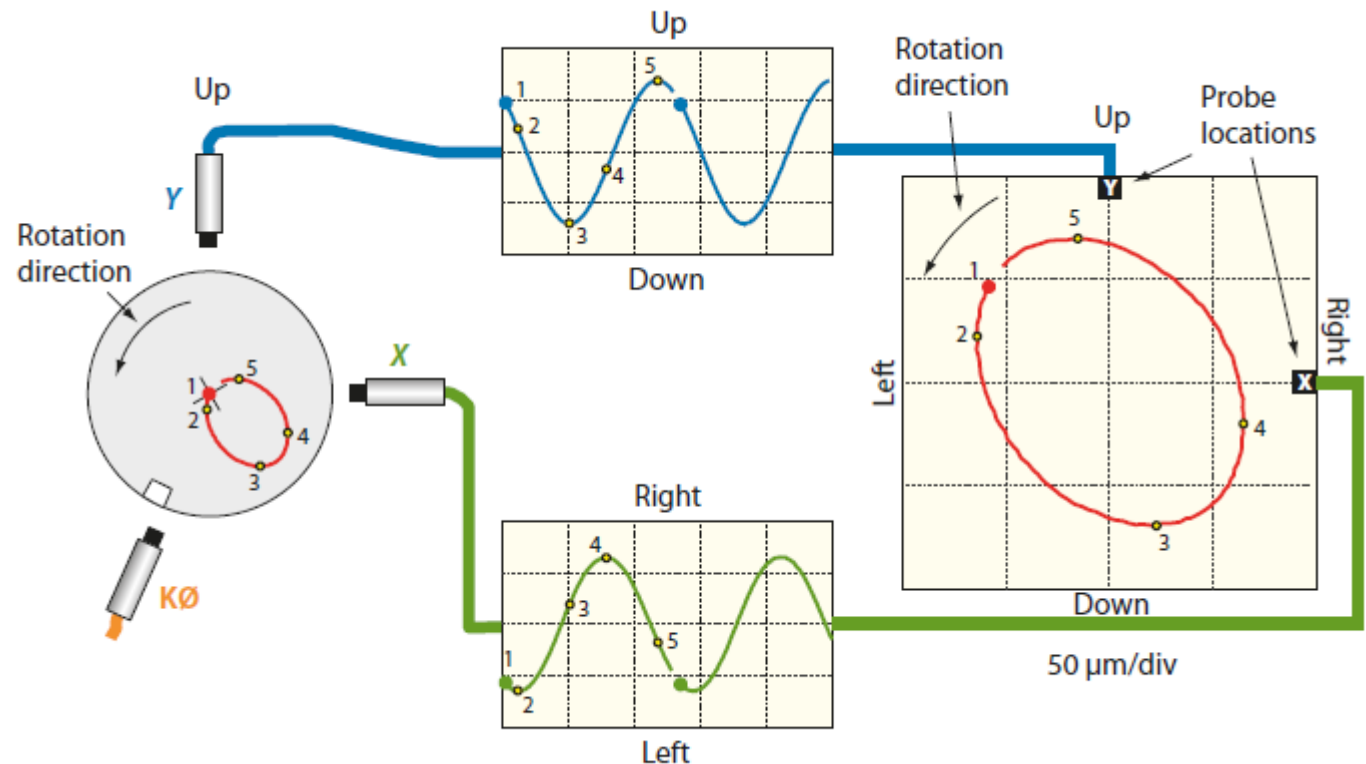
Orbite - Costruzione

L'orbita è la rappresentazione vettoriale della sommatoria, punto-punto, dei segnali provenienti dai sensori di prossimità

Sull'orbita viene poi rappresentato anche il momento della lettura del key phasor che permette di effettuare anche una analisi della fase del segnale

La conformazione dell'orbita descrive come l'albero si muove all'interno del cuscinetto

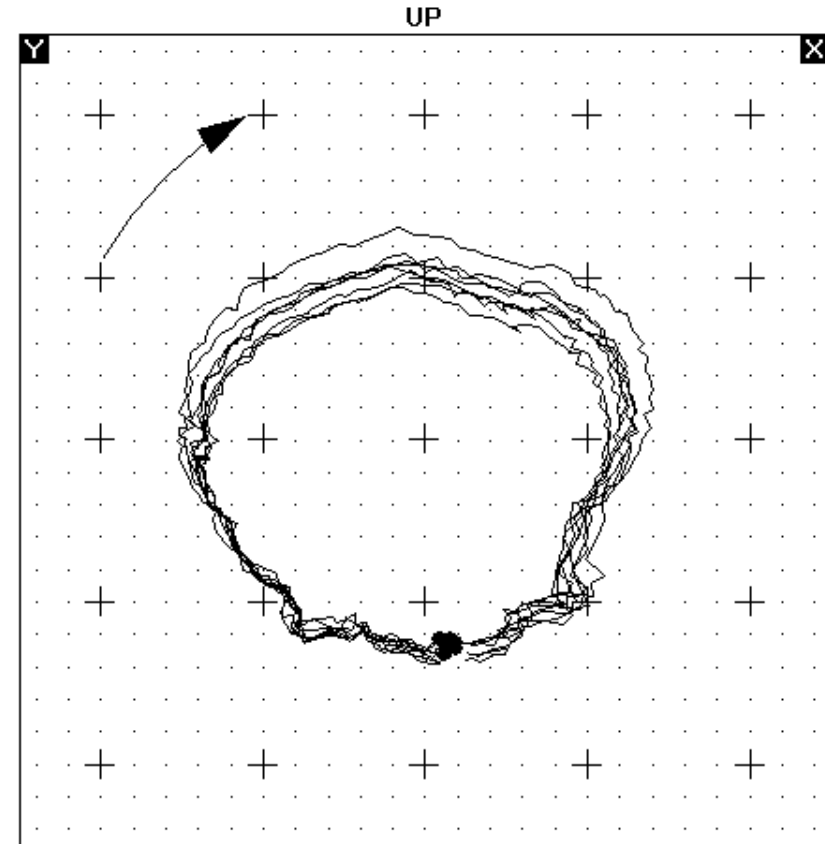
L'analisi dell'orbita permette di effettuare diagnosi sulle problematiche della macchina



Orbite

Squilibrio

Y: IB Vert $\angle 45^\circ$ Left DIR AMPL: 2.68 mil pp
X: IB Hor $\angle 45^\circ$ Right DIR AMPL: 2.79 mil pp
MACHINE: Motor
12MAR2004 08:32:19.2 Startup DIRECT

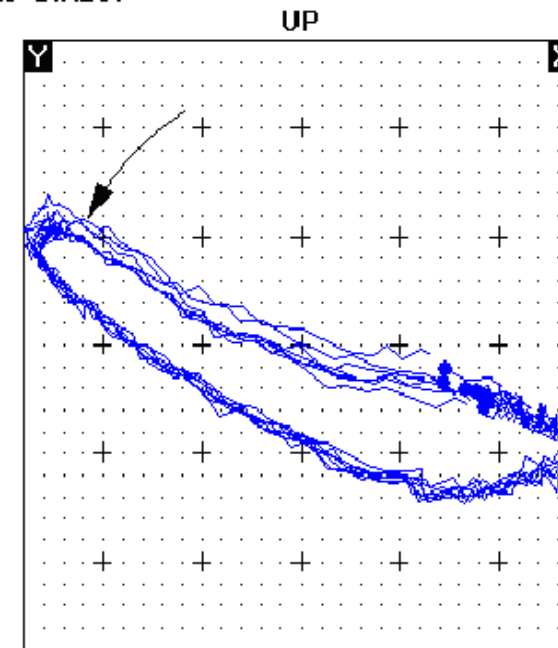


Orbite

- Elevato Squilibrio (con rigidezza asimmetrica)
- Elevato precarico

Y: MTR NDE BRG Y-3076 /45° Left Waveform Pk to Pk: 5.62 mil pp
X: MTR NDE BRG X-3077 /45° Right Waveform Pk to Pk: 2.78 mil pp

07JUN2002 10:55:44 Steady State DIRECT



0.2 mil/div

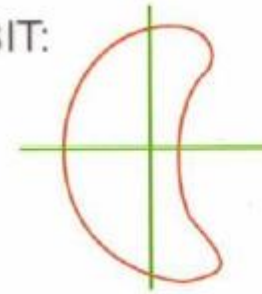
ROTATION: X TO Y (CCW)

1778 rpm

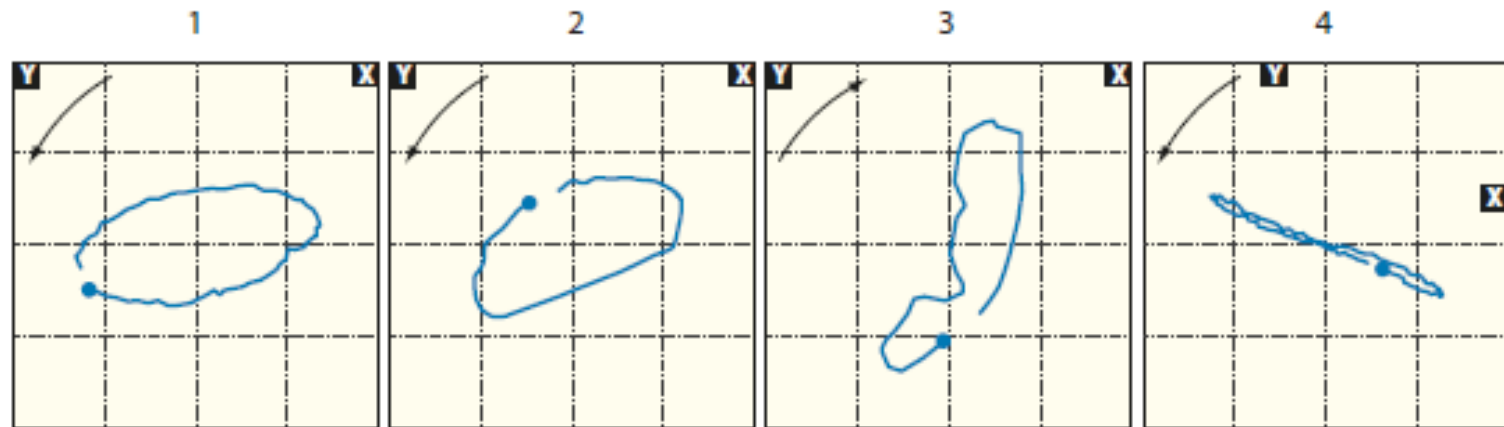
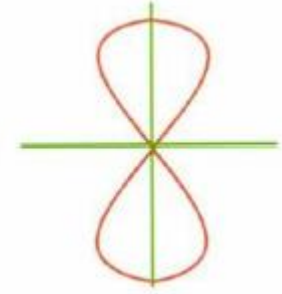
Orbite

- Disallineamento
- Bloccaggio giunto

ORBIT:



OR



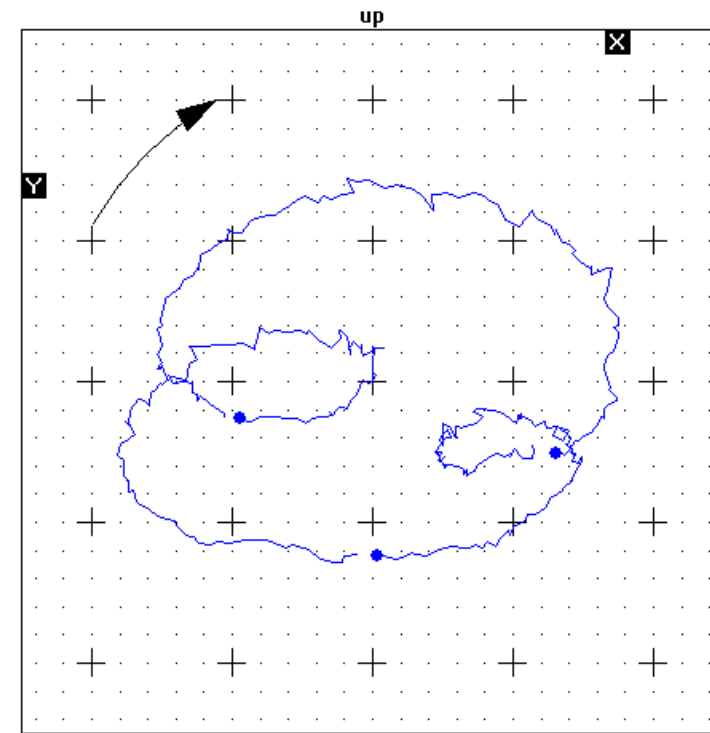
Progressione grado di disallineamento

Orbite

Instabilità

Y: Comp Clpg Radial Y $\angle 61^\circ$ Left Waveform Pk to Pk: 3.49 mil pp
X: Comp Clpg Radial X $\angle 35^\circ$ Right Waveform Pk to Pk: 3.25 mil pp

05DEC2001 15:58:01 Delta Time DIRECT



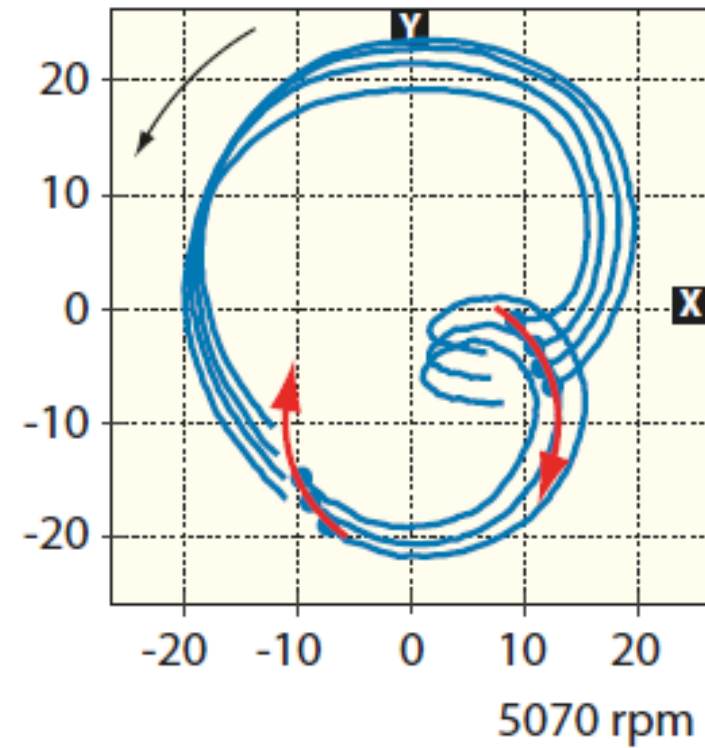
0.2 mil/div

ROTATION: Y TO X [CW]

12.0 krpm

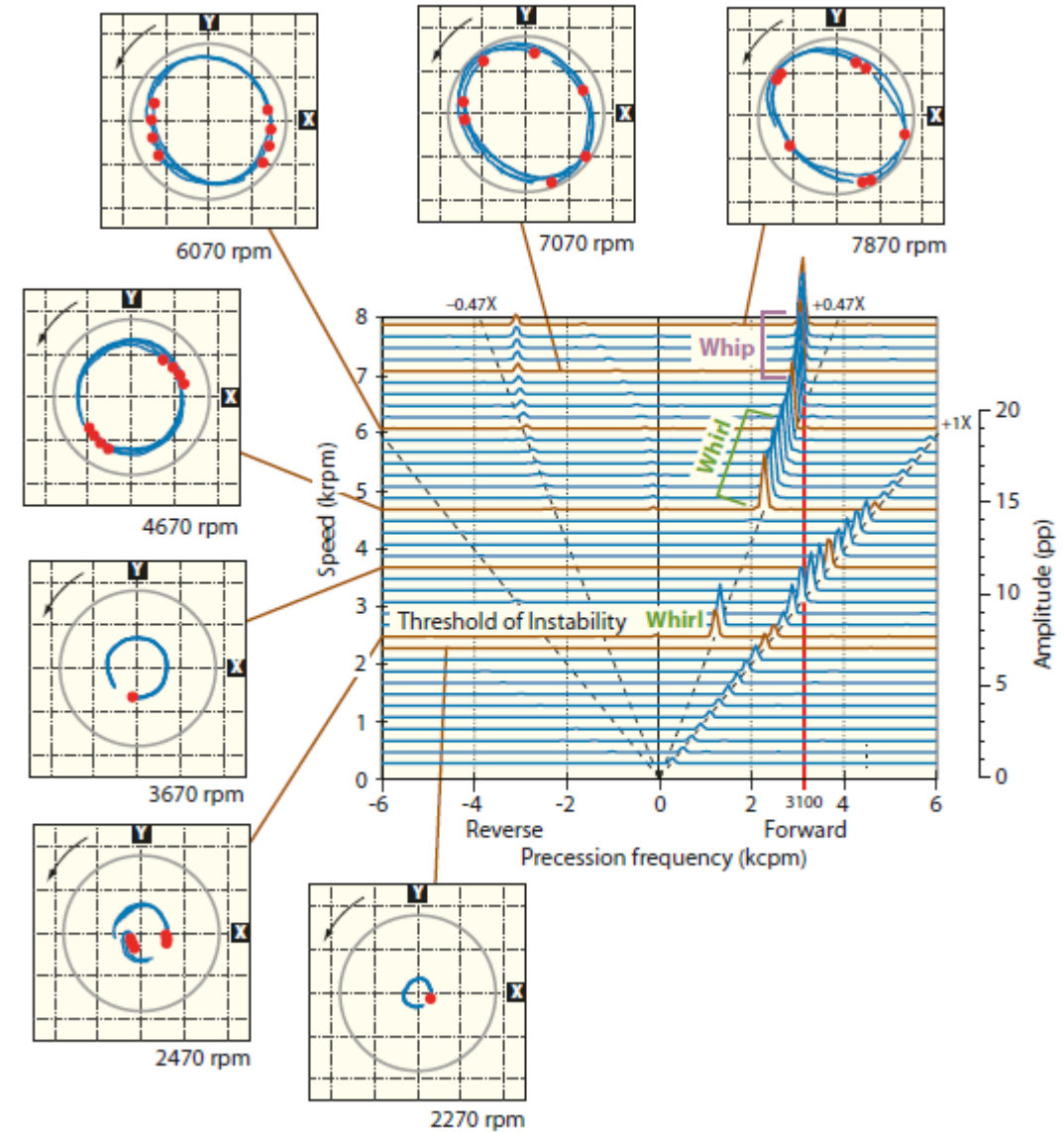
Orbite

- Instabilità fluidodinamica



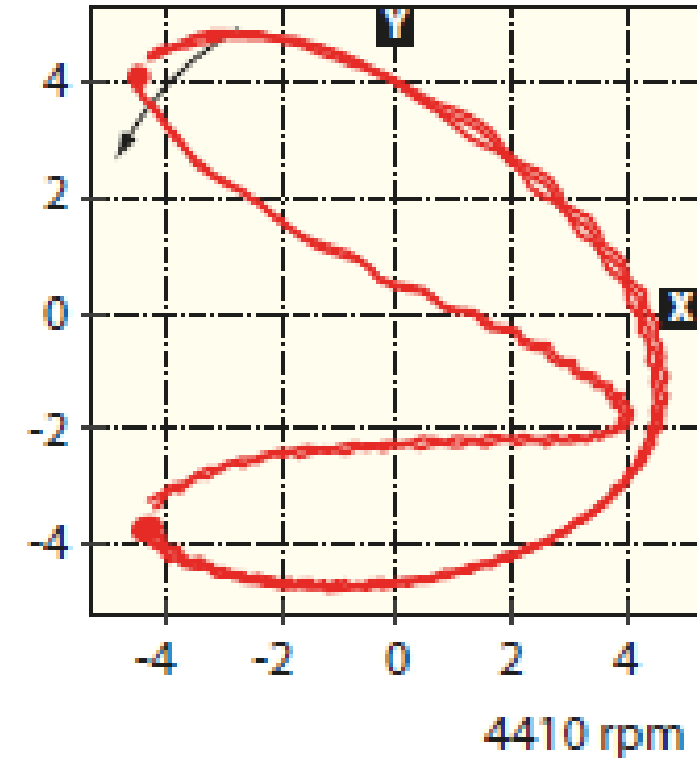
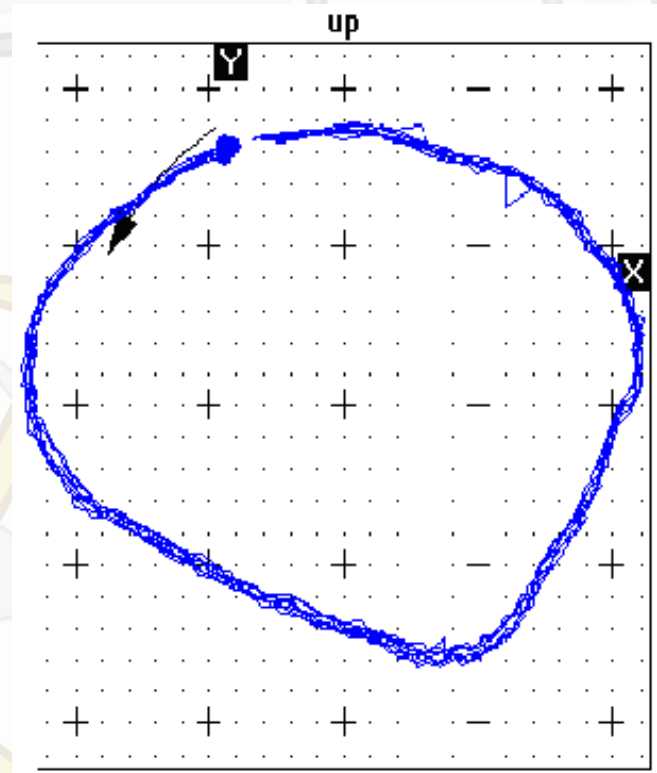
Orbite

- Instabilità fluidodinamica



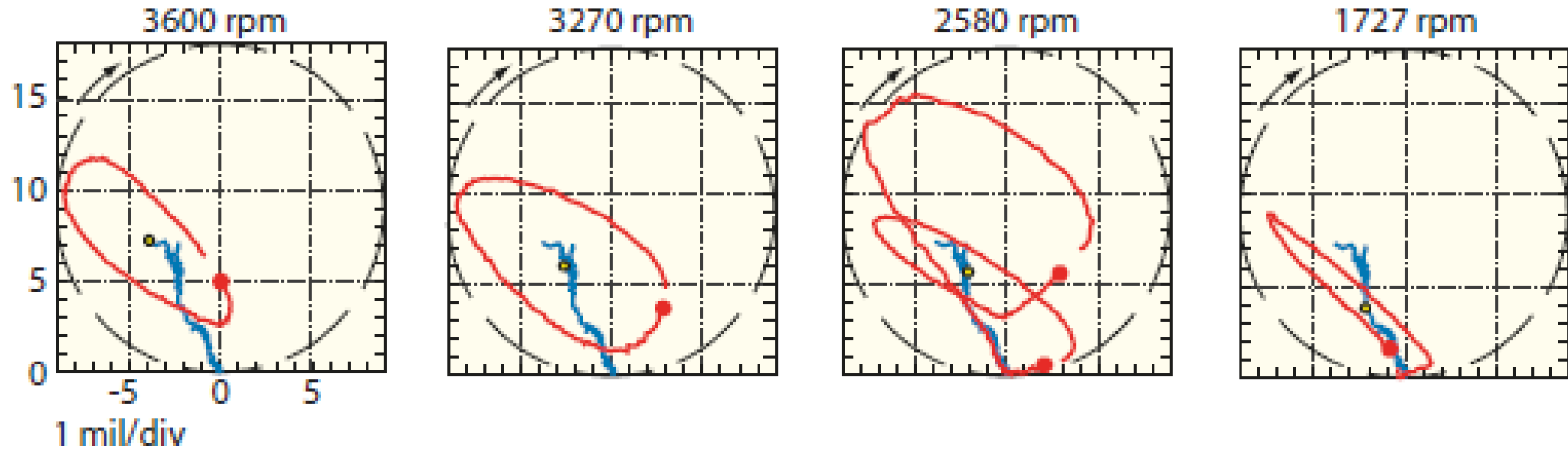
Orbite

- Contatti anomali



Orbite

Orbite sovrapposte ai grafici di posizione dell'albero presi durante l'arresto di un generatore a turbina a vapore. L'analisi mostra un violento 1/2X vibrazione a 2580 giri/min, che provoca il contatto con la sede del cuscinetto.



Diagnosi macchine

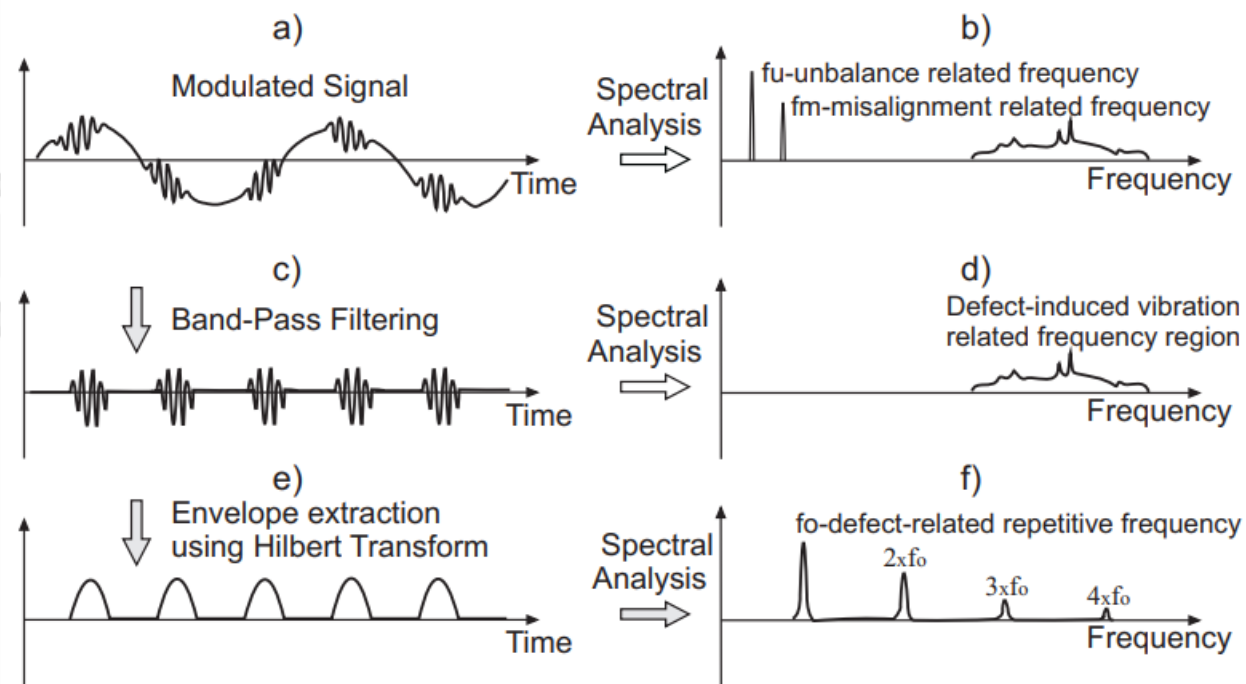
Orbite sovrapposte ai grafici di posizione dell'albero presi durante l'arresto di un generatore a turbina a vapore. L'analisi mostra un violento 1/2X vibrazione a 2580 giri/min, che provoca il contatto con la sede del cuscinetto.

Tecnica	Utilizzo	Descrizione	Strumenti
Analisi forma d'onda	modulazione, impulsi, fase, troncamento, glitch	ampiezza vs tempo	analogico e digitale oscilloscopio Analizzatore FFT
Analisi orbitale	movimento dell'albero, instabilità subsincrona	spostamento relativo del cuscinetto del rotore in direzione XY	filtro vettoriale digitale, oscilloscopio, Analizzatore FFT
Analisi di fase	Relazione forza/movimento, Relazione vibrazione/spazio	tempo relativo tra i segnali di forza e vibrazione o tra due o più segnali di vibrazione	luce stroboscopica, filtro vettoriale digitale, analogico e digitale oscilloscopio Analizzatore FFT
Analisi spettrale	frequenze dirette, frequenze naturali, bande laterali, battimenti, subarmoniche, frequenze di somma e di differenza	ampiezza vs frequenza	Analizzatore FFT, dati elettronici collettore

Tecniche di analisi

1. L'energia associata al difetto del cuscinetto risulta molto bassa rispetto all'energia sviluppata da anomalie meccaniche quali ad esempio lo squilibrio
2. Si applica prima un filtro passa alto per togliere tutte le frequenze di anomalie meccaniche
3. Sul segnale ottenuto si applica un filtro passa banda per estrarre le frequenze di interesse
4. Si effettua l'involuppo del segnale ottenuto. Si crea quindi un segnale temporale con la frequenza di difetto
5. Si costruisce la FFT sul segnale ottenuto
6. In frequenza saranno presenti le frequenze risultanti **funzione di come è stato processato il segnale temporale**

Envelope



Tecniche di analisi

1. Processo simile all'velope
2. Viene generato un valore globale di vibrazione direttamente dall'energia presente nell'involuppo del segnale temporale

Spike Energy

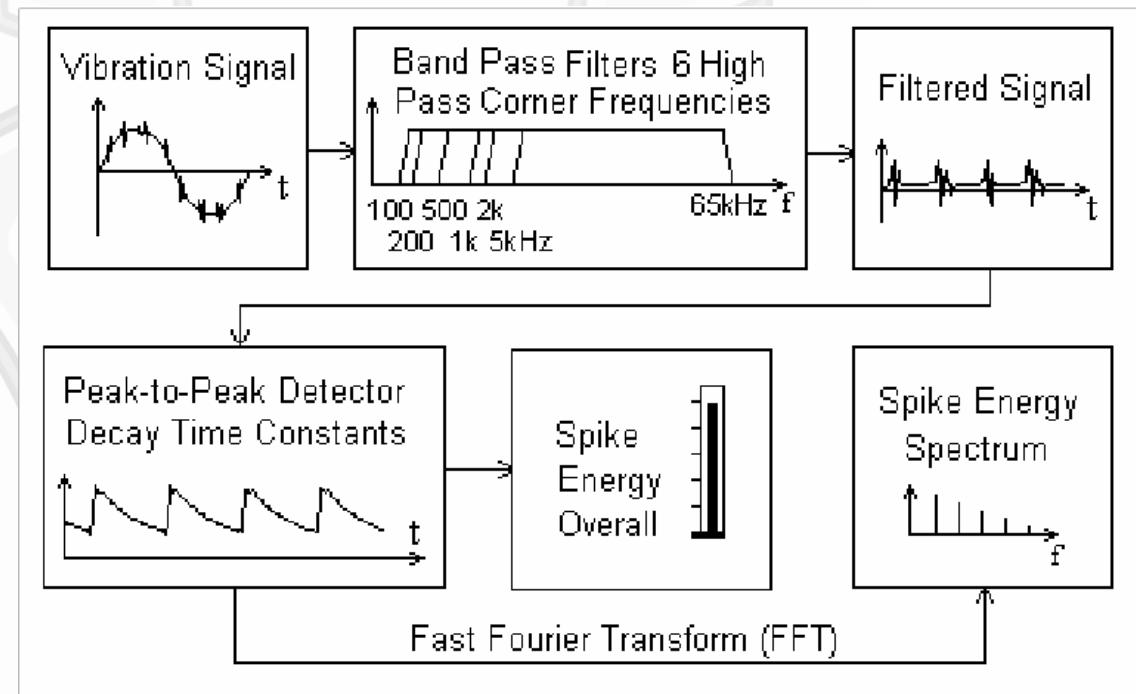
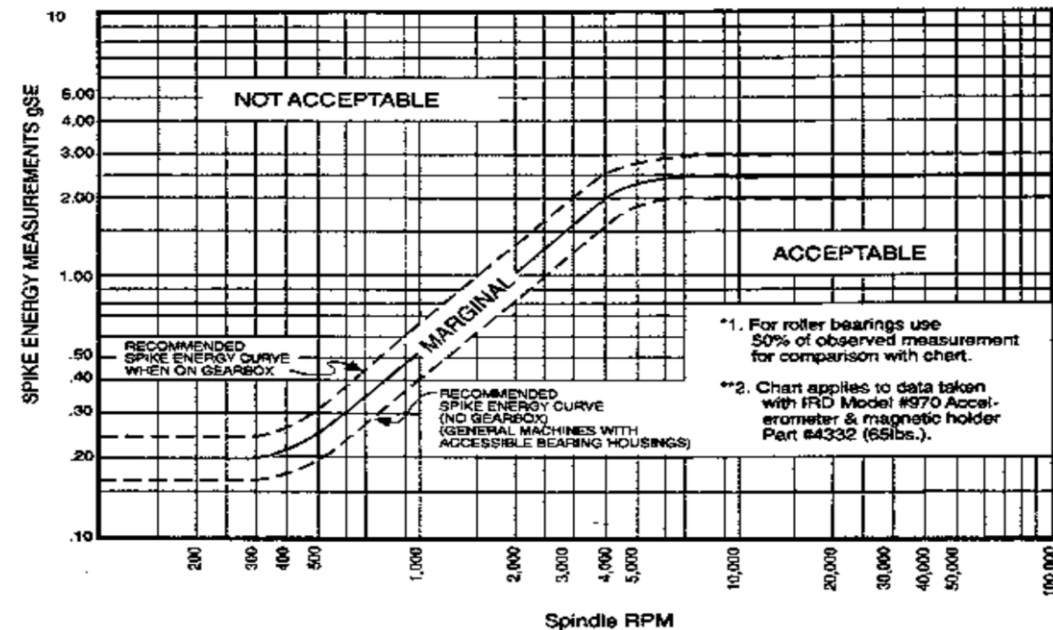


Figure 1. Flow chart of Spike Energy signal processing

Tecniche di analisi

1. Processo simile all'evelope
2. Viene generato un valore globale di vibrazione direttamente dall'energia presente nell'involuppo del segnale temporale
3. Valore monitorabile
4. Esiste una tabella di riferimento
5. Risulta meno sensibile ad eventuali altri problemi presenti sulla macchina
6. Risulta più preciso sia per macchine a bassi giri di rotazione (1,5 RPM) che per macchine ad alti giri di rotazione (>5000 RPM)

Spike Energy



Recommended Spike Energy severity chart (IRD Spike Energy)
Severity Chart Guidelines For Ball Bearings*
Figure 1

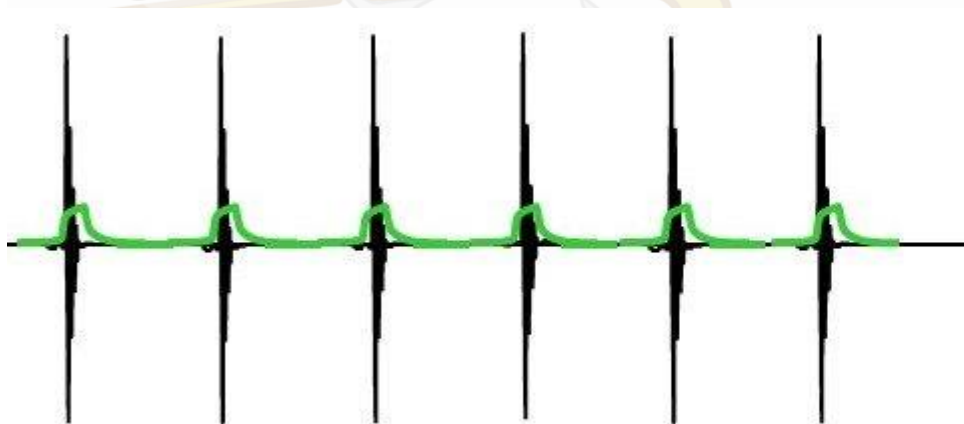
3600 RPM = 1.4 gSE
1900 RPM = .70
1200 RPM = .50
900 RPM = .35
600 RPM = .25

} Normal gSE alarms for standard RPM machs.
(IRD 970 Accelerometer & Magnet WITHOUT GEARBOX)

Tecniche di analisi

Spike Energy

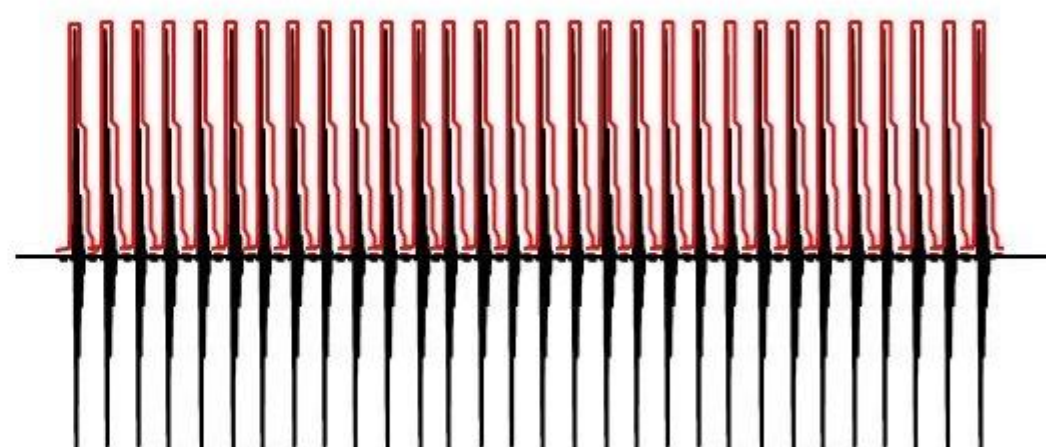
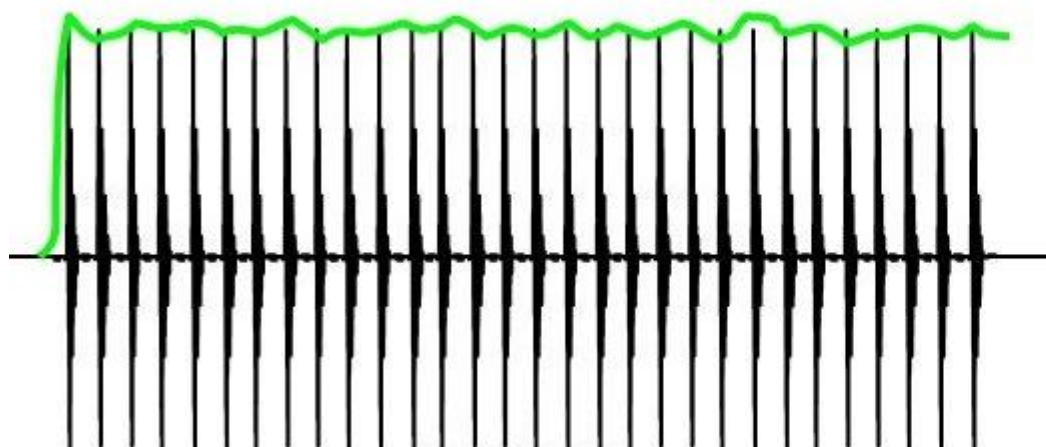
1. Processo simile all'evelope
2. Viene generato un valore globale di vibrazione direttamente dall'energia presente nell'involuppo del segnale temporale
3. Valore monitorabile
4. Esiste una tabella di riferimento
5. Risulta meno sensibile ad eventuali altri problemi presenti sulla macchina
6. Risulta più preciso sia per macchine a bassi giri di rotazione (1,5 RPM) che per macchine ad alti giri di rotazione (>5000 RPM)



Tecniche di analisi

Spike Energy

1. Processo simile all'evelope
2. Viene generato un valore globale di vibrazione direttamente dall'energia presente nell'involuppo del segnale temporale
3. Valore monitorabile
4. Esiste una tabella di riferimento
5. Risulta meno sensibile ad eventuali altri problemi presenti sulla macchina
6. Risulta più preciso sia per macchine a bassi giri di rotazione (1,5 RPM) che per macchine ad alti giri di rotazione (>5000 RPM)

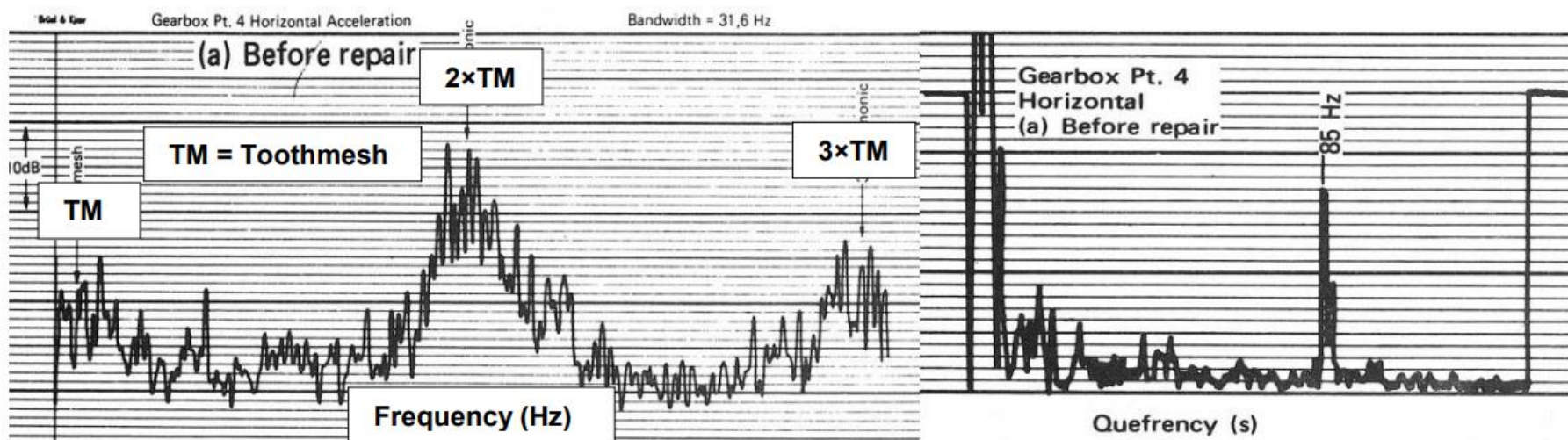


Tecniche di analisi

L'analisi del cepstrum è uno strumento per la rilevazione della periodicità in uno spettro di frequenze.

Una forma di periodicità che può essere rilevata anche dall'analisi del cepstrum è la presenza di bande laterali distanziate a intervalli uguali attorno a una o più frequenze portanti.

Il cepstrum è definito come lo spettro di potenza dello spettro di potenza logaritmico (cioè in forma di ampiezza dB), ed è quindi correlato alla funzione di autocorrelazione, che può essere ottenuta mediante trasformazione di Fourier inversa dello spettro di potenza con ordinate lineari.



Cepstrum

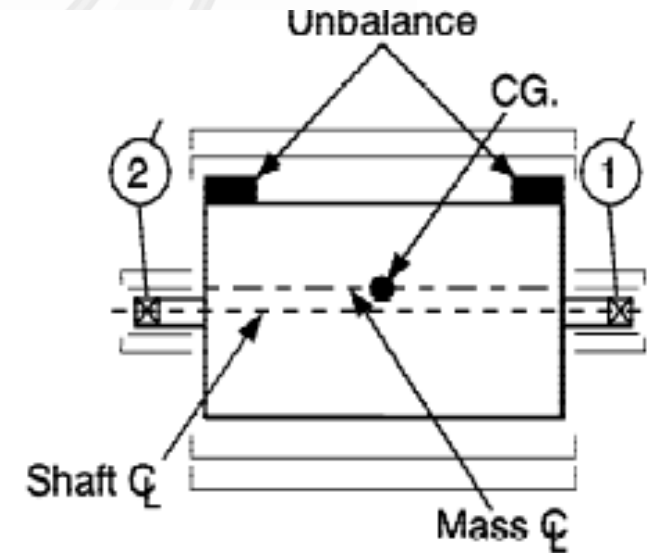
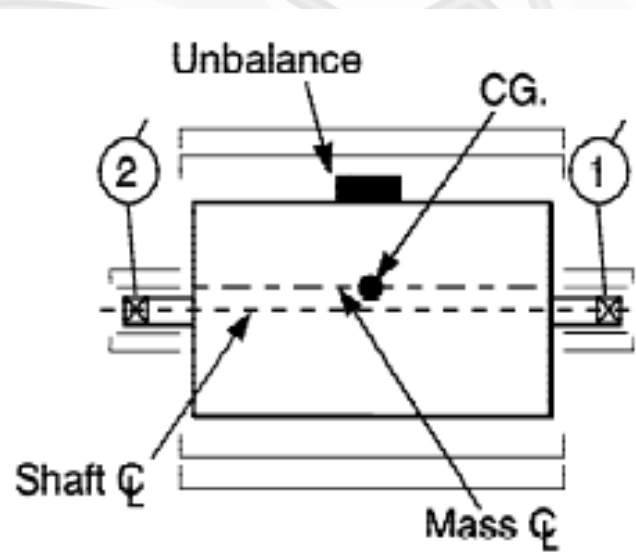
Diagnosi macchine

Squilibrio



Diagnosi macchine

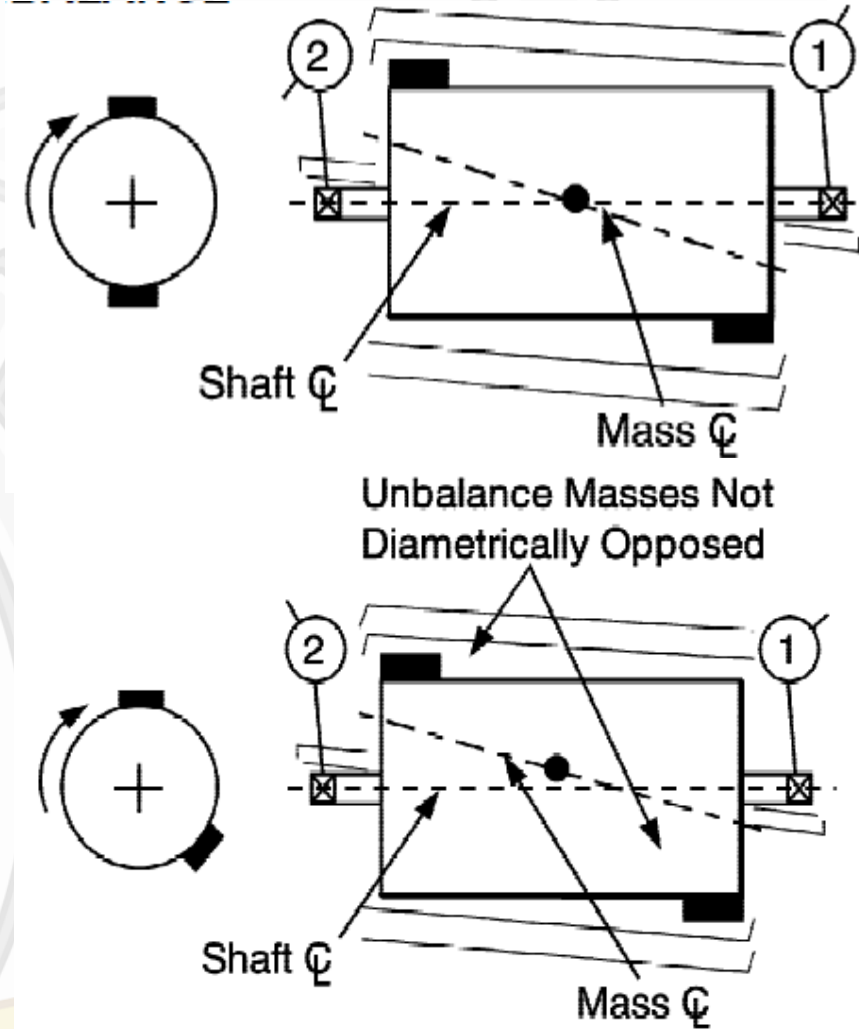
Squilibrio statico



Diagnosi macchine

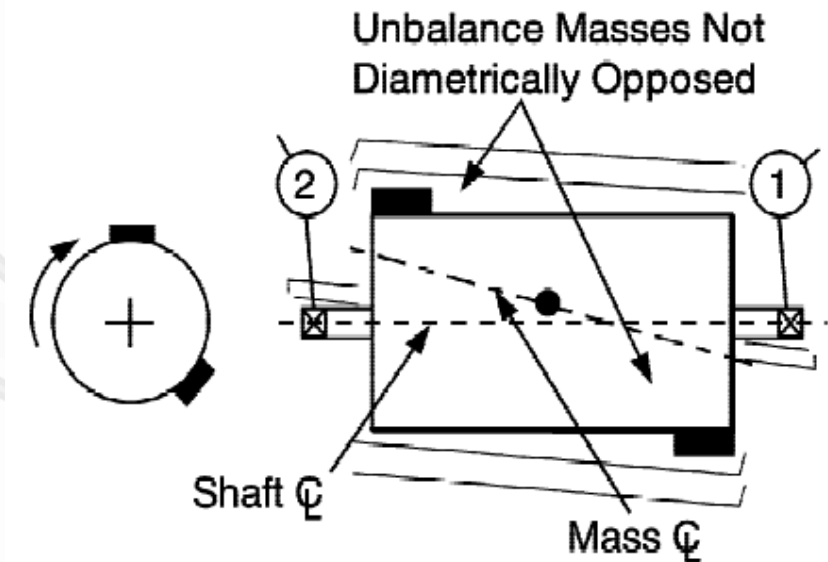
Squilibrio di coppia

Squilibrio dinamico



DM - Squilibrio

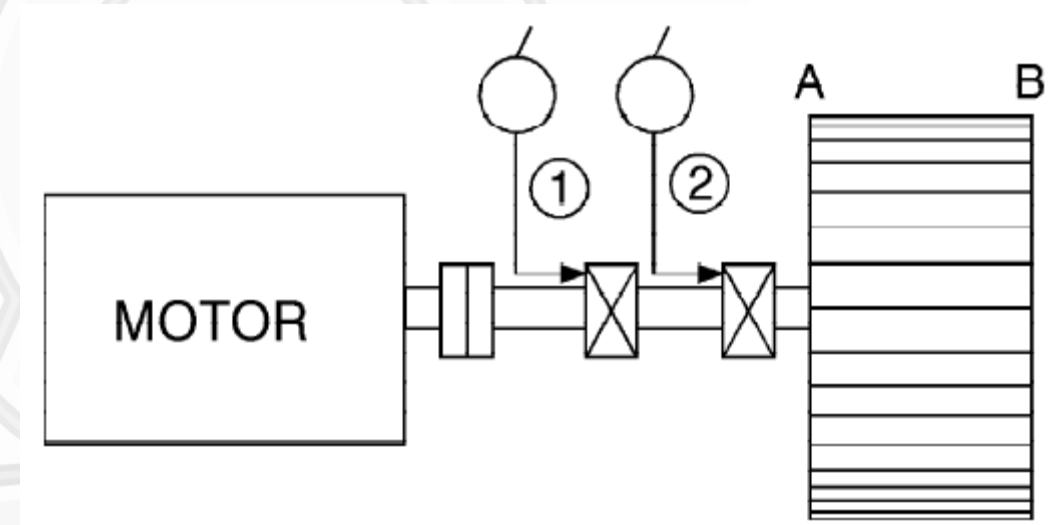
- Indicato da una singola frequenza ad 1X
- Circa >80%
- Quasi esclusivamente in direzione radiale
- Differenza di fase tra orizzontale e verticale di 90° ($\pm 30^\circ$)
- Comparazione delle differenze tra valori orizzontali e valori verticali
- Valori di fase stabili durante tutta la misura
- Spesso l'ampiezza della vibrazione dipende dalla risonanza
- Segnale sinusoidale nel tempo
- Spesso ad alti valori di squilibrio si presentano armoniche tipiche di allentamenti



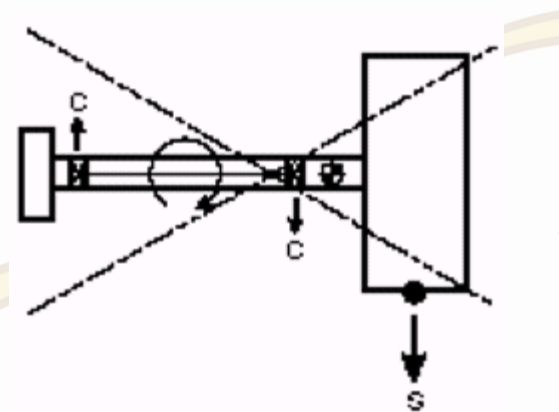
Squilibrio dinamico

DM - Squilibrio

- Possono generare alte vibrazioni assiali
- Spesso molto soggetti a squilibrio di coppia
- La fase assiale sui due cuscinetti deve essere pari a $0^\circ (\pm 30^\circ)$
- Spesso l'equilibratura va effettuata mediante la procedura statico/coppia

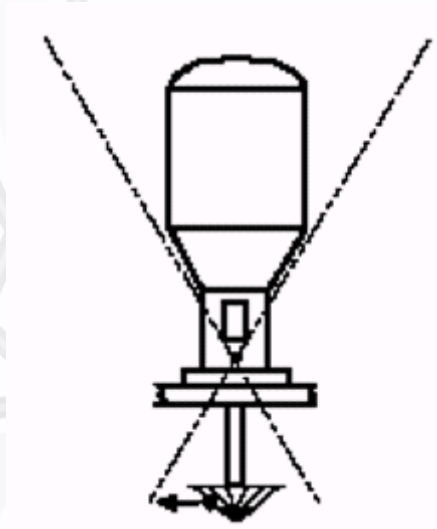


Rotori a sbalzo

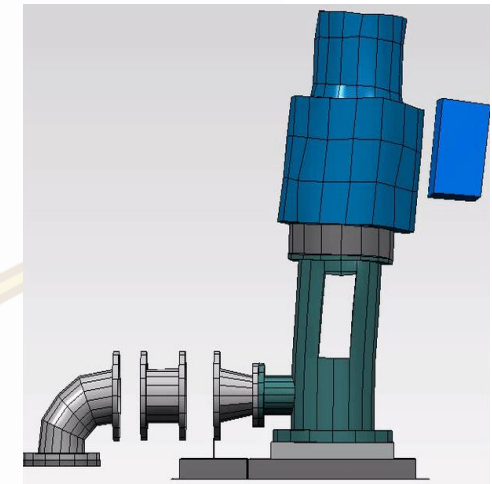


DM - Squilibrio

- Possono generare alte vibrazioni assiali
- Spesso molto soggetti a squilibrio di coppia
- La fase assiale sui due cuscinetti deve essere pari a $0^\circ (\pm 30^\circ)$
- Spesso l'equilibratura va effettuata mediante la procedura statico/coppia



Rotori a sbalzo

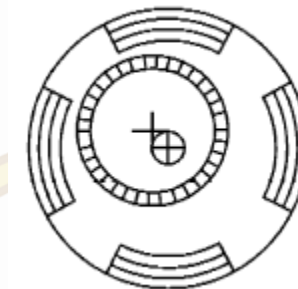
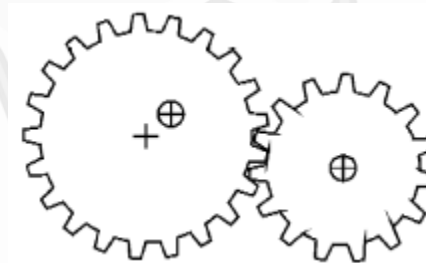
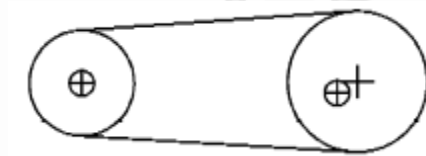


DM - Eccentricità

Eccentricità

rotore eccentrico è quello in cui l'asse centrale dell'albero non è allineata con l'asse centrale del rotore.

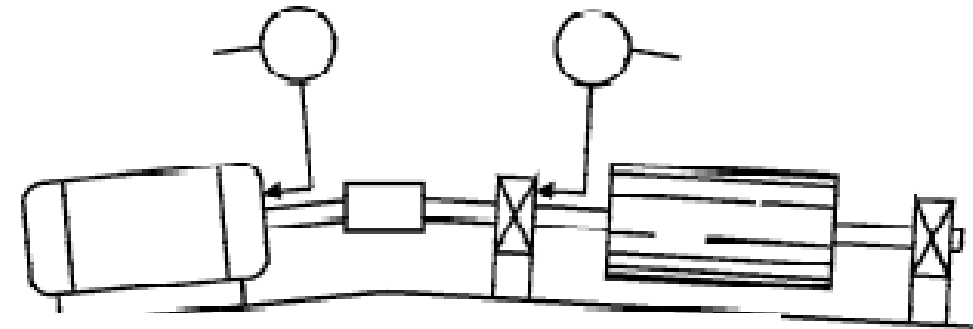
- Si evidenzia come 1X dell'albero eccentrico
- La vibrazione maggiore viene rilevata nella direzione di contatto (quando presente)
- Nei motori elettrici crea una variazione del campo magnetico creando pulsazioni pari a 2 volte la frequenza di alimentazione
- Tentare l'equilibratura non porta a i risultati sperati
- Spesso la vibrazione è molto direzionale quindi risulta molto più elevata in una direzione che non nell'altra



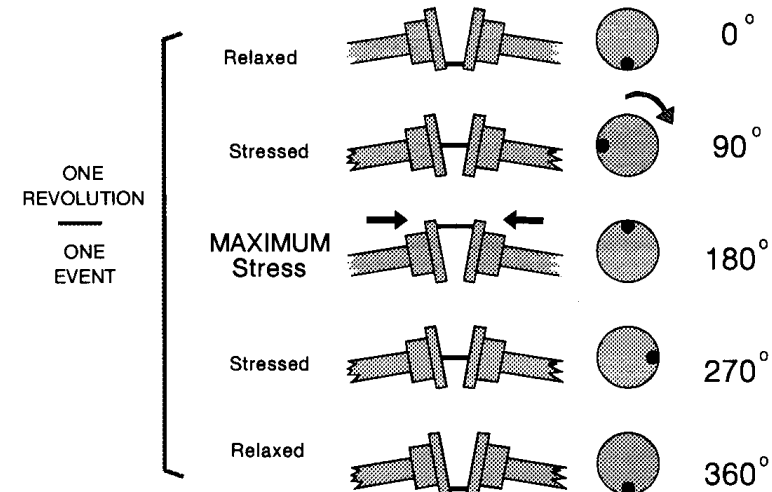
DM - Disallineamento

Disallineamento angolare

- Alte vibrazioni assiali ad 1X e 2X
- 2X (ed eventualmente anche 3X) supera dal 30% al 50% dell'ampiezza pari ad 1X
- Evidenza di 180° sfasamento tra le misure effettuate alle estremità del giunto



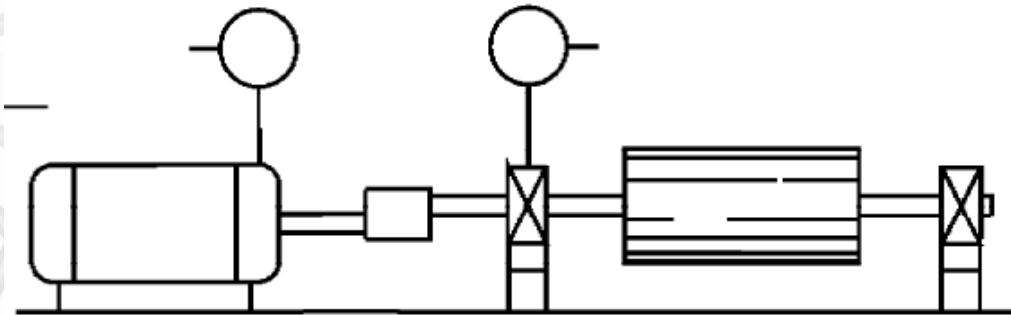
MISALIGNMENT ANGULAR (CHANGING GAP)



DM - Disallineamento

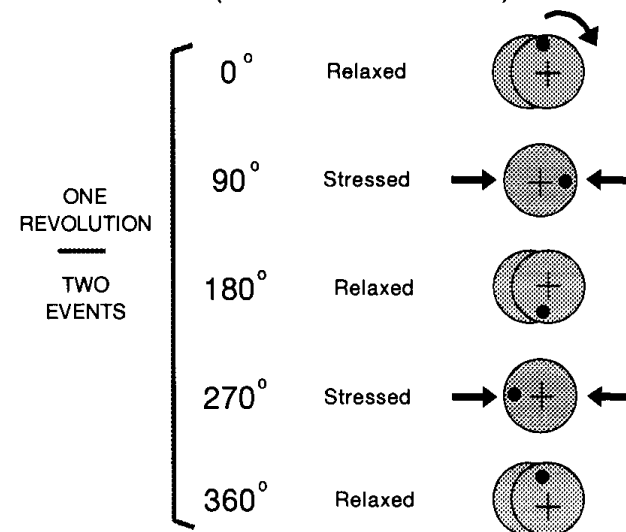
Disallineamento parallelo

- Alte vibrazioni radiali ad 1X e 2X
- 2X (ed eventualmente anche 3X) supera circa il 50% dell'ampiezza pari ad 1X
- Evidenza di 180° sfasamento tra le misure effettuate
- Spesso si evidenziano componenti legati alla conformazione del giunto

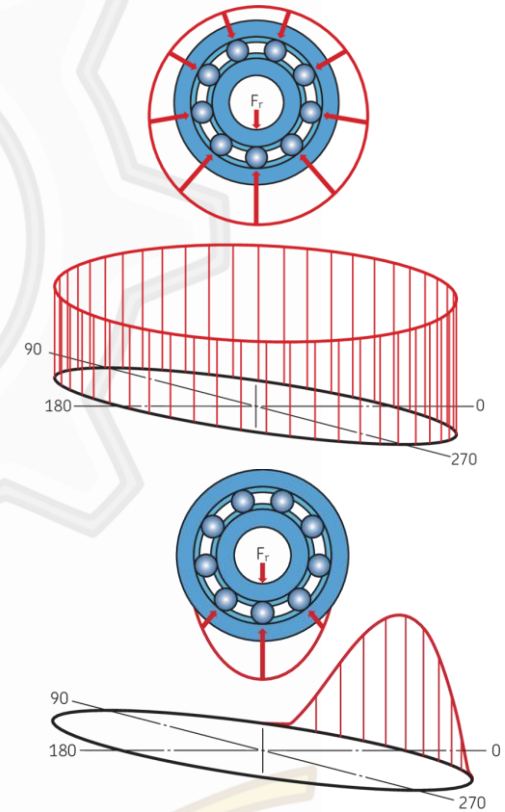
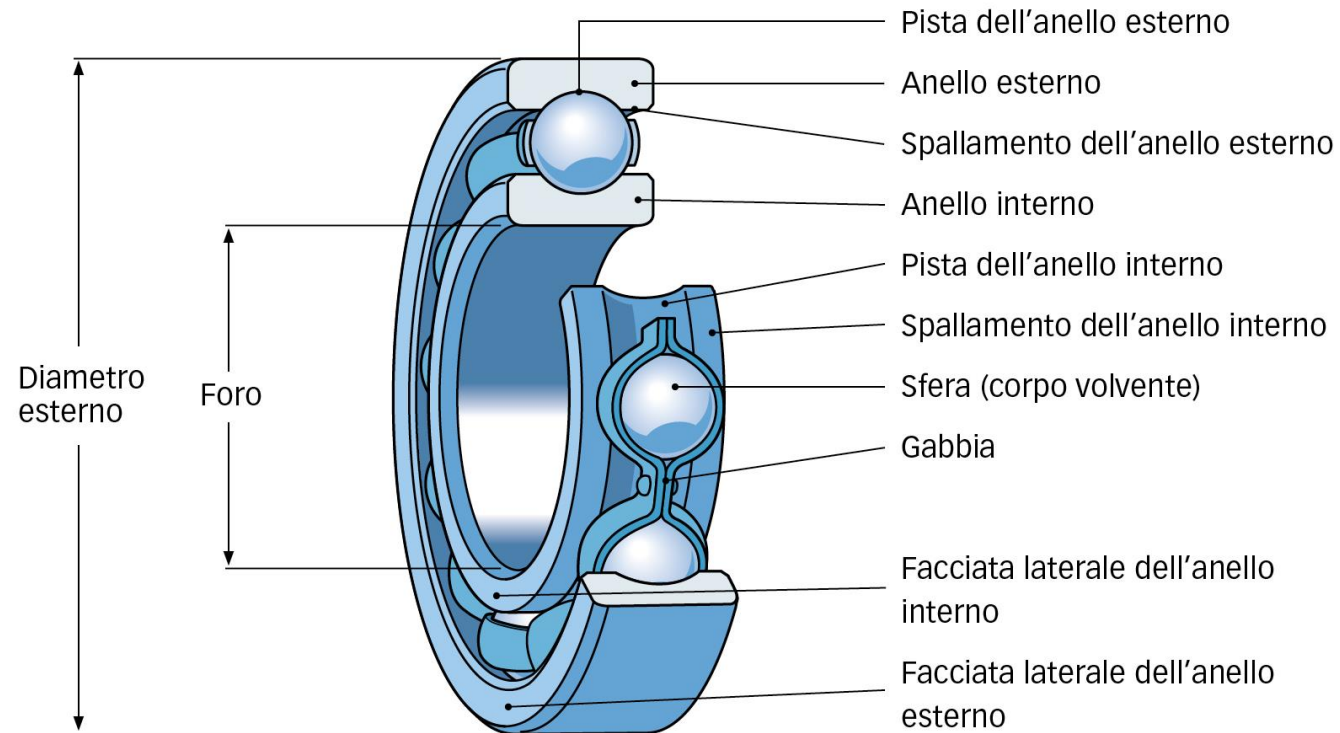


PARALLEL

(CHANGING OFFSET)



DM - Cuscinetti



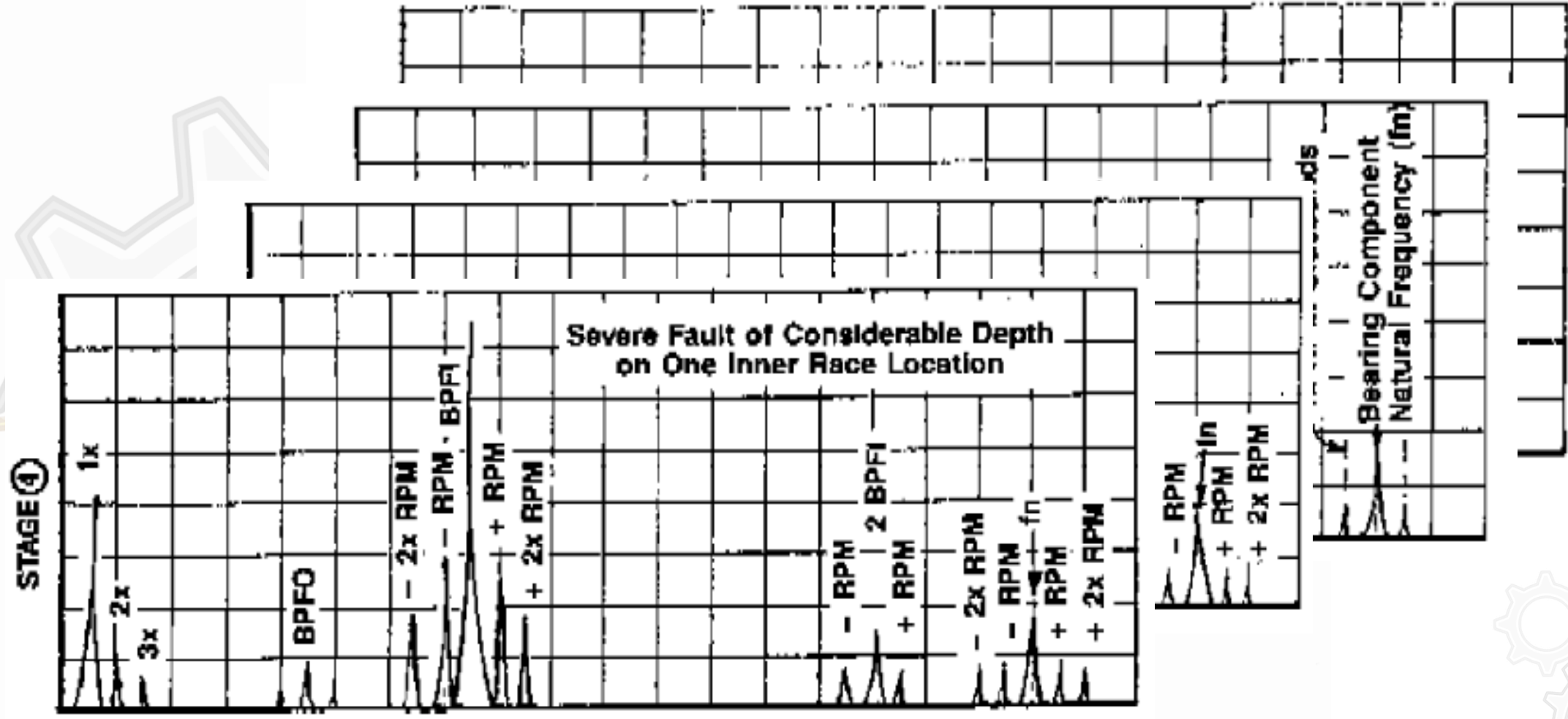
$$L_{10} \text{ Life} = \left(\frac{16,666}{\text{RPM}} \right) \left(\frac{\text{RATING}_B}{\text{LOAD}_E} \right)^3 \text{ HOURS}$$

DM - Cuscinetti

Machine Without Bearing Problems

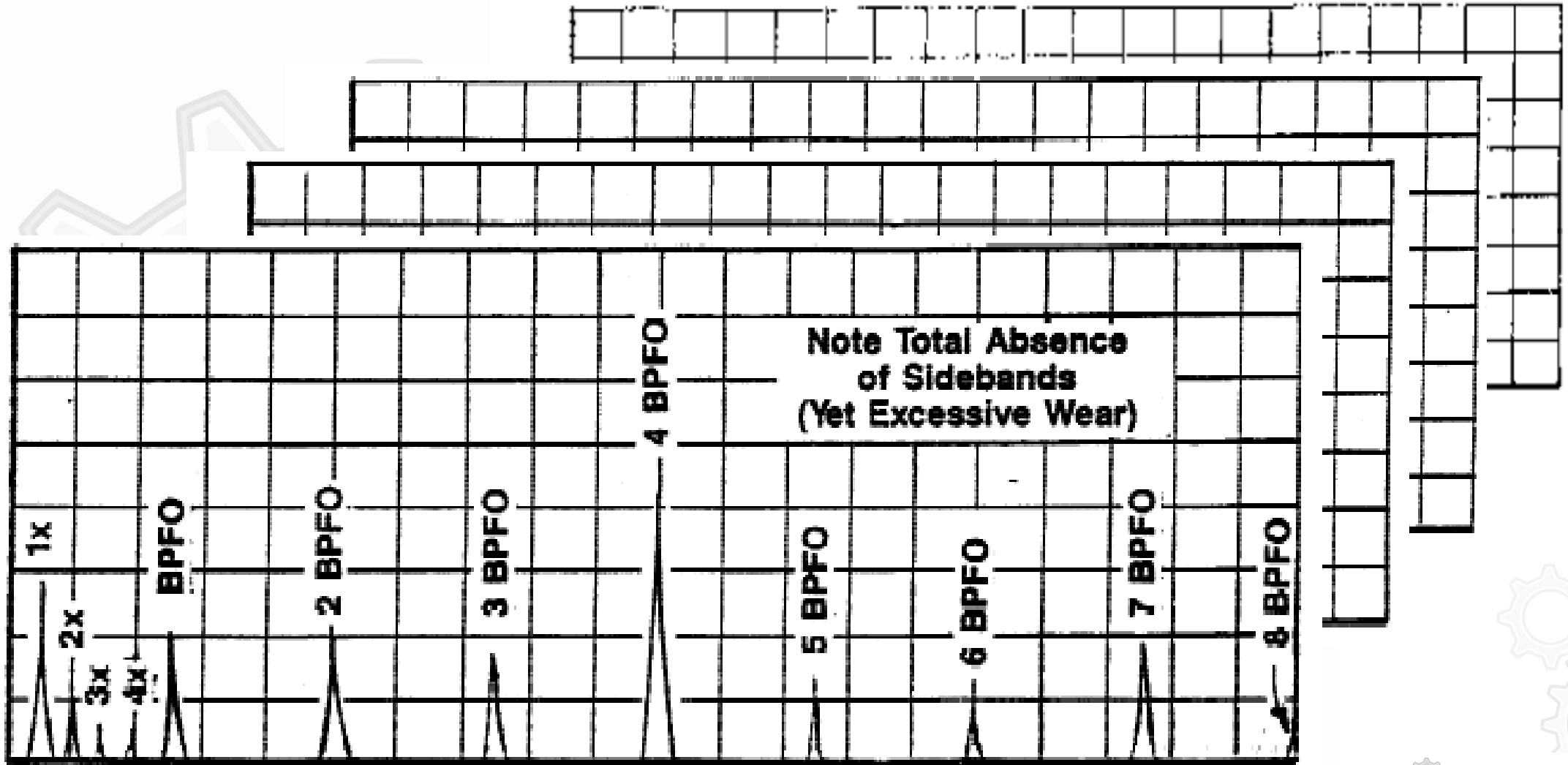


DM - Cuscinetti

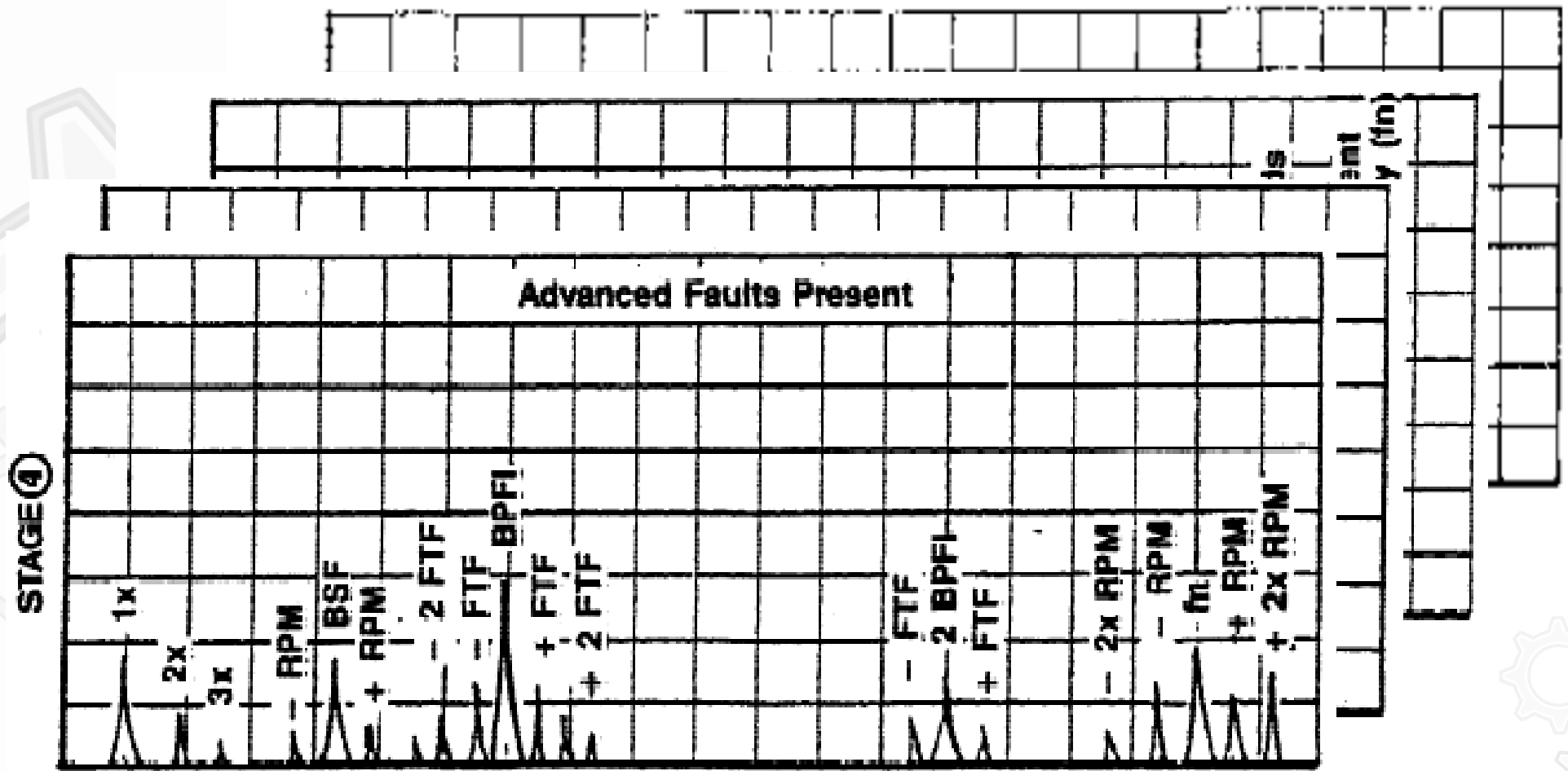


DM - Cuscinetti

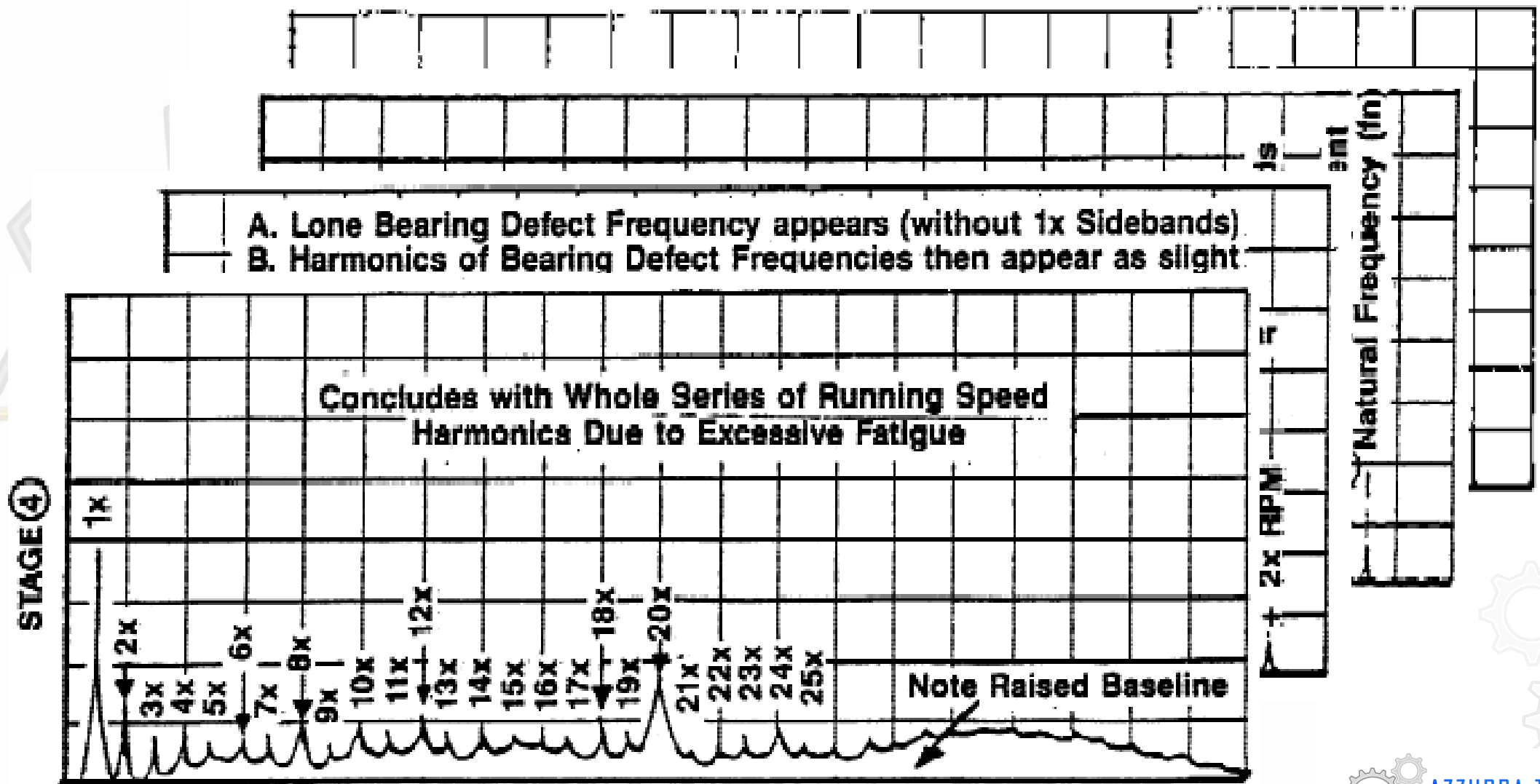
STAGE ④



DM - Cuscinetti



DM - Cuscinetti



DM - Riduttori

- Misure da eseguire su tutti gli assi ortogonali
- Molto importante il carico
- Time domain spesso utile per identificare anomalie
- Solitamente presenza di bande laterali
- Indicatore importante crest factor

