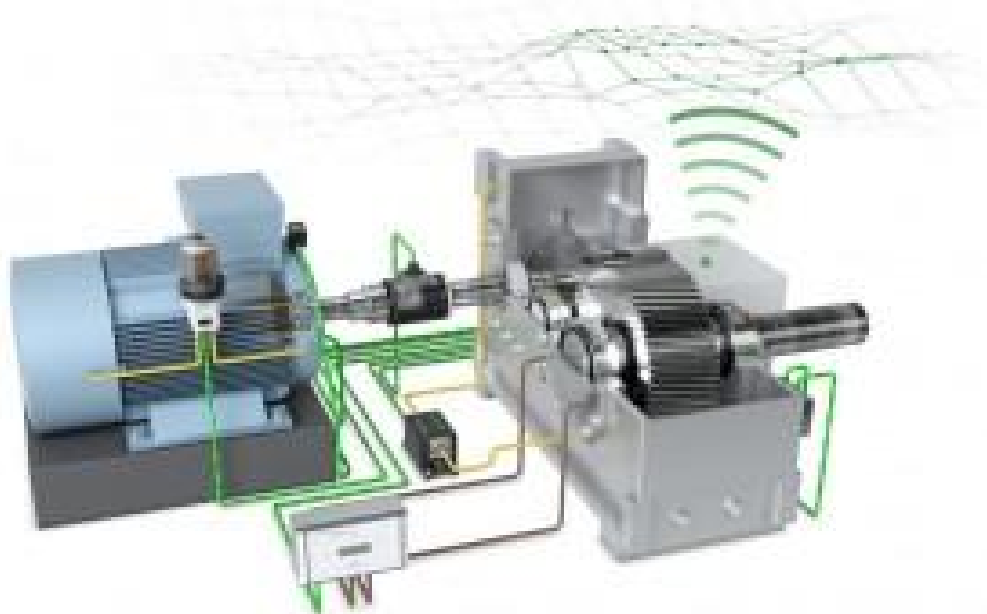




Corso Base Condition Monitoring e Analisi Vibrazioni



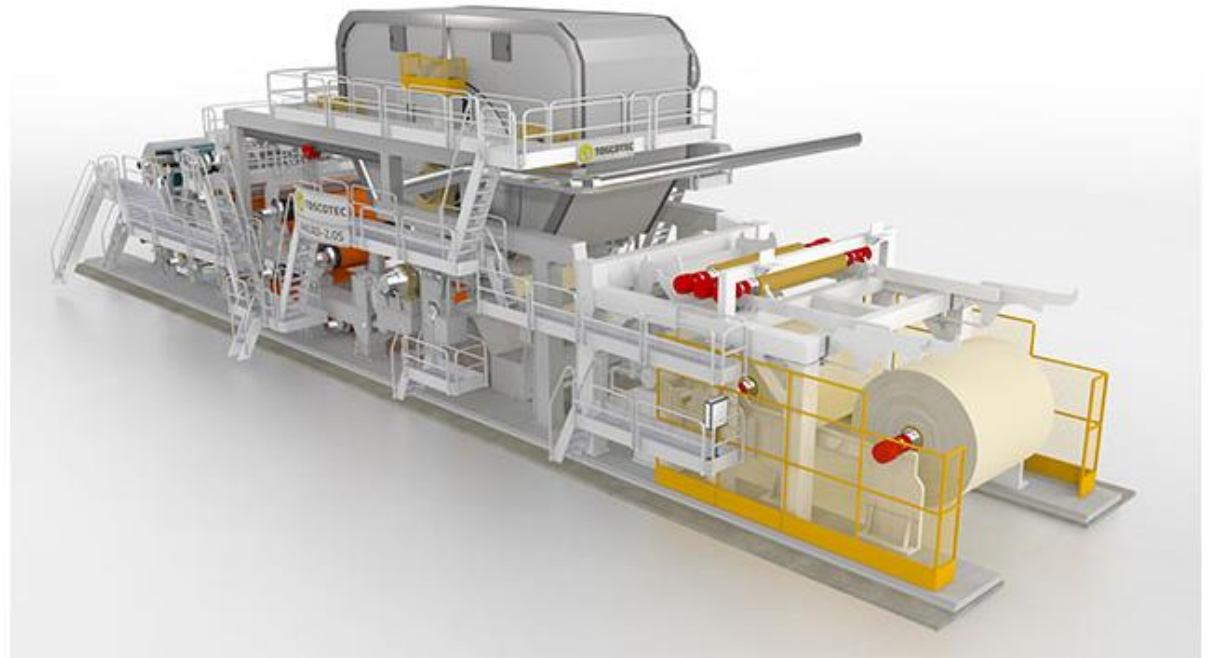
Condition Monitoring

- Analisi vibrazionale
- Analisi di lubrificanti
- Analisi delle particelle
- Ultrasuoni ed emissioni acustiche
- Termografia/infrarossi
- Circuiti motore

Solo conoscendo le condizioni di
una macchina è possibile
pianificare azioni mirate ed
efficaci

Ad una macchina per la produzione di carta Tissue, utilizzata per il confezionamento di fazzoletti, può «*parlarci*» delle proprie condizioni attraverso:

- VIBRAZIONI
- TEMPERATURA
- ANALISI OLIO
- SUONO
- ENDOSCOPIA
- MISURA DI TENSIONE/CORRENTE/ISOLAMENTO DEI MOTORI



Facendo riferimento al corpo umano è come prendere la pressione sanguinea, fare un elettrocardiogramma, analisi del sangue. Possiamo quindi effettuare sulla macchina una serie di analisi per determinare il suo stato di «*salute*»



Per mantenere in buona salute il nostro corpo è buona norma seguire una corretta alimentazione, fare esercizio fisico



Prendendoci cura delle macchine aumenteremo la loro efficienza e produttività.

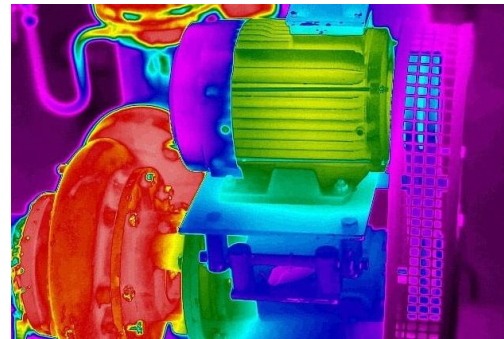
Accorgimenti iniziali:

- Seguire le specifiche tecniche in fase di prima installazione
- Corretta installazione
- Effettuare tutti i controlli prima della messa in servizio
- Precisione nell'equilibratura (in caso di parti rotanti)
- Qualità dell'allineamento delle trasmissioni
- Appropriata lubrificazione
- Root Case Failure analysis da effettuarsi in caso di guasto per evitare che la problematica si ripeta.

Tutti questi accorgimenti in fase iniziale contribuiranno ad aumentare la *disponibilità* delle macchine, ridurre i *costi* dovuti agli interventi manutentivi, ridurre i *costi* di magazzino ricambi, incrementare i *profitti*.



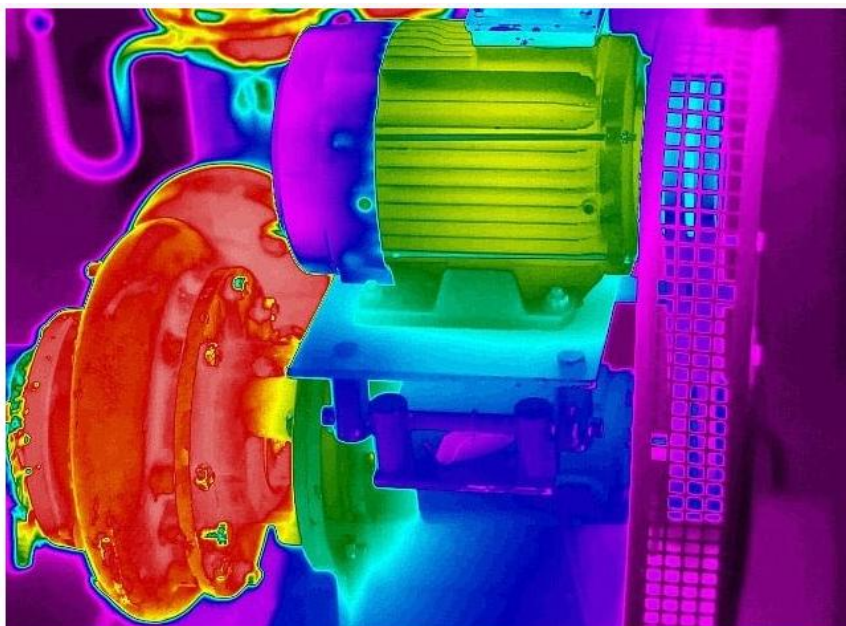
Ogni tecnologia utilizzata ci rivela qualcosa.
E' importante selezionare le tecnologie di monitoraggio più appropriate per le nostre macchine ed effettuare i controlli frequentemente.
Ovviamente i migliori risultati si ottengono con la combinazione di più tecnologie





Diagnosi principio usura pista esterna cuscinetto monolucido cartiera

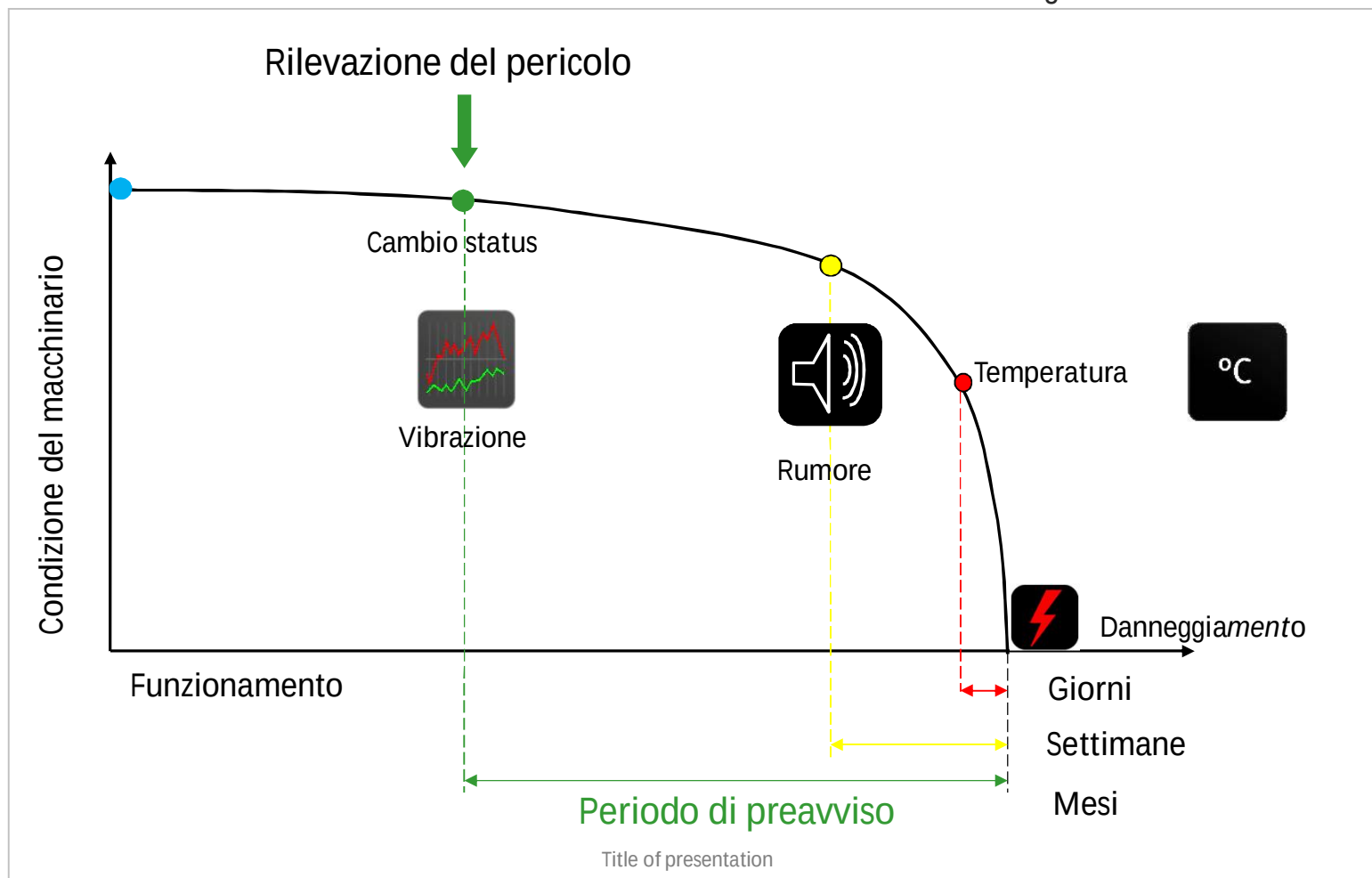






Analisi Vibrazioni

Curva di deterioramento dei macchinari e conseguenti effetti



Le misurazioni in campo con strumentazione portatile, anche dette misure OFFLINE necessitano di personale più o meno esperto sul campo.

Il grado di qualifica/esperienza dell'operatore è funzione del grado di analisi che voglio fare.

Monitoraggio di 1° livello

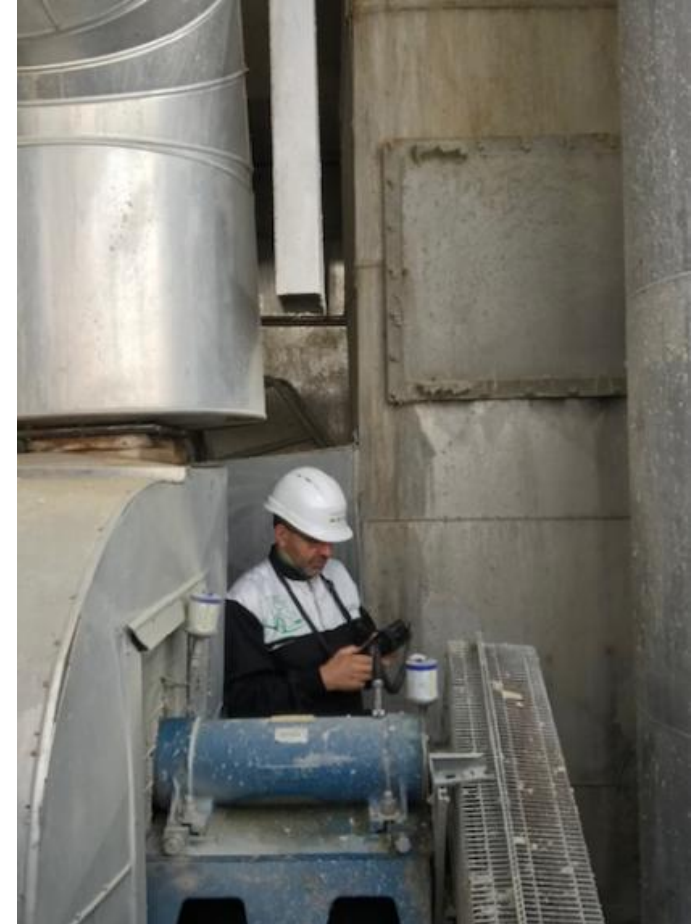
Si effettuano misure periodiche rilevando il valore globale della vibrazione prodotta da un macchinario rotante (RMS) e lo si confronta con i valori di riferimento sanciti dalla normativa ISO 10816-3

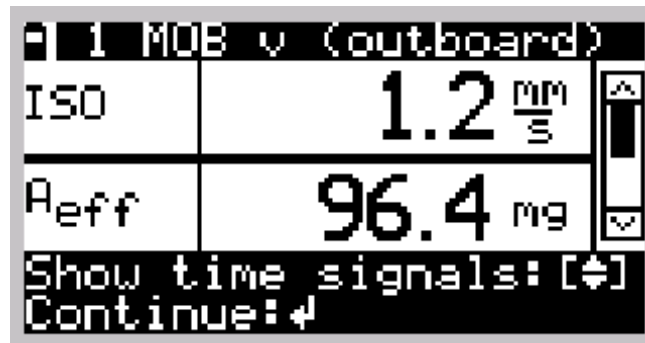
NON richiede personale particolarmente specializzato

Monitoraggio di 2° livello - Diagnostica

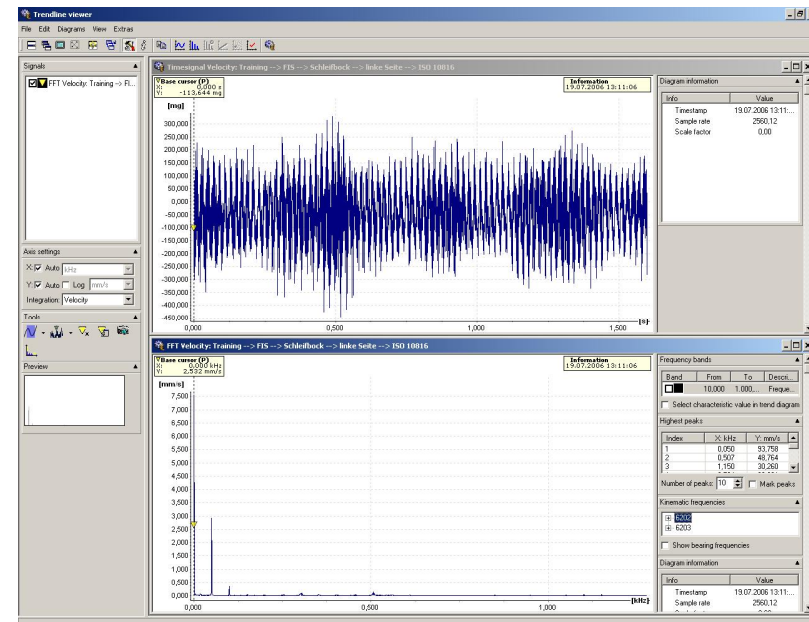
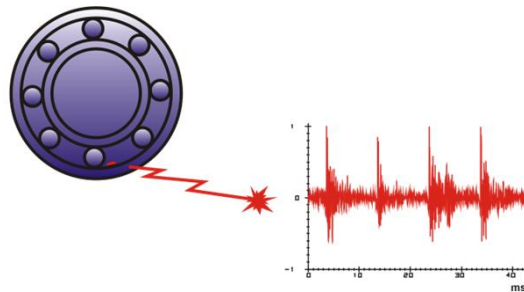
Si attua dopo aver superato i valori di pre-allarme con il monitoraggio di 1° livello, o con misure occasionale per ricercare specifiche problematiche delle macchine rotanti e dei cuscinetti a rotolamento mediante l'analisi in frequenza FFT

Richiede personale altamente specializzato



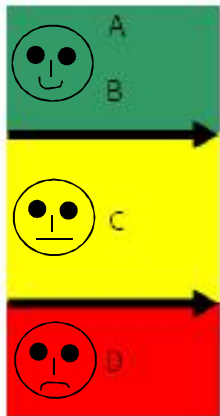
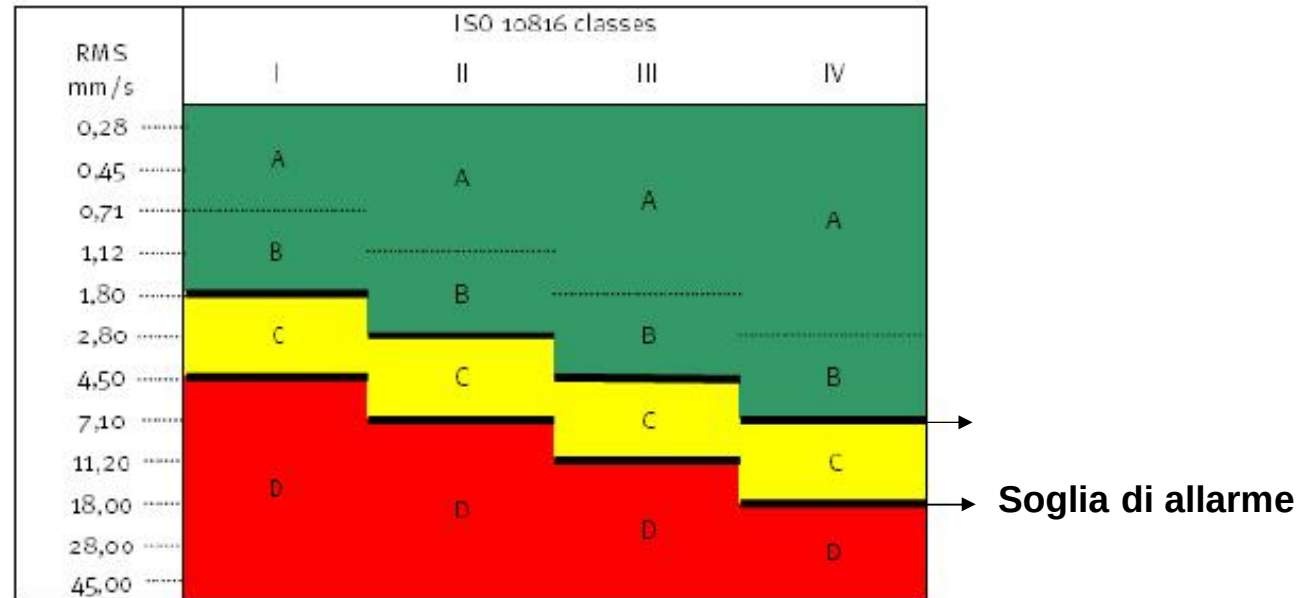


Analisi di 1° livello -Monitoraggio



Analisi di 2° livello - diagnostica

Norme ISO 10816-1

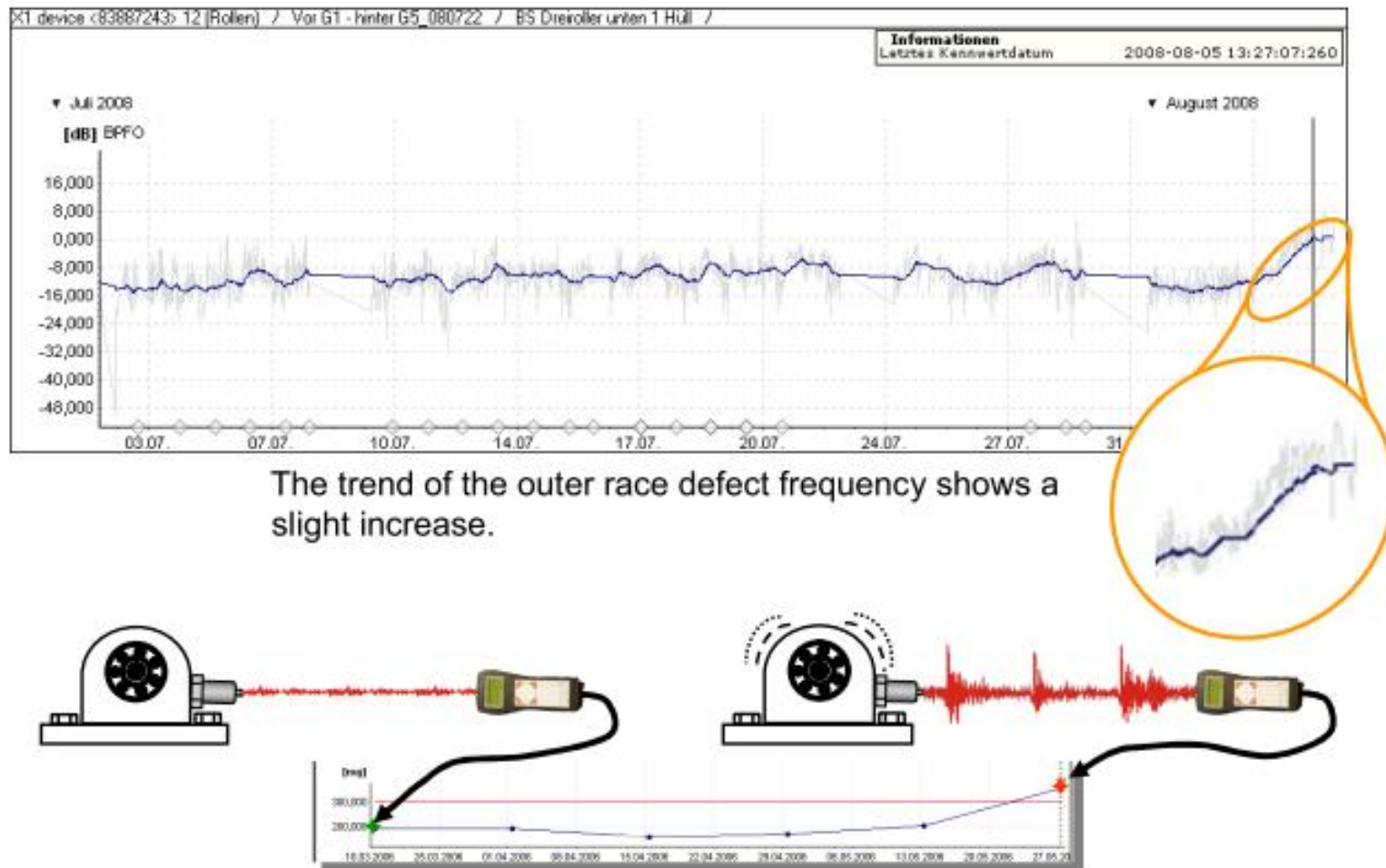


A – Tipico per macchina nuova

B – Macchina in condizioni adatte per un servizio continuo

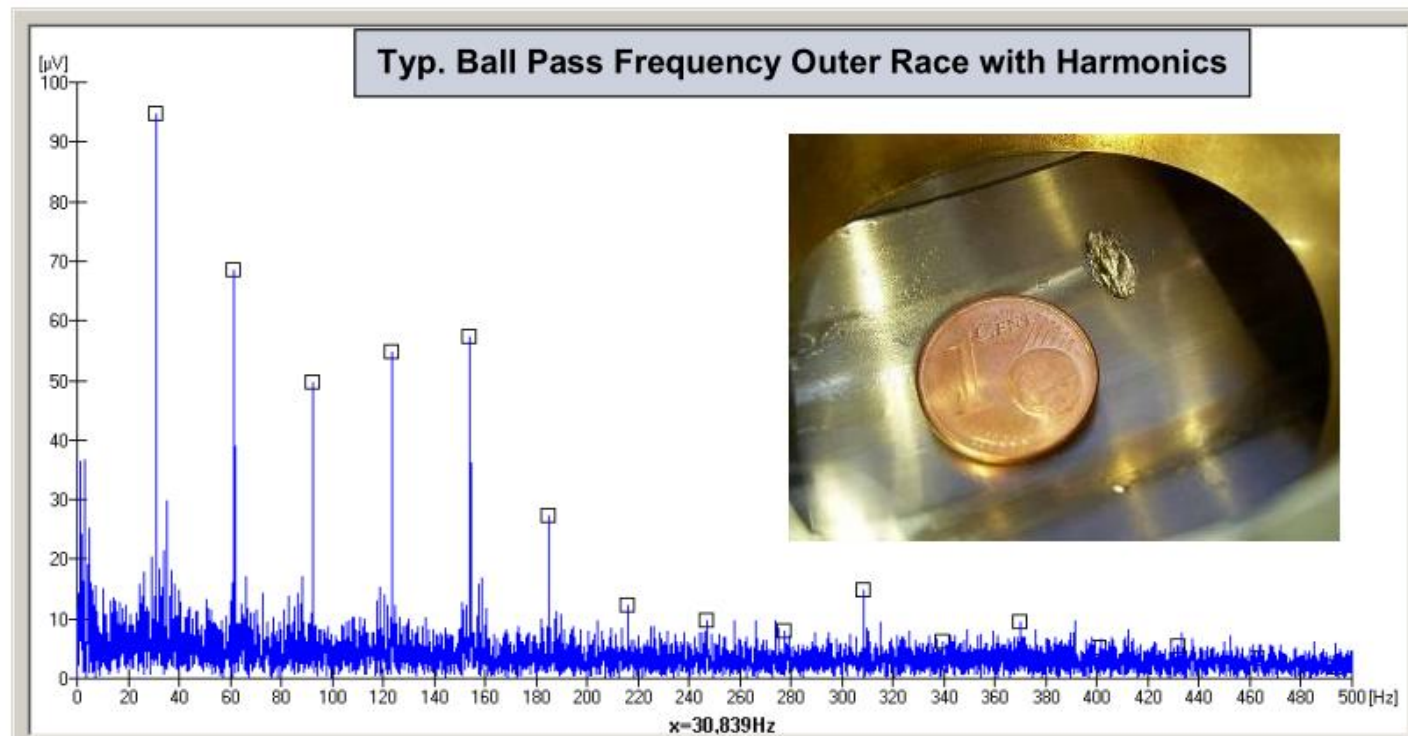
C – Macchina in condizioni NON adatte per un servizio continuo, limitata affidabilità in condizioni di esercizio

D – Condizioni di vibrazione pericolosa, rischio di danneggiamento immediato



Esempio: Difetto su anello interno

Un difetto su un anello interno di un cuscinetto verrà visualizzato con **modello specifico** a **specifiche frequenze** in relazione alla **velocità di rotazione**.



Misure di 1° Livello



Cosa sono?

Che cosa indicano?

Come e con cosa si fanno?

Come si valutano?



Cosa sono?

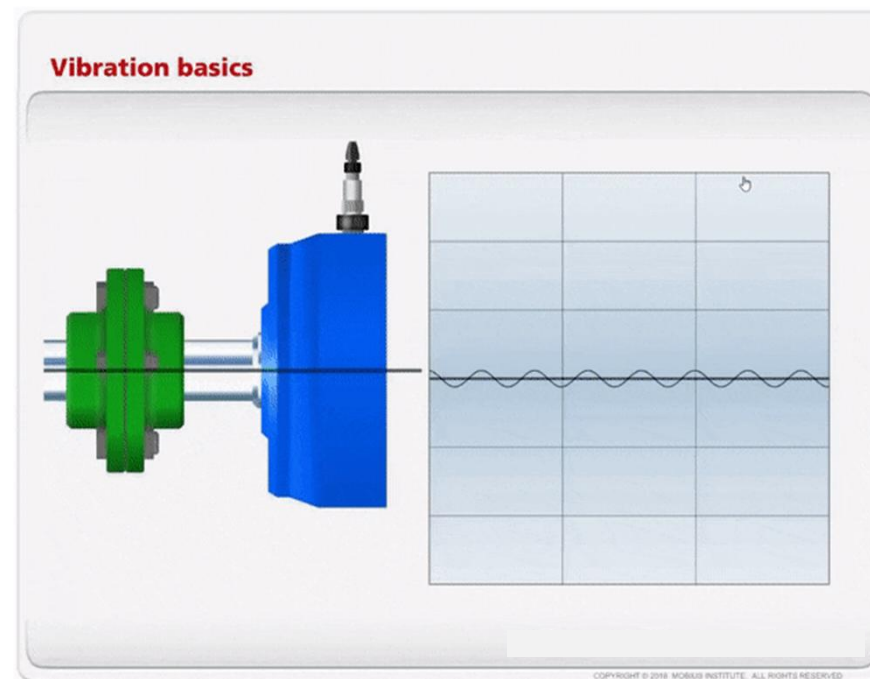
Sono le misure che esprimono tramite un valore numerico la quantità di energia prodotta dalla vibrazione (valore RMS).

La misura può essere effettuata in:

Velocità (mm/s)

Accelerazione (g)

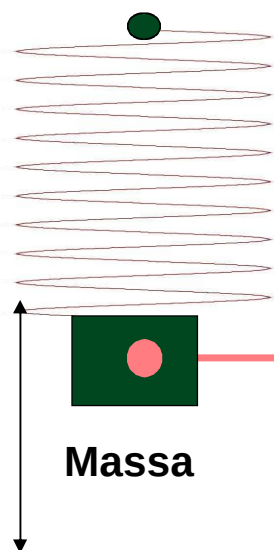
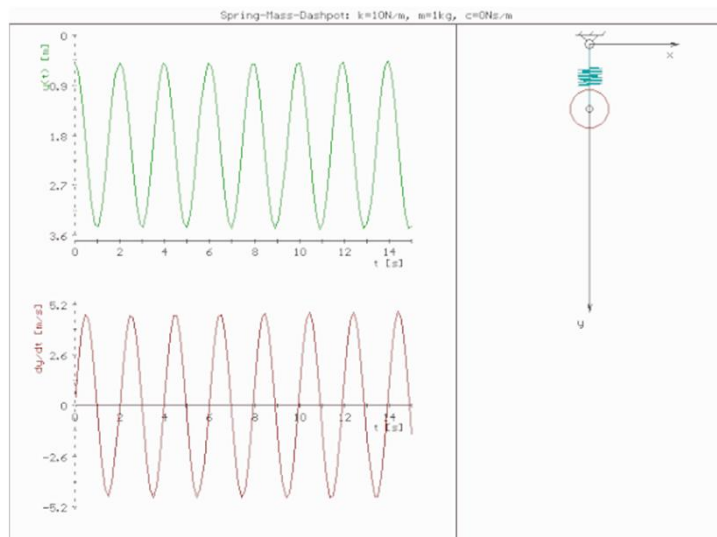
Demodulazione (g)



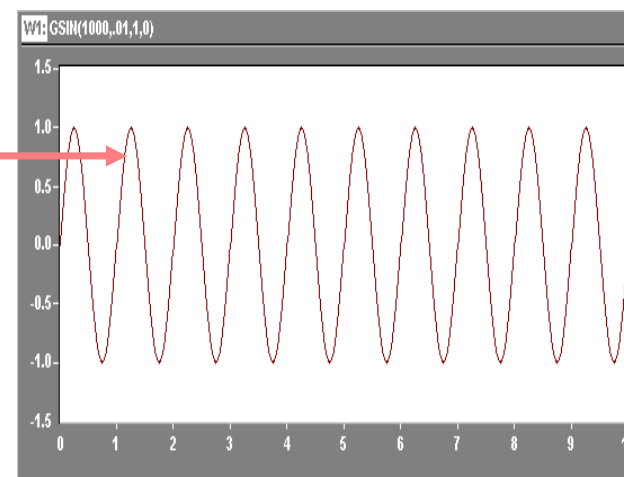


Che cosa indicano?
La Vibrazione

Che cosa è una vibrazione?



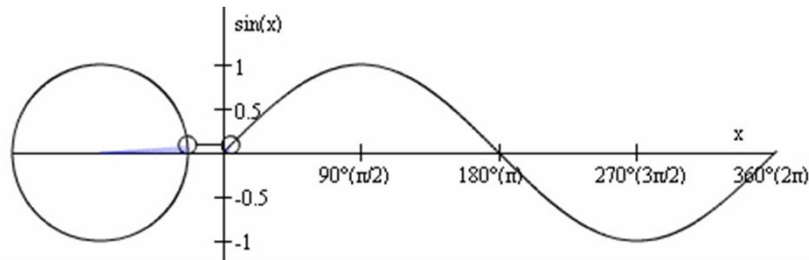
“Una vibrazione è il movimento periodico di un corpo rispetto ad una posizione di riferimento fissa.”



Una vibrazione si verifica a causa di un'applicazione di una forza che causa un movimento!

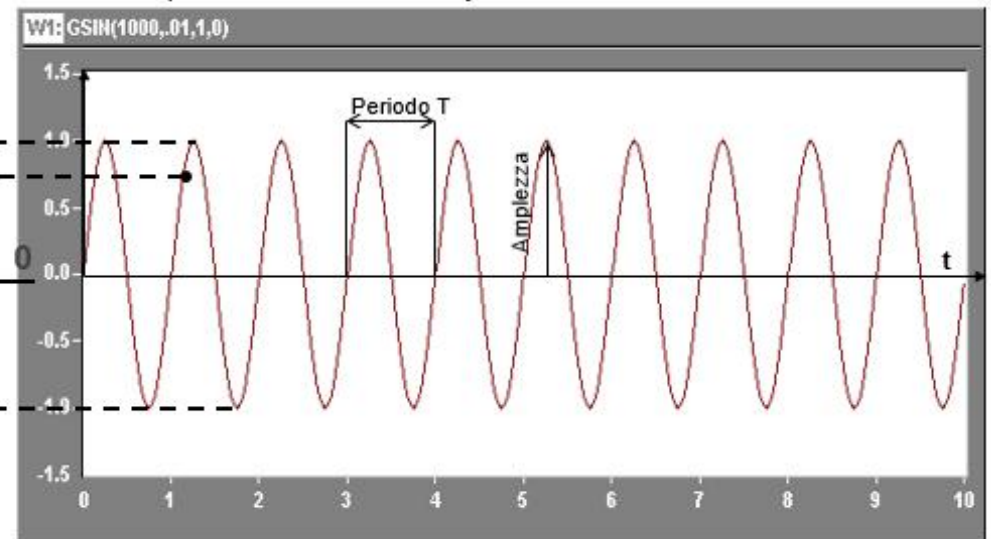
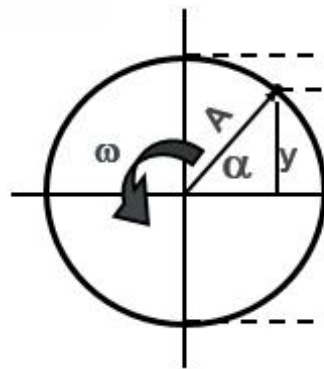
Visualizzazione di un movimento sinusoidale

SCHAEFFLER



Rappresentazione di un movimento sinusoidale:

- tempo sull'asse delle x
- ampiezza sull'asse delle y

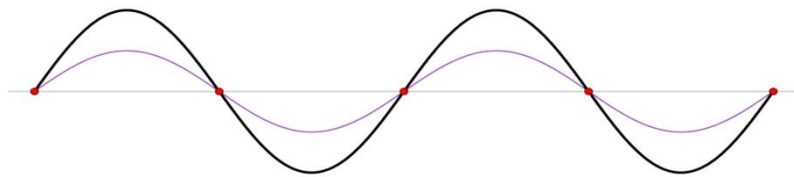


$$Y(t) = A \cdot \sin \alpha(t) = A \cdot \sin (\omega \cdot t + \alpha_0)$$

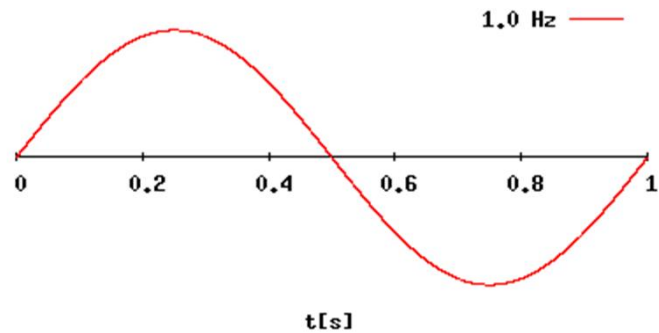
frequenza: $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ in [Hz] oppure $[s^{-1}]$

Vi sono tre principali caratteristiche del segnale di vibrazione che devono essere prese in considerazione:

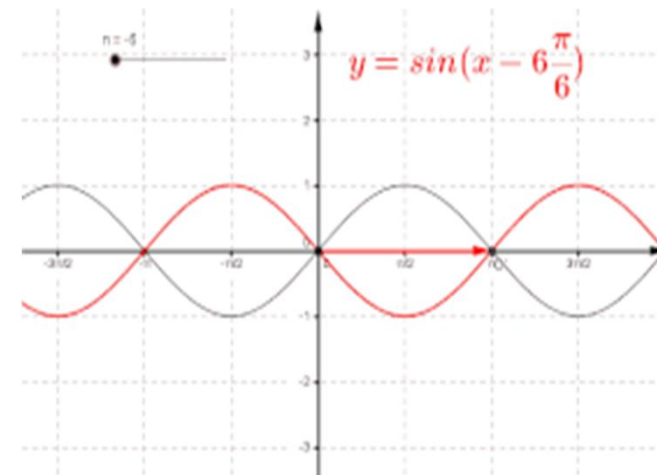
- Ampiezza di vibrazione (Velocità – Accelerazione - Spostamento)



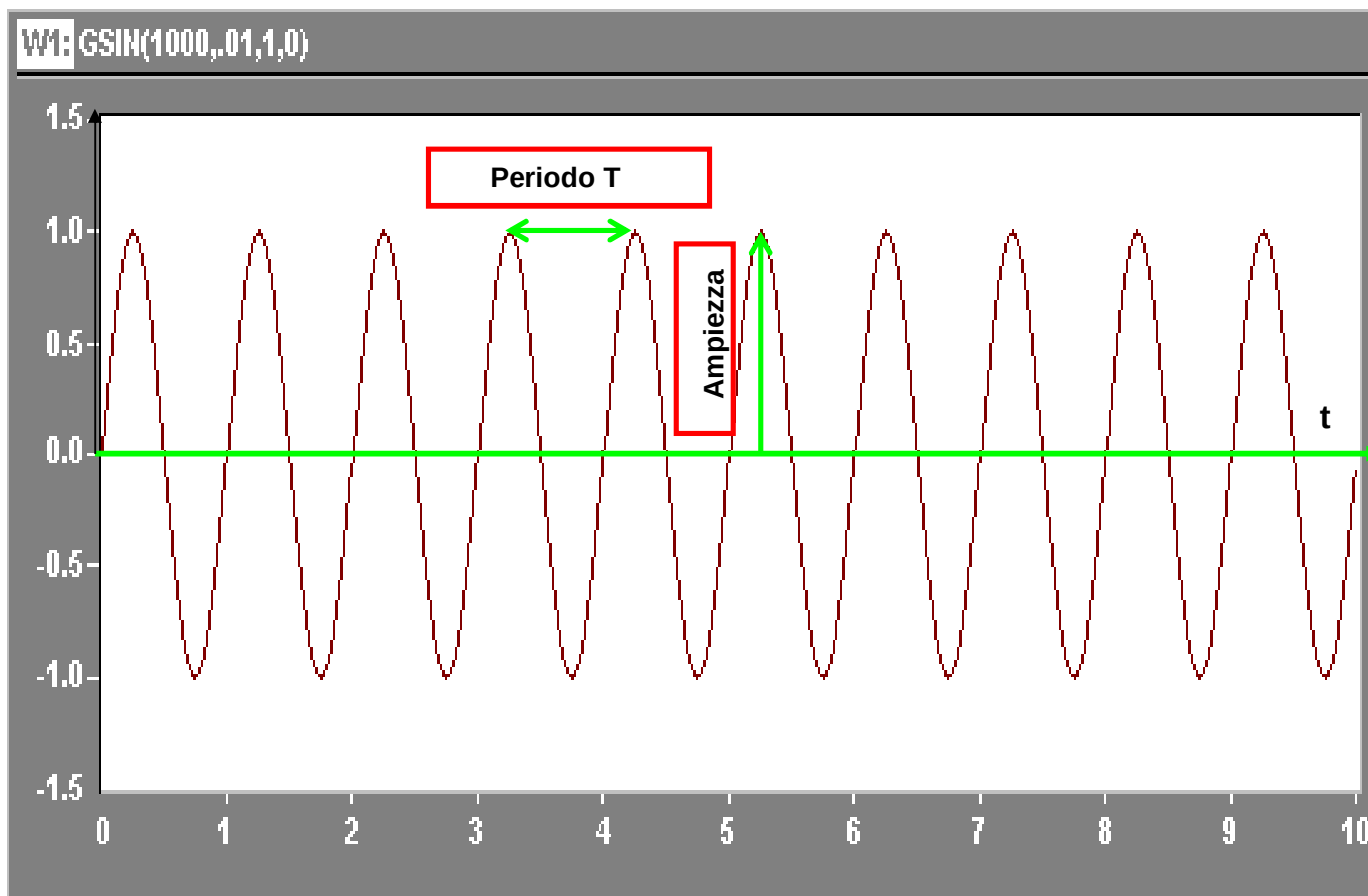
Frequenza



Fase

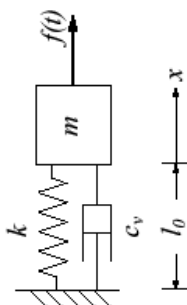
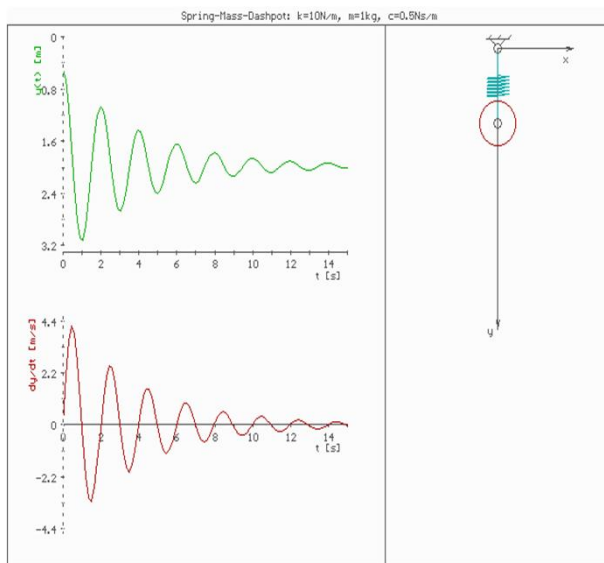


Rappresentazione della vibrazione

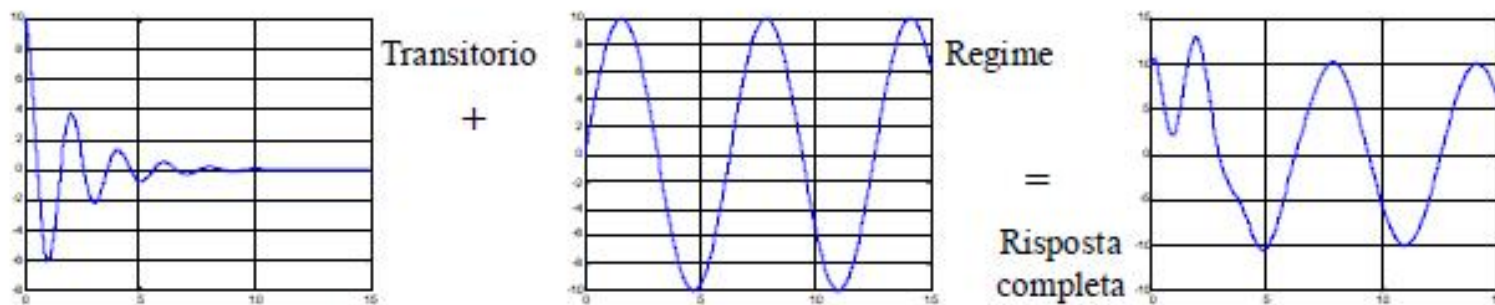


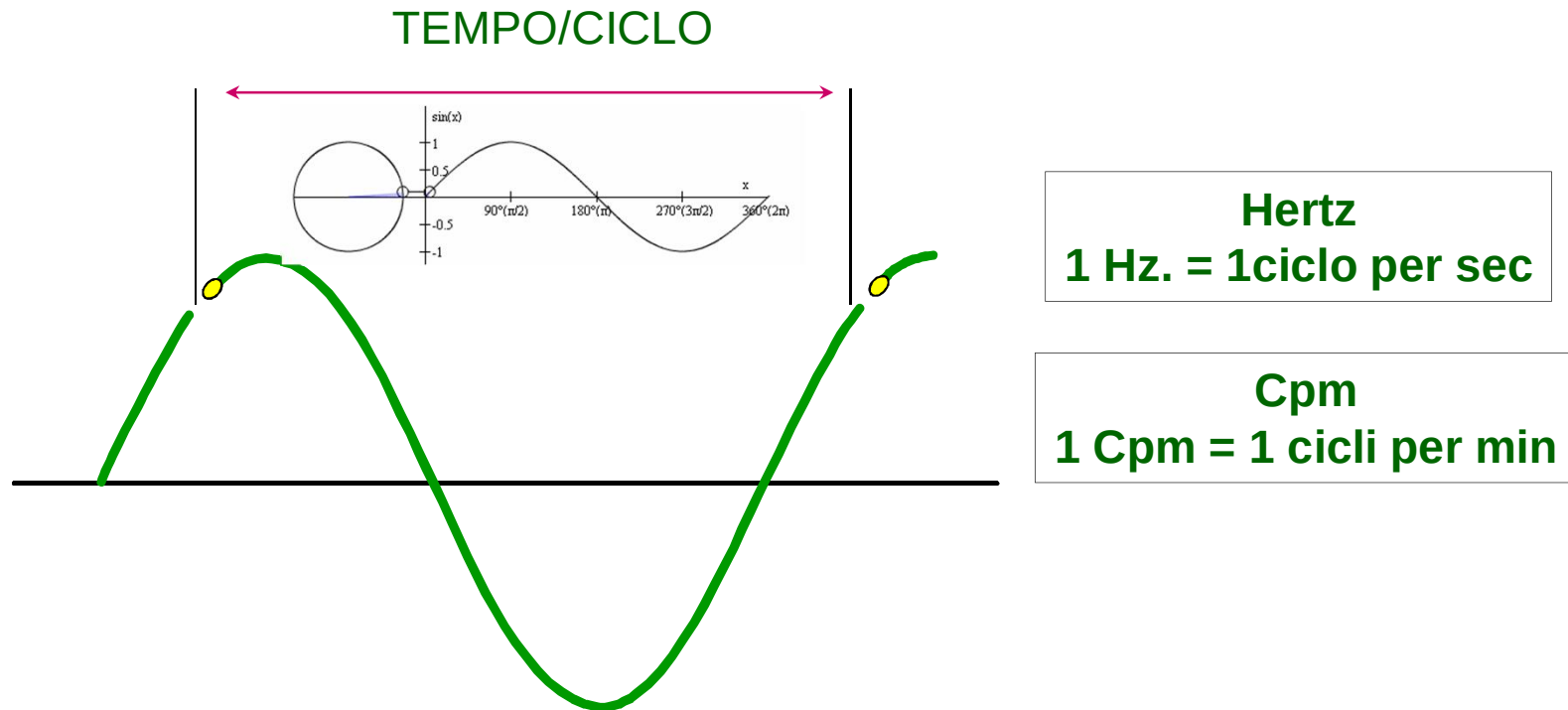
Meccanica delle vibrazioni

Nella pratica, un sistema massa-molla, in assenza forze esterne, tende a smorzarsi



Se sul sistema agisce un forza esterna $f(t)$, allora la vibrazione finale sarà il risultato di un transitorio iniziale che tende a smorzarsi e di un moto a regime che dipende dalla forza di eccitazione.





Il tempo impiegato per completare un ciclo rappresenta il periodo della vibrazione.

La misura del numero di periodi nel tempo rappresenta la frequenza.

Come si calcola la frequenza?

La forma d'onda sinusoidale può essere considerata l'effetto della vibrazione più semplice, ottenuta dall'oscillazione nel tempo di una massa intorno al suo punto d'equilibrio. Questa forma d'onda ha come caratteristica quella di essere periodica e cioè di ripetersi uguale a se stessa ad intervalli di tempo costanti.

La frequenza, espressa in Hz cioè in “cicli / secondo”

oppure in

CPM o RPM cioè “cicli / minuto”,

è esattamente la funzione inversa o reciproca del periodo “T” e cioè :

$$f = 1/T.$$

L'analisi della frequenza delle singole componenti sinusoidali che costituiscono la vibrazione più complessa è un potente mezzo per l'identificazione delle cause di problemi sul macchinario rotante.

L'equivalenza tra Hz e CPM è :

$$1 \text{ Hz} = 60 \text{ CPM o RPM}$$

$$24,75 \text{ Hz} = 1485 \text{ CPM o RPM} \quad (\text{Hz} \times 60)$$

$$2985 \text{ CPM o RPM} = 49,75 \text{ Hz} \quad (\text{RPM} / 60)$$

Tipi di movimento

- **armonico**
- **periodico**
- **casuale (random)**

esempi:

evento singolo	→ random,
movimento sinusoidale	→ armonico
eventi a intervalli regolari	→ periodico

Come può essere misurata una vibrazione?

Un trasduttore recepisce una vibrazione meccanica e la converte in un segnale elettrico proporzionale.

Il segnale in uscita dal trasduttore è proporzionale a :

- **quanto** (ampiezza)
- **quanto velocemente** (frequenza)

una macchina sta vibrando

Rappresentazione di una vibrazione

**La vibrazione viene rappresentata
mediante due tipologie di diagrammi:**

- **in funzione del tempo (time domain – time waveform)**

l'ampiezza della vibrazione viene rappresentata secondo la sua evoluzione nel tempo. Il diagramma risultante può essere anche molto complesso

- **in funzione della frequenza (frequency domain – spectrum)**

Sull'asse delle y viene rappresentata l'ampiezza della vibrazione, sull'asse delle x viene rappresentata la frequenza

“Frequenza”

- ci da indicazioni sulle cause della vibrazione.

“Ampiezza”

- ci da indicazioni sulla severità del problema

L'ampiezza della vibrazione può essere misurata in tre modi diversi:

- Spostamento di vibrazione
- Velocità di vibrazione
- Accelerazione di vibrazione

Perché servono 3 unità di misura ?

SPOSTAMENTO (s)

- Campo consigliato da 2 a 200 Hz.
- Unità di misura micron o mils (millesimo di pollice)

VELOCITA' (v)

- Campo consigliato da 2-10 a 1000 Hz. (norme ISO)
- Unità di misura mm/sec

ACCELERAZIONE (a)

- Campo consigliato da 1000 a 20.000 Hz
- Unità di misura g o m/sec^2

Confronto fra le unità

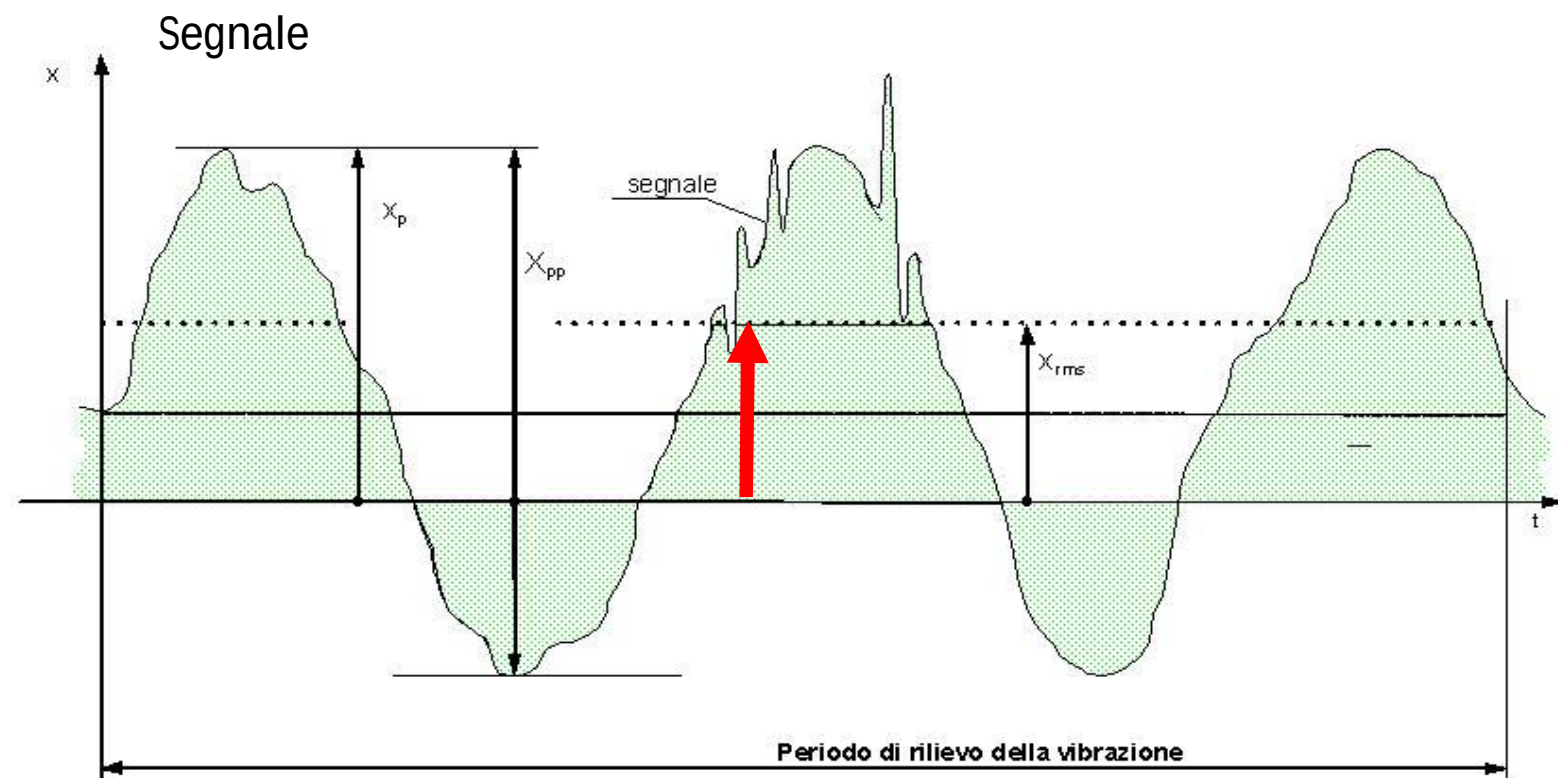
SCHAEFFLER

Pk-Pk. : Preferibile quando si è interessati allo spostamento massimo ad esempio problemi legati a carico su componenti di macchina e prevalentemente su cuscinetti a strisciamento con sonde di prossimità

0-Pk. : E' prevalentemente utilizzato per fenomeni transitori

RMS : Il valore RMS o valore Efficace è la radice quadrata della media dei quadrati dei valori della forma d'onda acquisiti dallo strumento. Il valore efficace rappresenta l'energia associata alla vibrazione

A 1 MOB v (outboard)	
ISO	1.2 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$
A_{eff}	96.4 mg
Show time signals: [↔]	
Continue: 4	



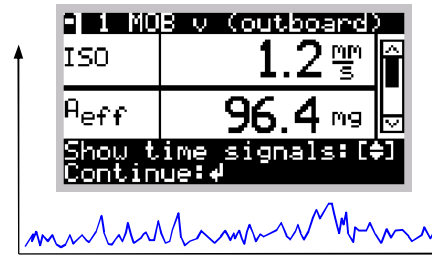
Dimensioni e unità ISO 2041/ (DIN 45661)

1. x_{rms} = Valore RMS (root mean square) valore efficace
2. x_p = valore picco

3. x_{pp} = valore picco-picco

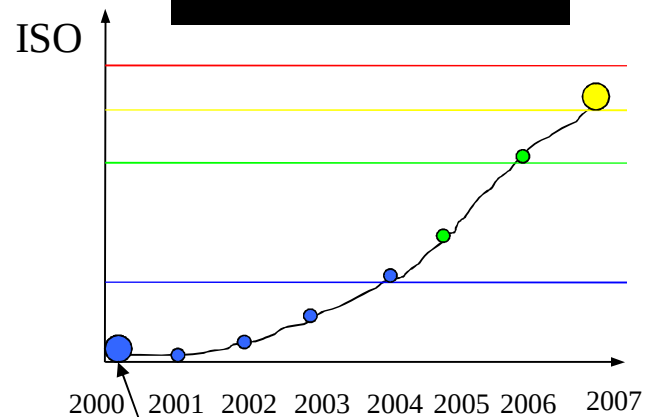
Impostazione di un programma di Manutenzione predittiva

SCHAEFFLER



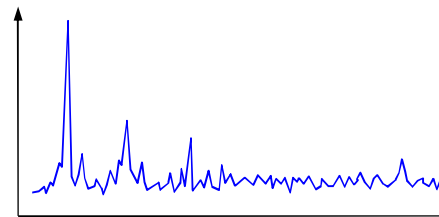
Normativa ISO 10816 – 1
valore RMS

Spettro di frequenza
FFT



Trend valori ISO
in condizioni di esercizio

Installazione macchina
nuova o revisionata







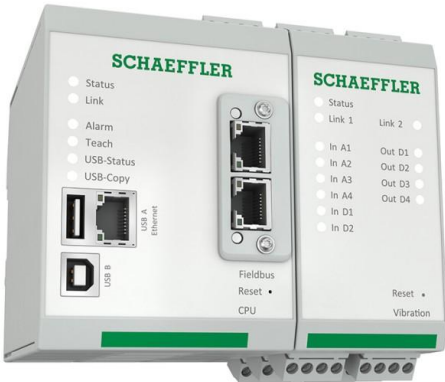
Come si fanno?



DETECTOR III



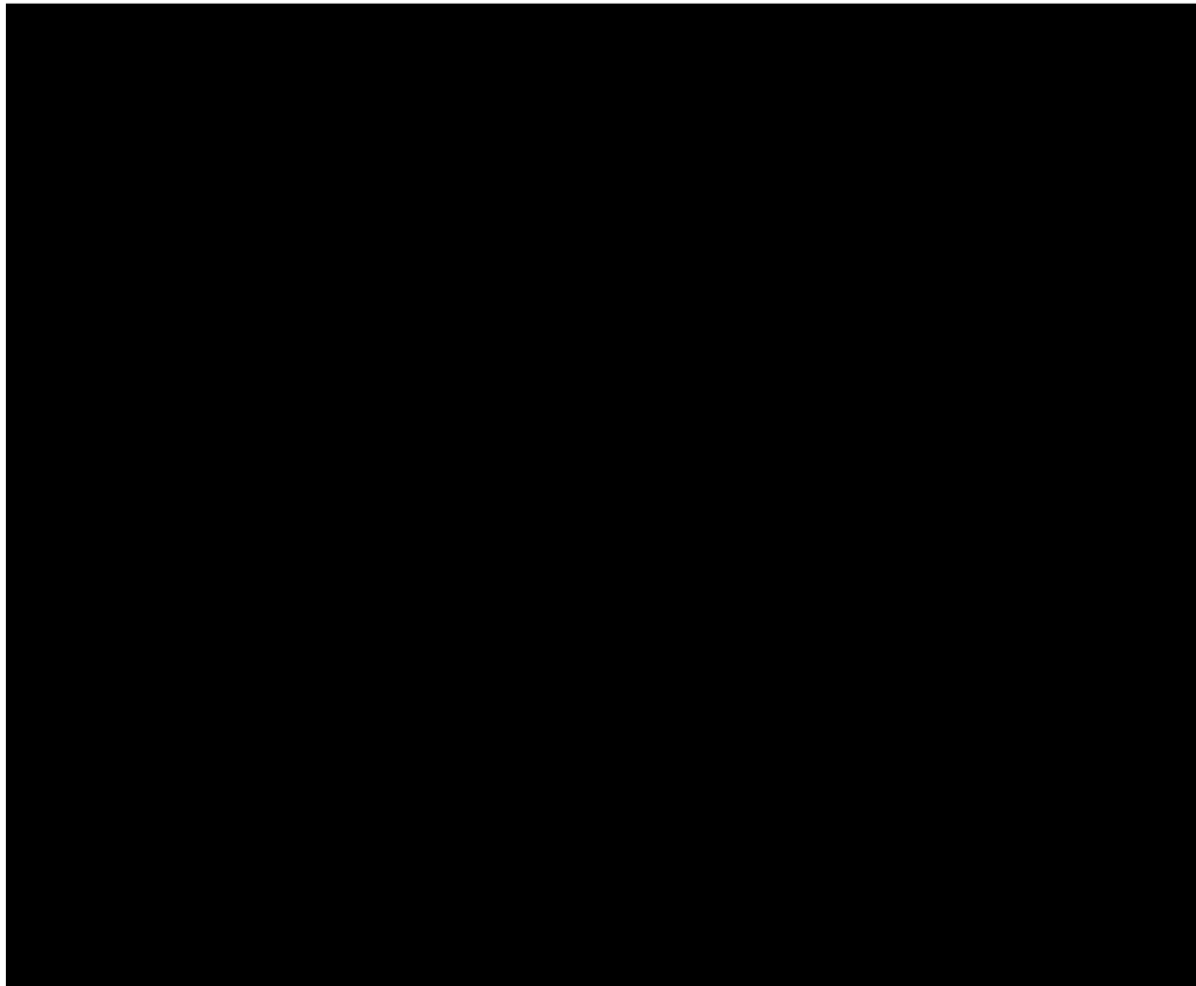
SMARTCHECK



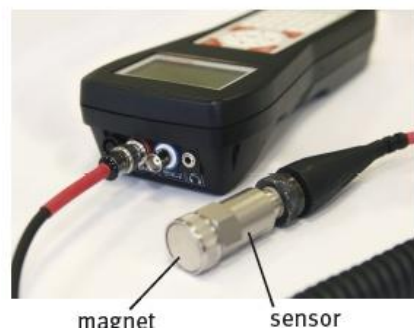
PROLINK



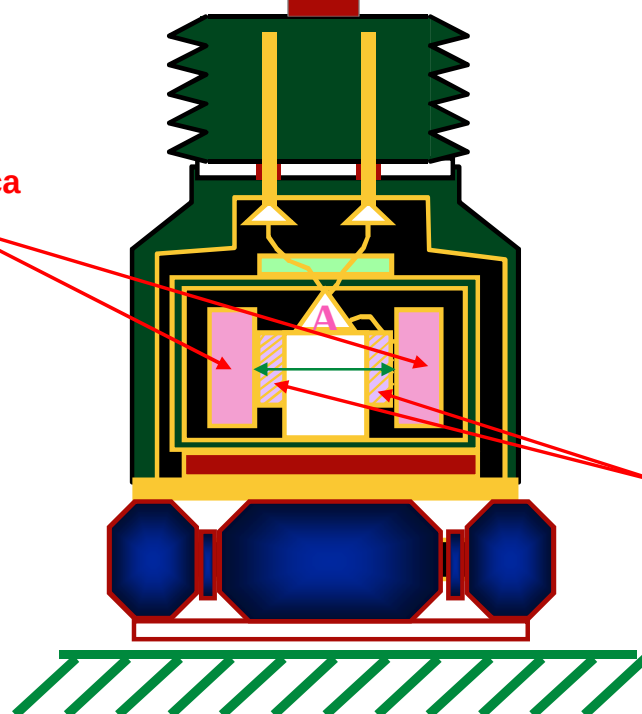
OPTIME



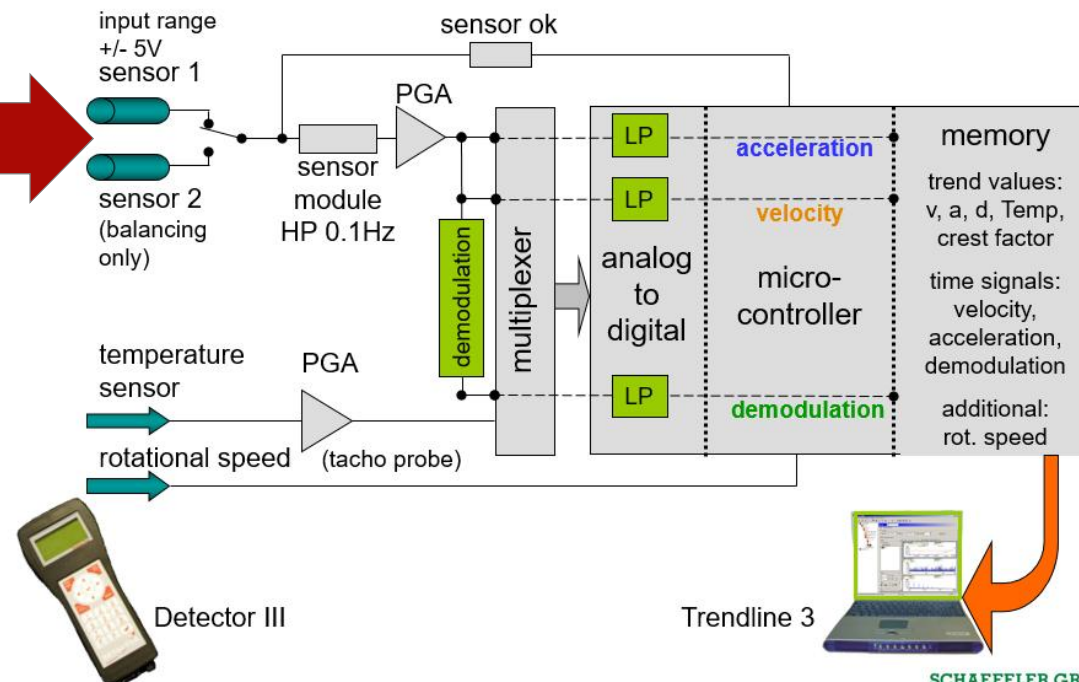
Parametro	Spiegazione
ISO 10816	Valore effettivo della velocità di vibrazione campo di frequenza: 10 Hz fino a 1 kHz Unità: mm/s
v_{sel}	Valore effettivo della velocità di vibrazione con frequenza limite superiore e inferiore a scelta campo di frequenza: 2 Hz fino a 1 kHz Unità: mm/s
a_{eff}	Valore effettivo della vibrazione campo di frequenza: 2 kHz fino a 20 kHz Unità: g
a_{sel}	Valore effettivo della vibrazione con frequenza limite superiore e inferiore a scelta campo di frequenza: 2 kHz fino a 20 kHz Unità: g
d_{eff}	- Segnale della curva di inviluppo della accelerazione di vibrazione con passabasso regolabile - campo di frequenza: 0 Hz fino a 100 Hz o 1 kHz Unità: g
d_{sel}	- Segnale della curva di inviluppo della accelerazione di vibrazione con passabasso regolabile e con frequenza limite superiore e inferiore a scelta - campo di frequenza: 0 Hz fino a 100 Hz o 1 kHz Unità: g

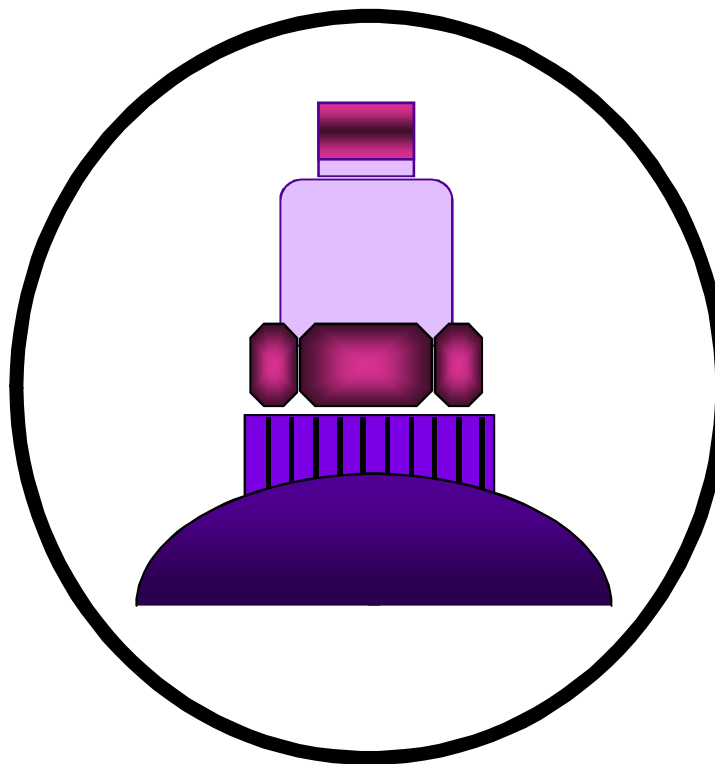


Massa sismica

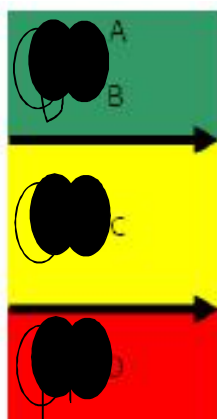
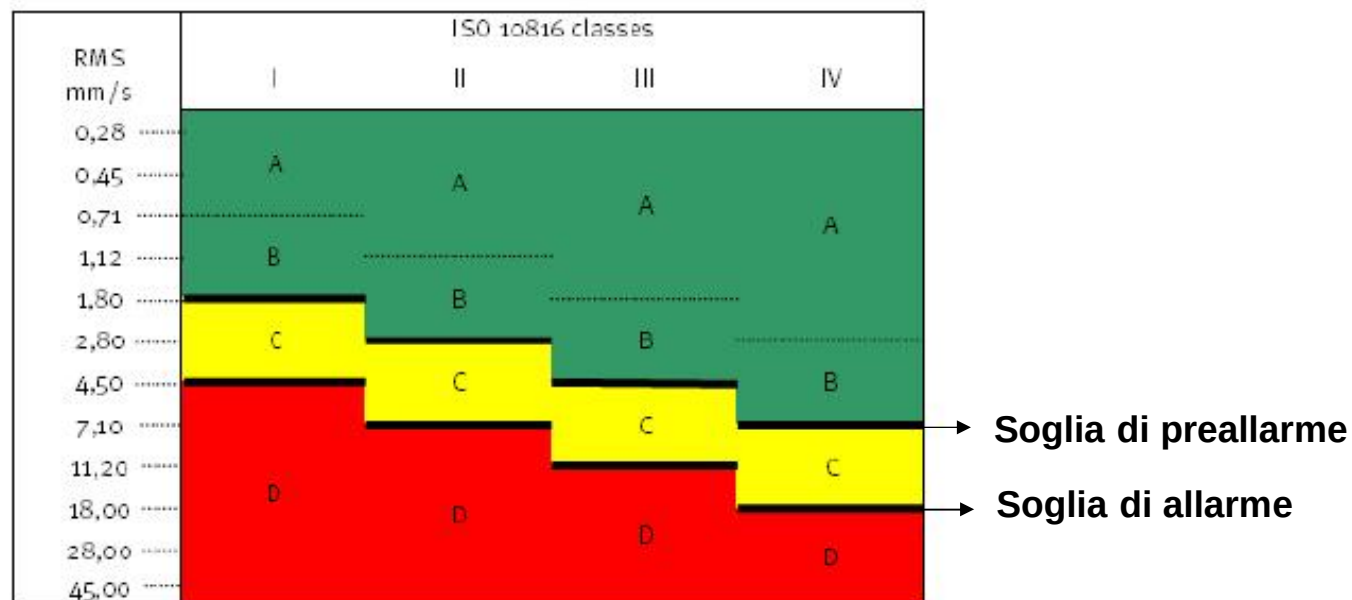


Cristalli piezoelettrici





Norme ISO 10816-1



A – Tipico per macchina nuova

B – Macchina in condizioni adatte per un servizio continuo

C – Macchina in condizioni NON adatte per un servizio continuo, limitata affidabilità in condizioni di esercizio

D – Condizioni di vibrazione pericolosa, rischio di danneggiamento immediato

Norme ISO 10816-3

SCHAEFFLER

								Velocity 1.0-1.000 Hz $r \leq 600 \text{ rpm}$ 2-1.000 Hz $r > 1.200 \text{ rpm}$	11	0.44
									7,1	0.28
									4,5	0.18
									3,5	0.11
									2,8	0.07
									2,3	0.04
									1,4	0.03
									0,71	0.02
									mm/s rms	inch/s rms
									rigid	flexible
pumps > 15 kW radial, axial, mixed flow				medium sized machines 15 kW < P ≤ 300 kW		large machines 300 kW < P < 50 MW		Machine Type		
integrated driver		external driver		motors 160 mm ≤ H < 315 mm		motors 315 mm ≤ H				
Group 4		Group 3		Group 2		Group 1		Group		
A newly commissioned B unrestricted long-term operation C restricted long-term operation D vibration causes damage										

Norme ISO 10816-1

Classe I

Singoli componenti collegati integralmente al macchinario completo nelle normali condizioni operative
(motori elettrici fino a 15 kW);

Classe II

Macchine di media taglia (motori elettrici da 15 a 75 kW e motori fino a 300 kW su basamenti speciali)

Classe III-Motori di grandi dimensioni e altre grosse macchine con masse rotanti, montati su basamenti pesanti e rigidi e che sono particolarmente inflessibili nella direzione dove la vibrazione deve essere misurata

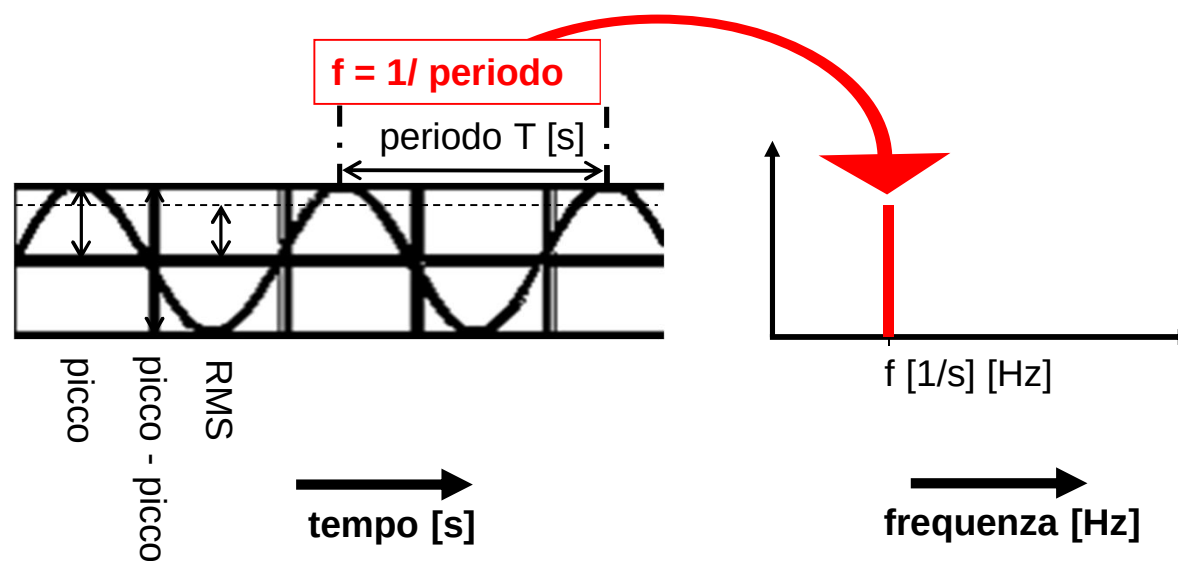
Classe IV

Motori di grandi dimensioni ed altre grosse macchine con masse rotanti montate su basamenti relativamente elastici (flessibili) o strutture di tipo leggero nella direzione della vibrazione (es. turbogeneratori e turbogas con potenza superiore a 10MW)



Analisi di spettro FFT

Spettro di un segnale sinusoidale

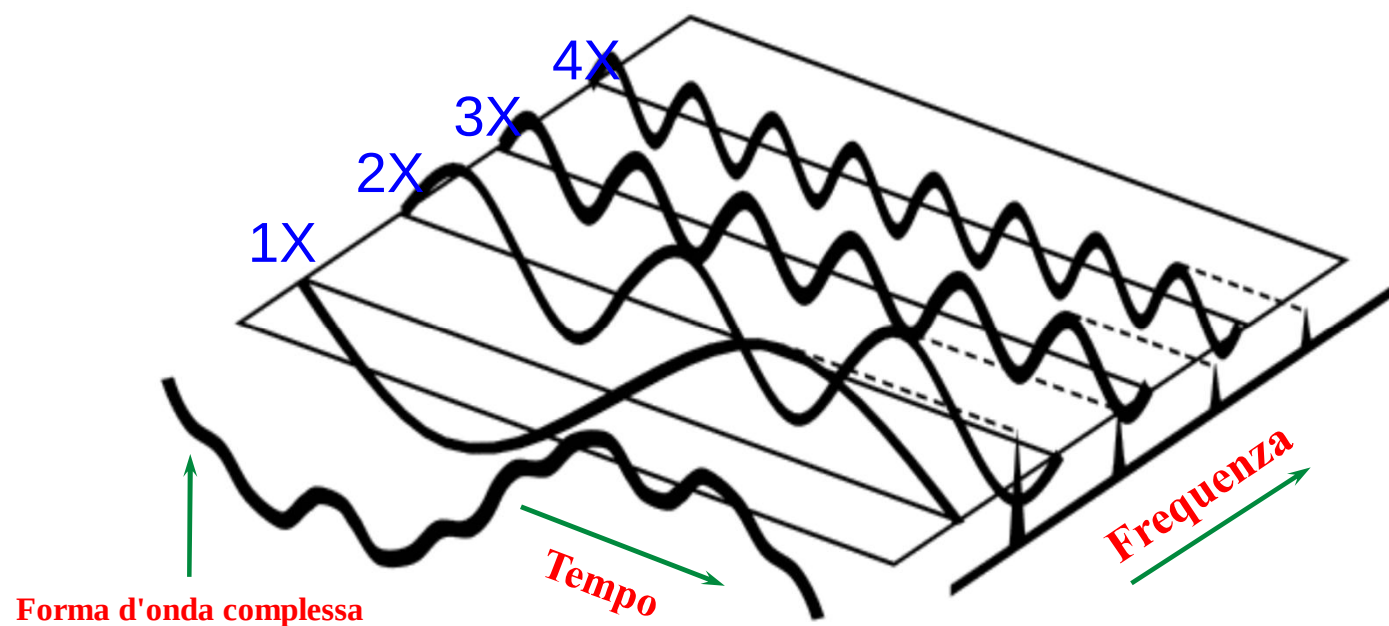


Rappresentazione in
funzione del tempo

Rappresentazione in
funzione della frequenza

Dal dominio del Tempo allo spettro di Frequenza

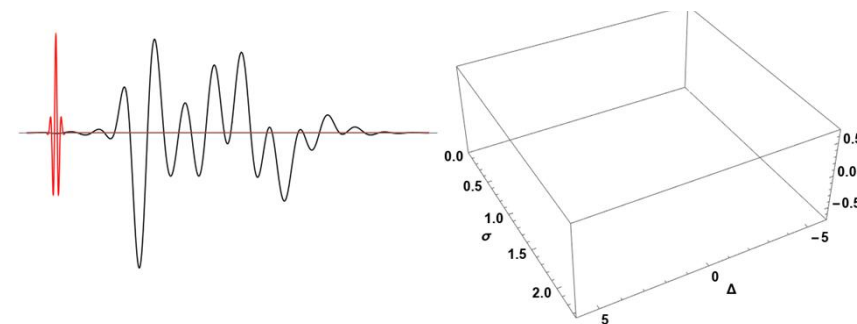
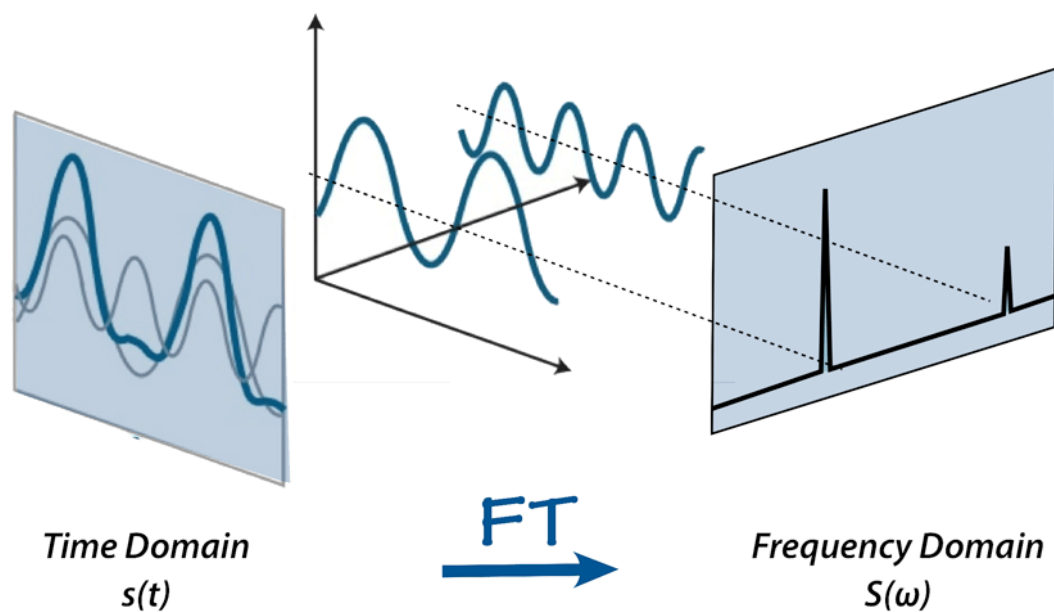
FFT Fast Fourier Transform



FFT è l'algoritmo matematico per calcolare lo spettro di frequenze.

Dal dominio del Tempo allo spettro di Frequenza

FFT Fast Fourier Transform



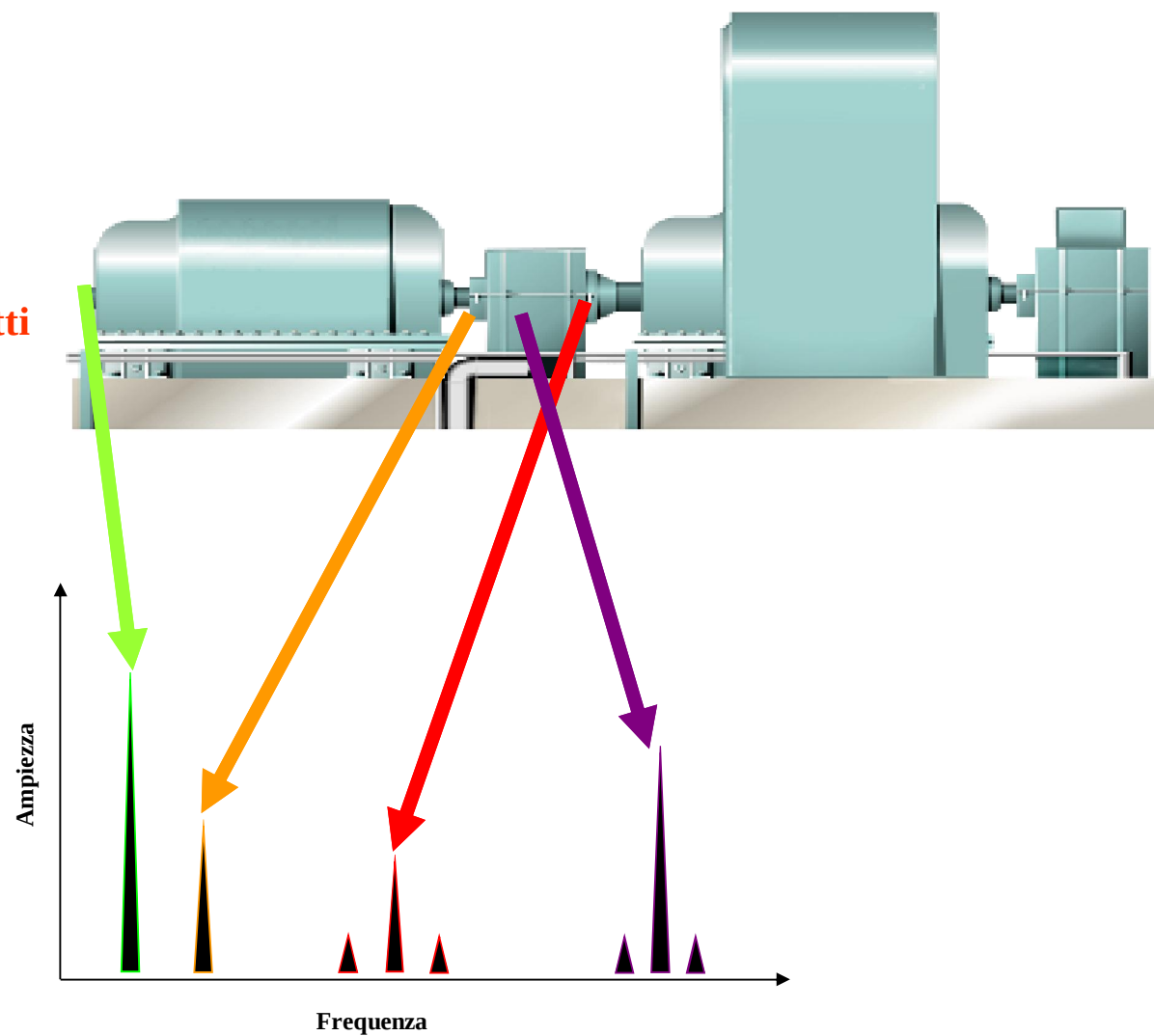
FFT è l'algoritmo matematico per calcolare lo spettro di frequenze.

Sbilanciamento

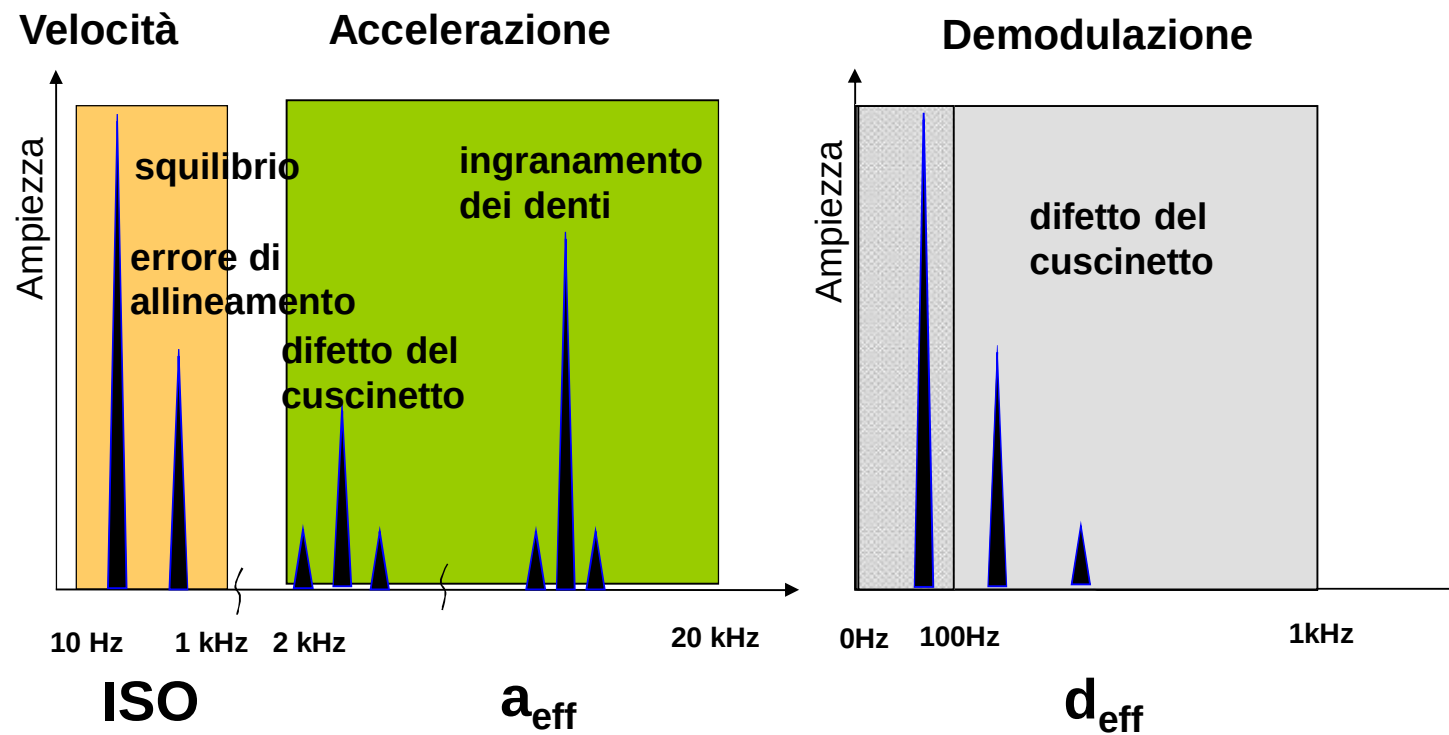
Disallineamento

Usura dei cuscinetti

Usura degli ingranaggi

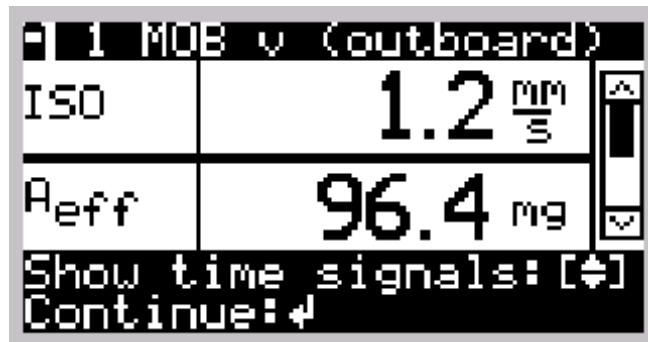


PARAMETRI EFFETTIVI

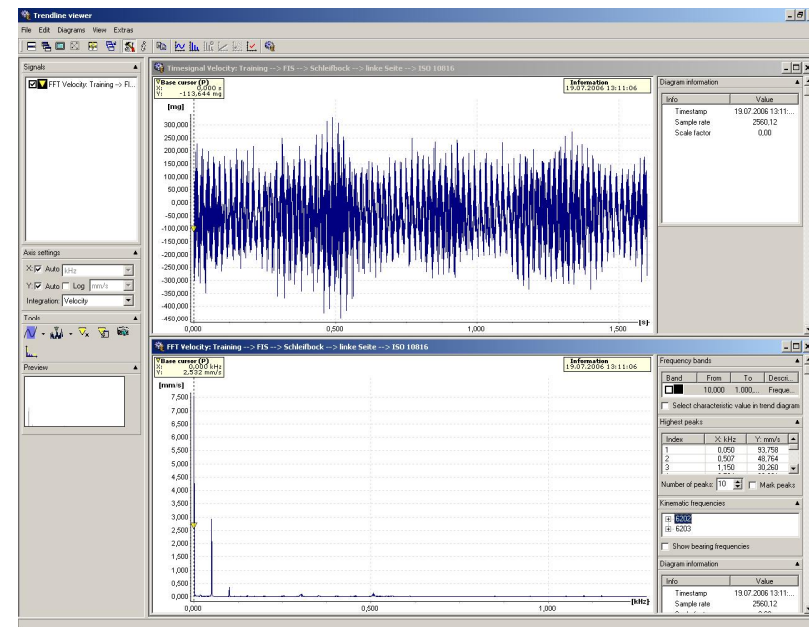
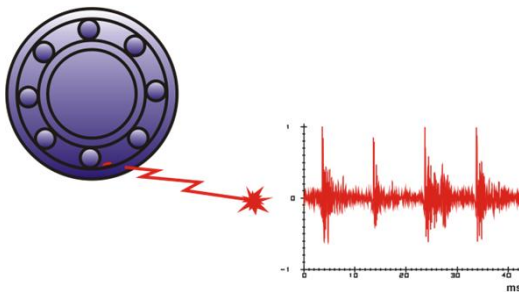


Diagnostica

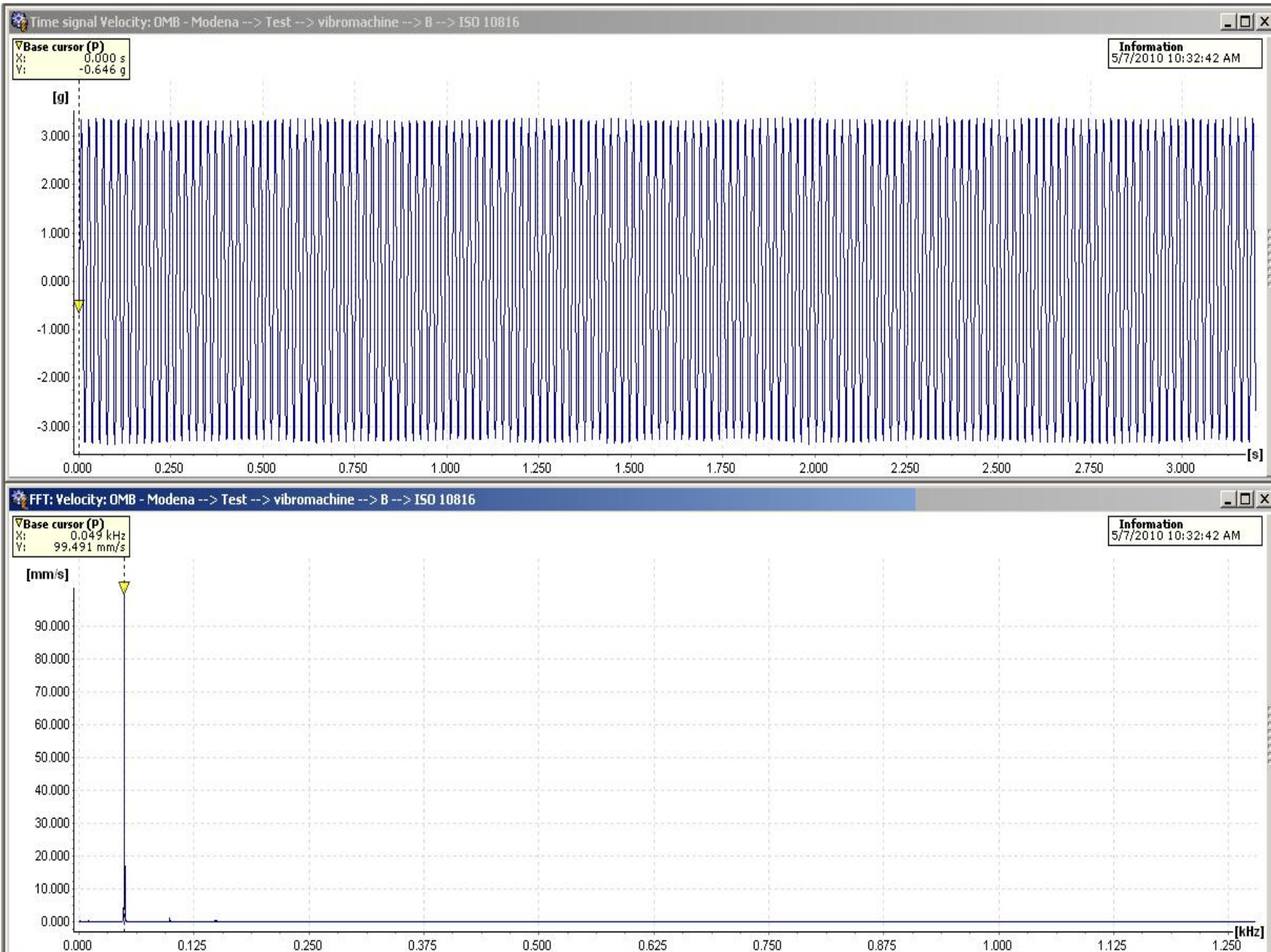
SCHAEFFLER



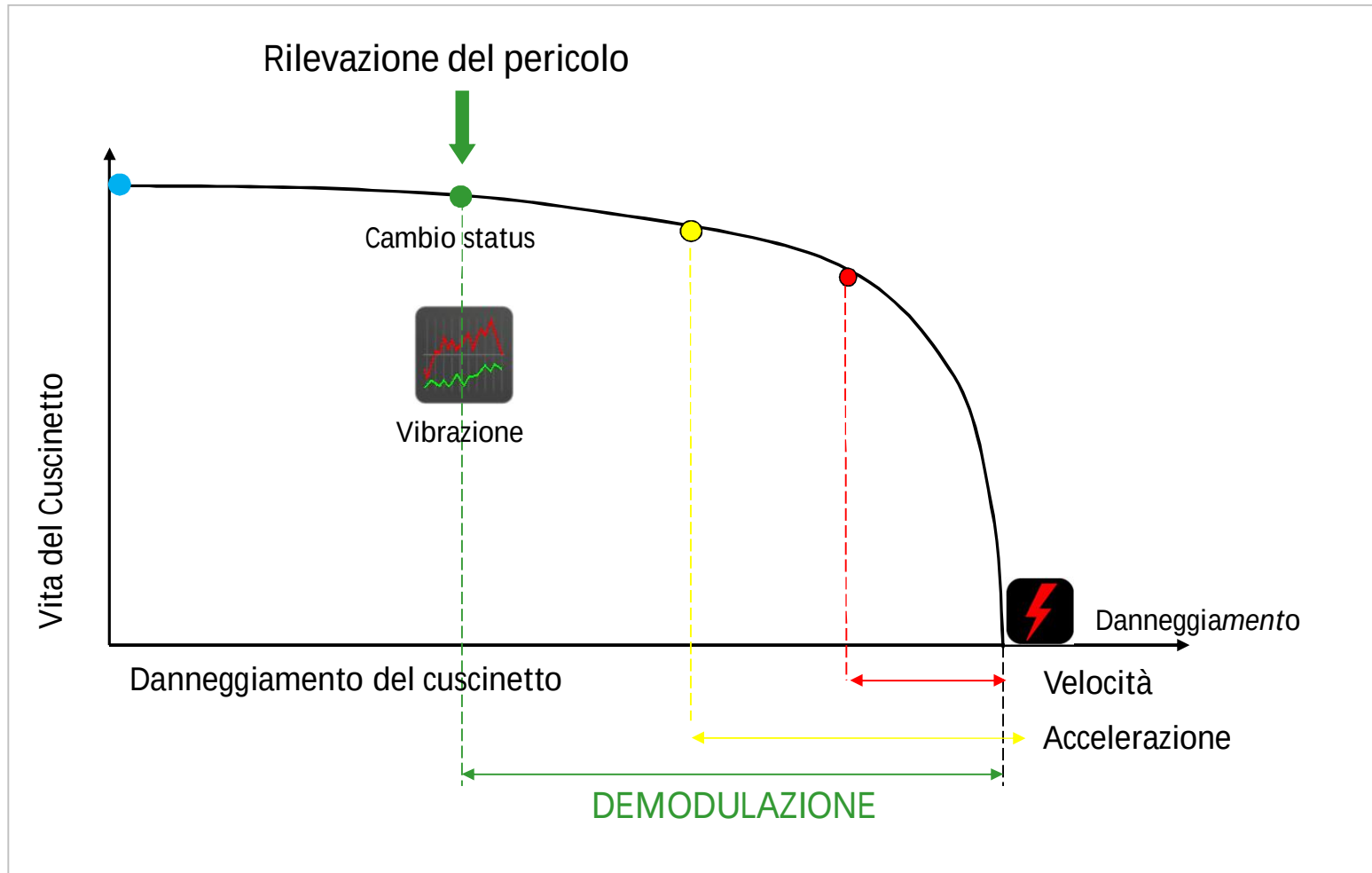
Analisi di 1° livello



Analisi di 2° livello - diagnostica

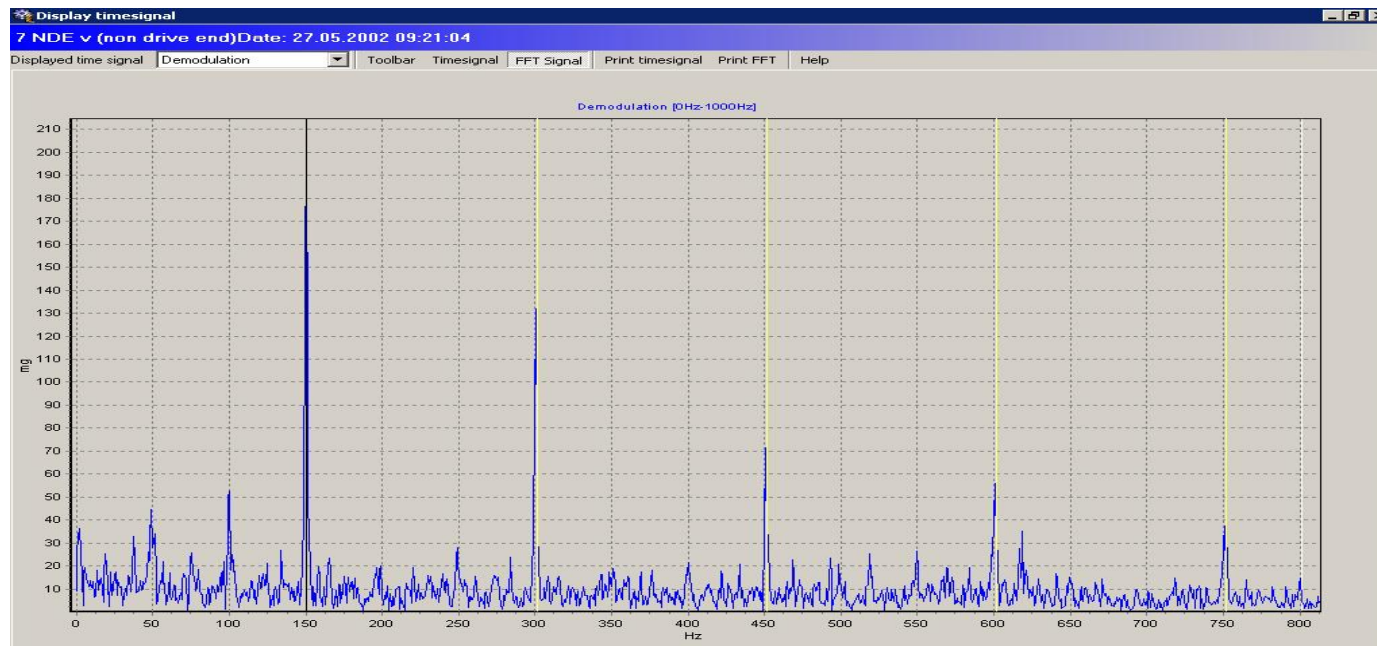


HAEFFLER



Armonica

SCHAEFFLER



Frequenza
base

x 1

x 2

x 3

x 4

x 5

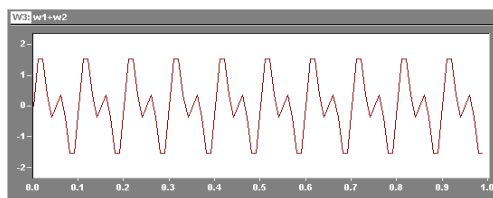
Visualizzazione dei dati di vibrazione

Ci sono due diagrammi possibili per la visualizzazione dei risultati della vibrazione, l'unità di misura riportata un **ascisse** rappresenta il **dominio**.

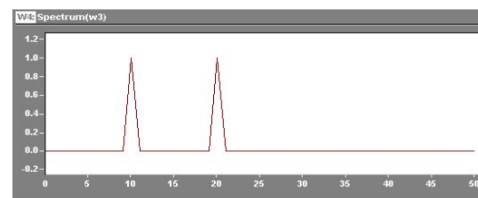
Si ha quindi

- dominio del Tempo – forma d'onda
- dominio della frequenza - spettro

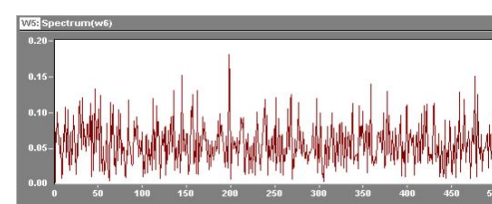
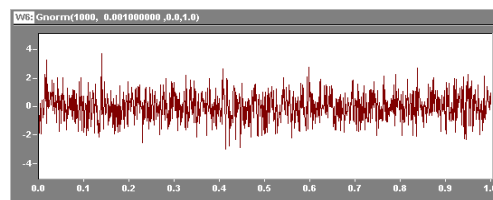
segnale temporale



spettro di frequenza



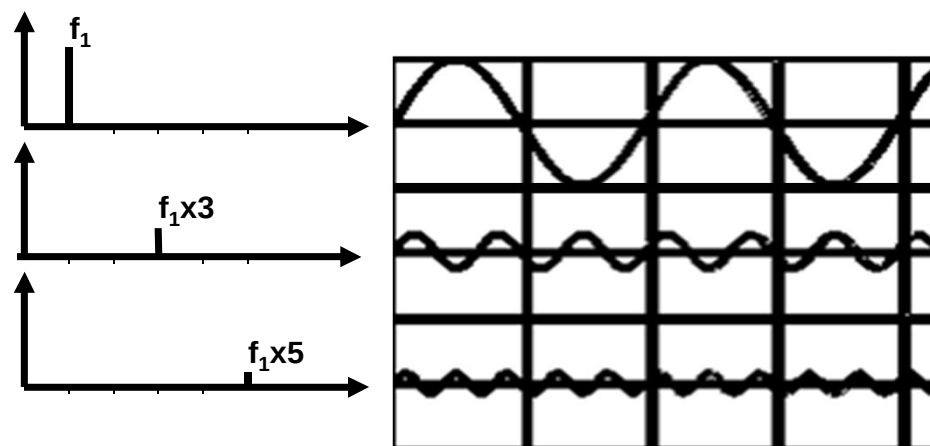
=



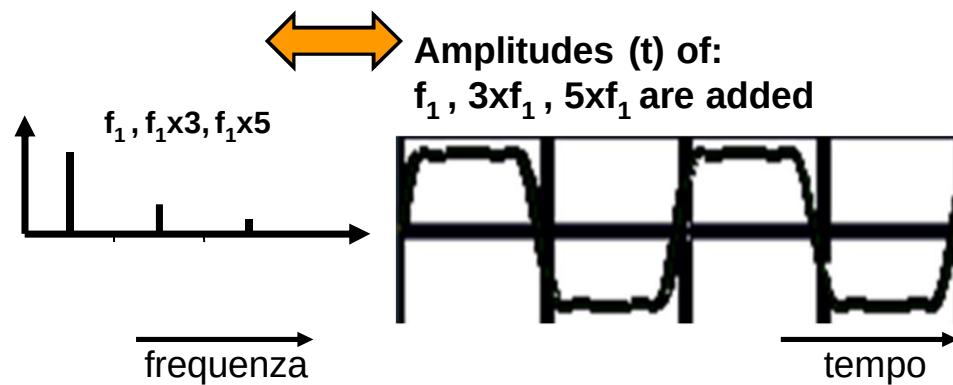
=

Dominio del Tempo – Dominio della Frequenza concetto di frequenza armonica

SCHAEFFLER

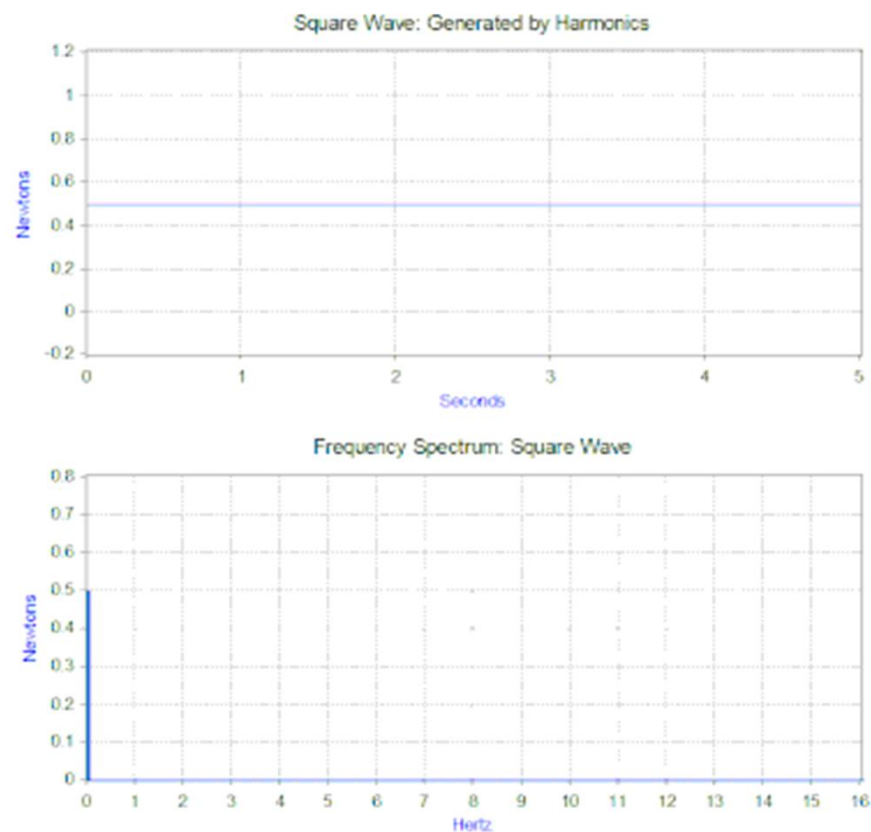


Segnale la cui frequenza è un multiplo intero della frequenza fondamentale. La prima armonica è la fondamentale, la seconda ha frequenza doppia e così via.



Dominio del Tempo – Dominio della Frequenza concetto di frequenza armonica

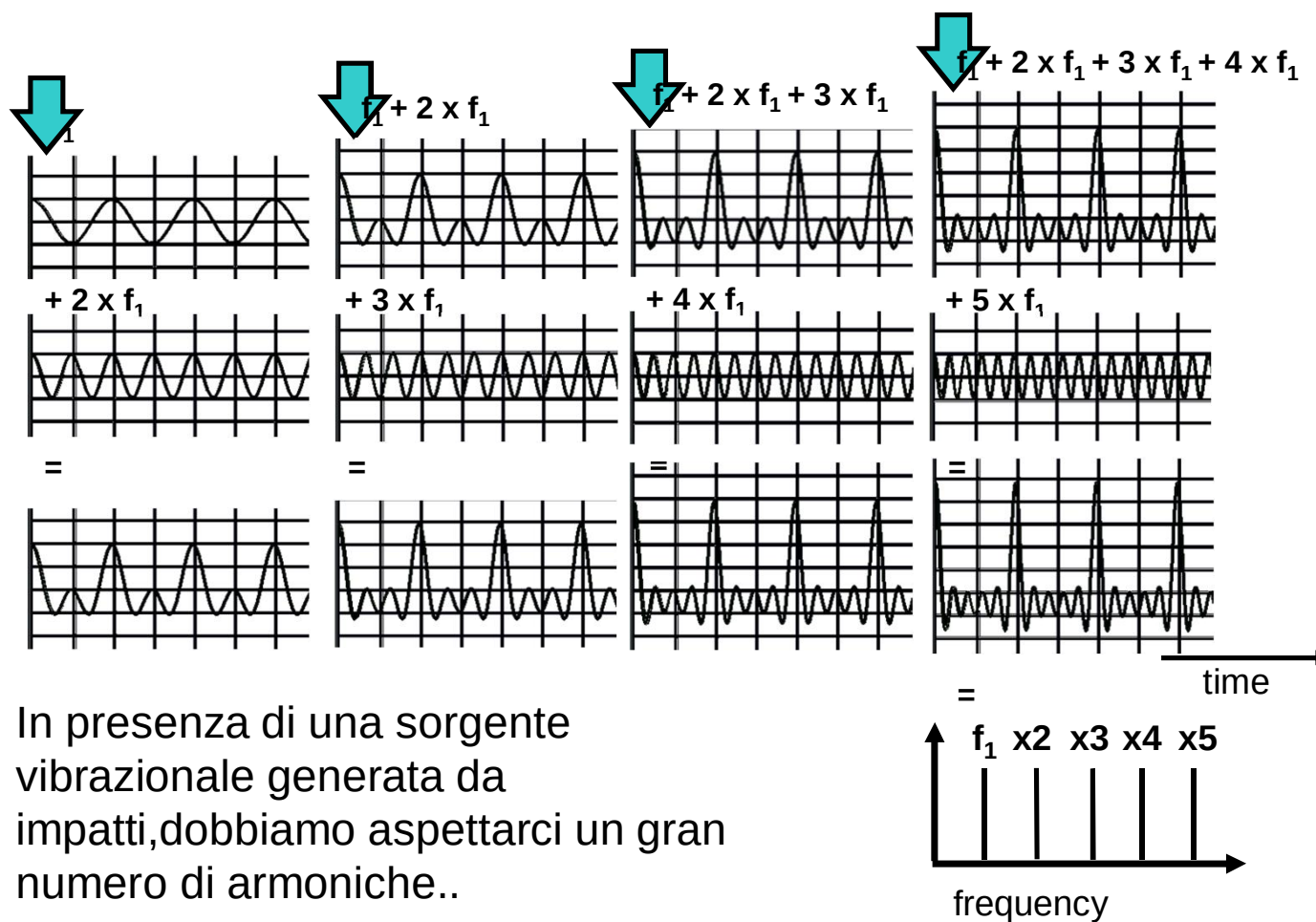
SCHAEFFLER



Segnale la cui
frequenza è un
multiplo intero della
frequenza
fondamentale. La
prima armonica è la
fondamentale, la
seconda ha
frequenza doppia e
così via.

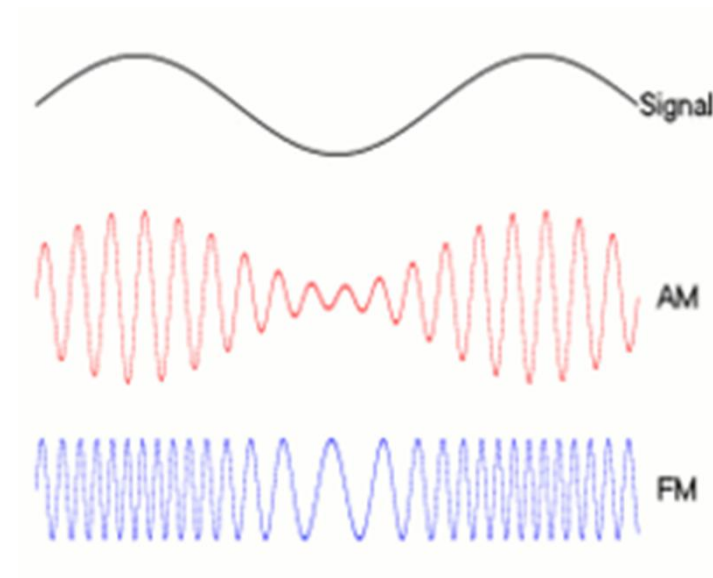
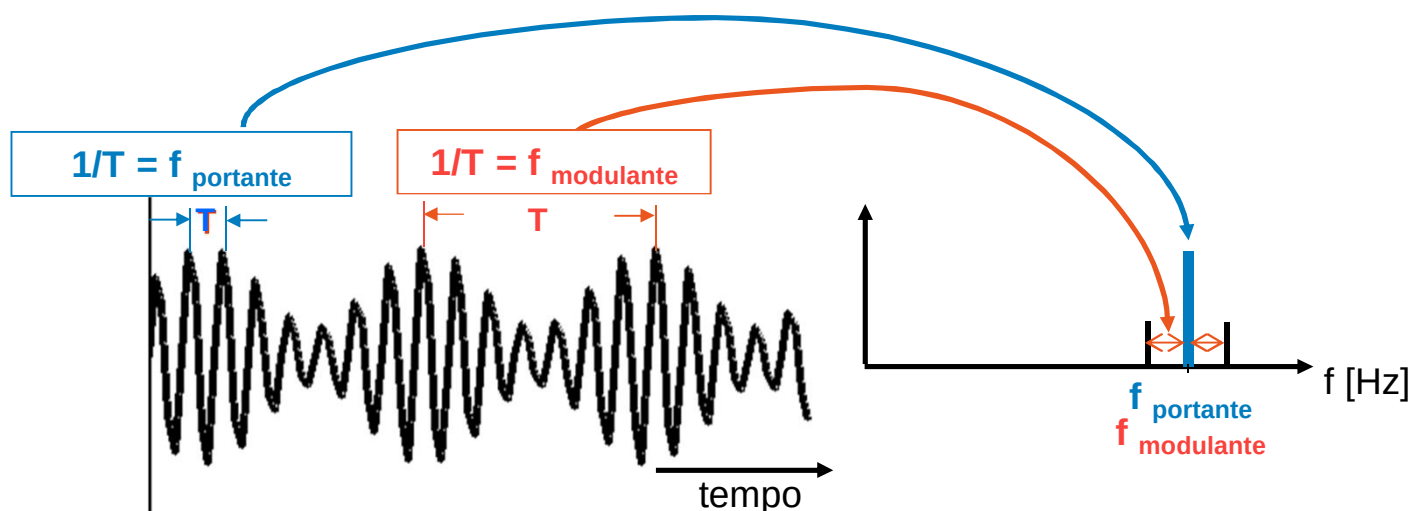
Dominio del Tempo – Dominio della Frequenza
concetto di frequenza armonica

SCHAEFFLER



In presenza di una sorgente
vibrazionale generata da
impatti, dobbiamo aspettarci un gran
numero di armoniche..

Modulazione e bande laterali



Dominio del Tempo:

Modulazione di ampiezza
del segnale

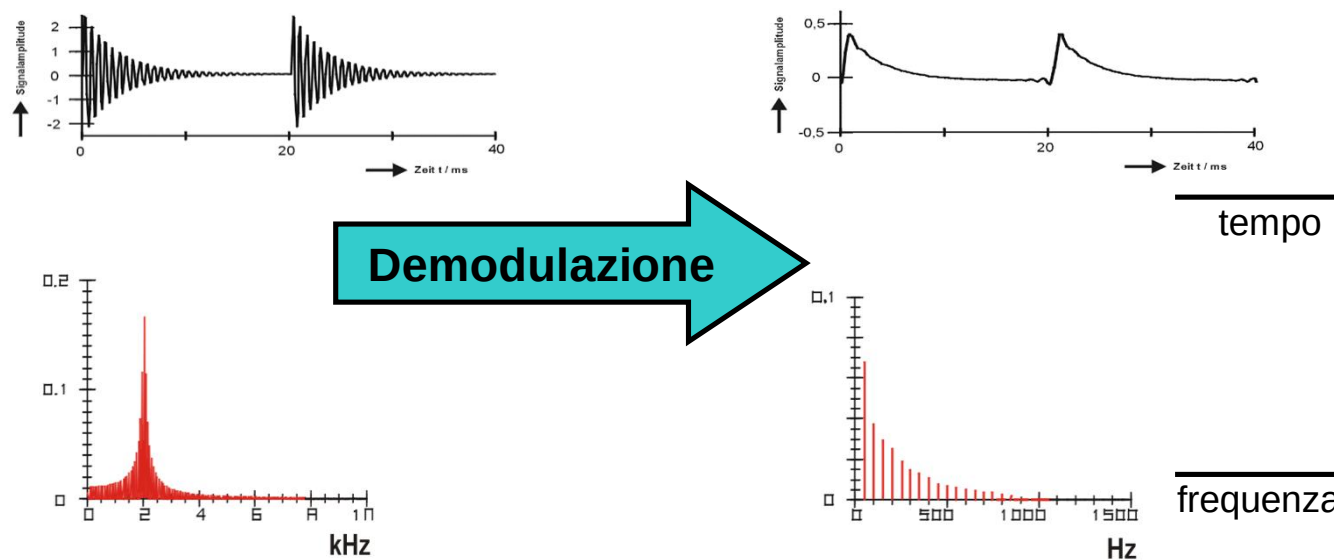


**Dominio della
Frequenza:**

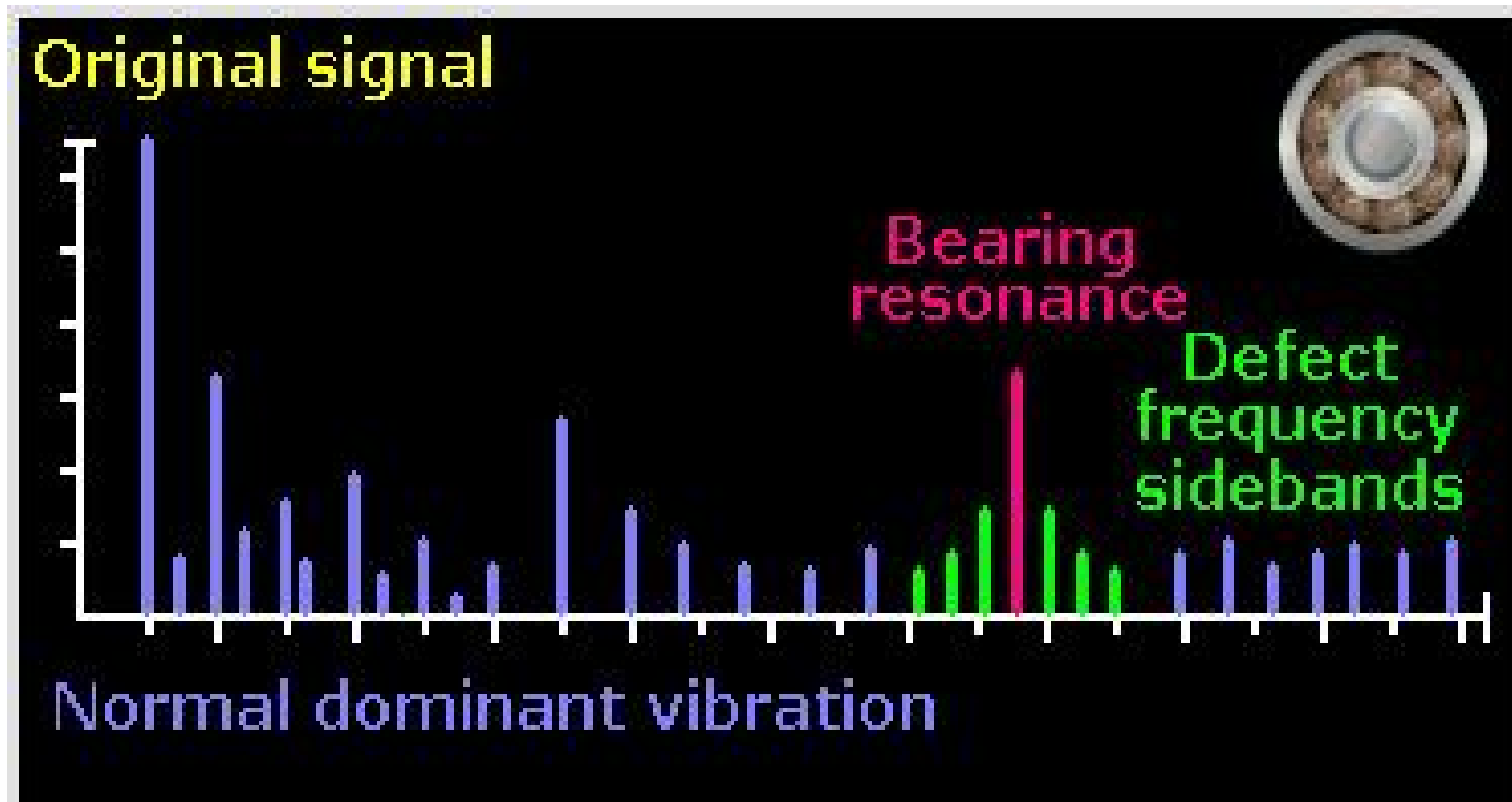
bande laterali

la frequenza **modulata** denuncia quale frequenza si manifesta il problema, la frequenza **portante** è la frequenza che sollecita la manifestazione di tale problema.

Demodulazione



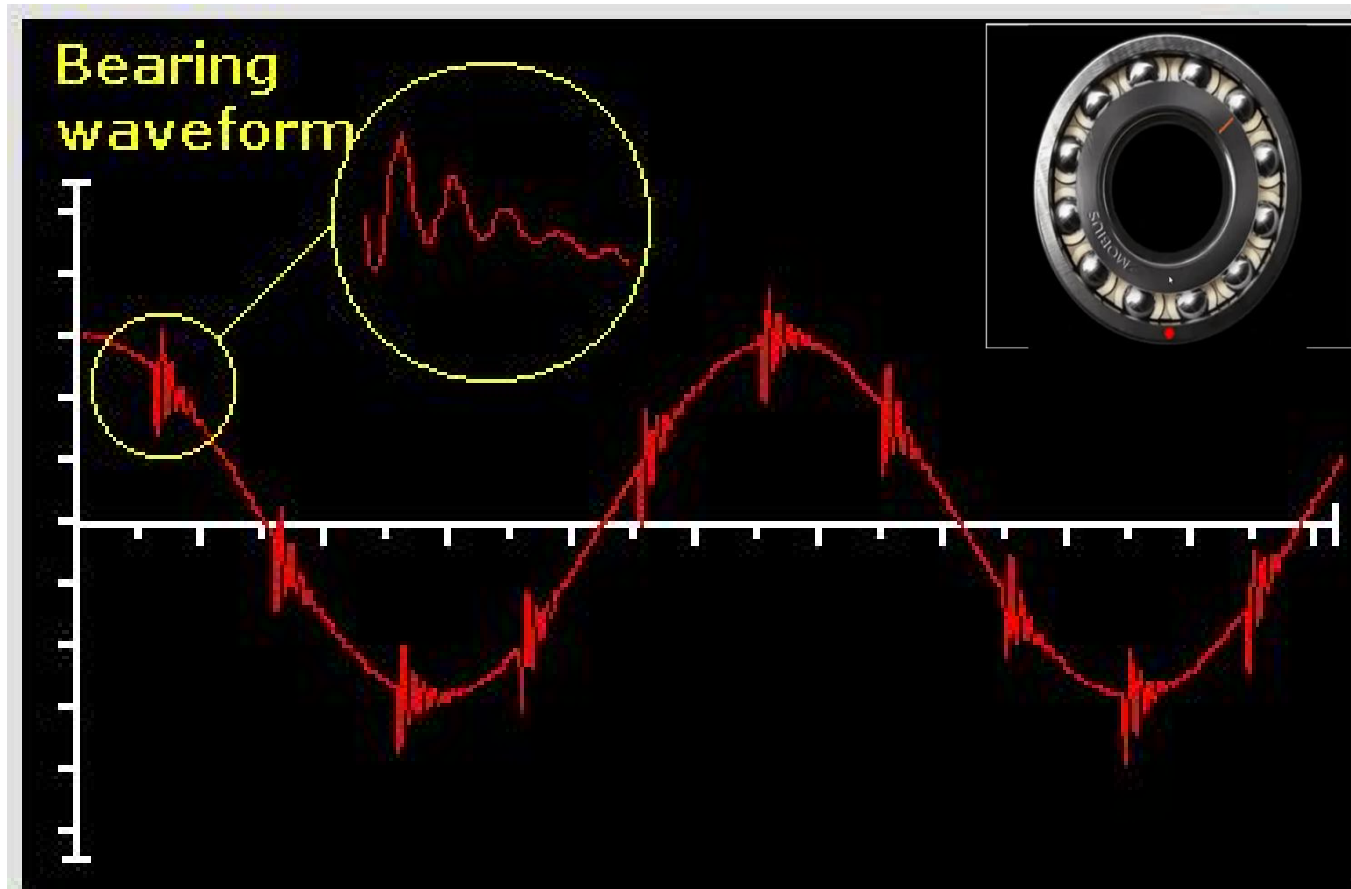
La demodulation è un modo specifico di elaborazione del segnale tale che, nello spettro, si vedano solo la frequenza di ripetizione di impatto generata dalla sorgente vibrazionale e le sue armoniche



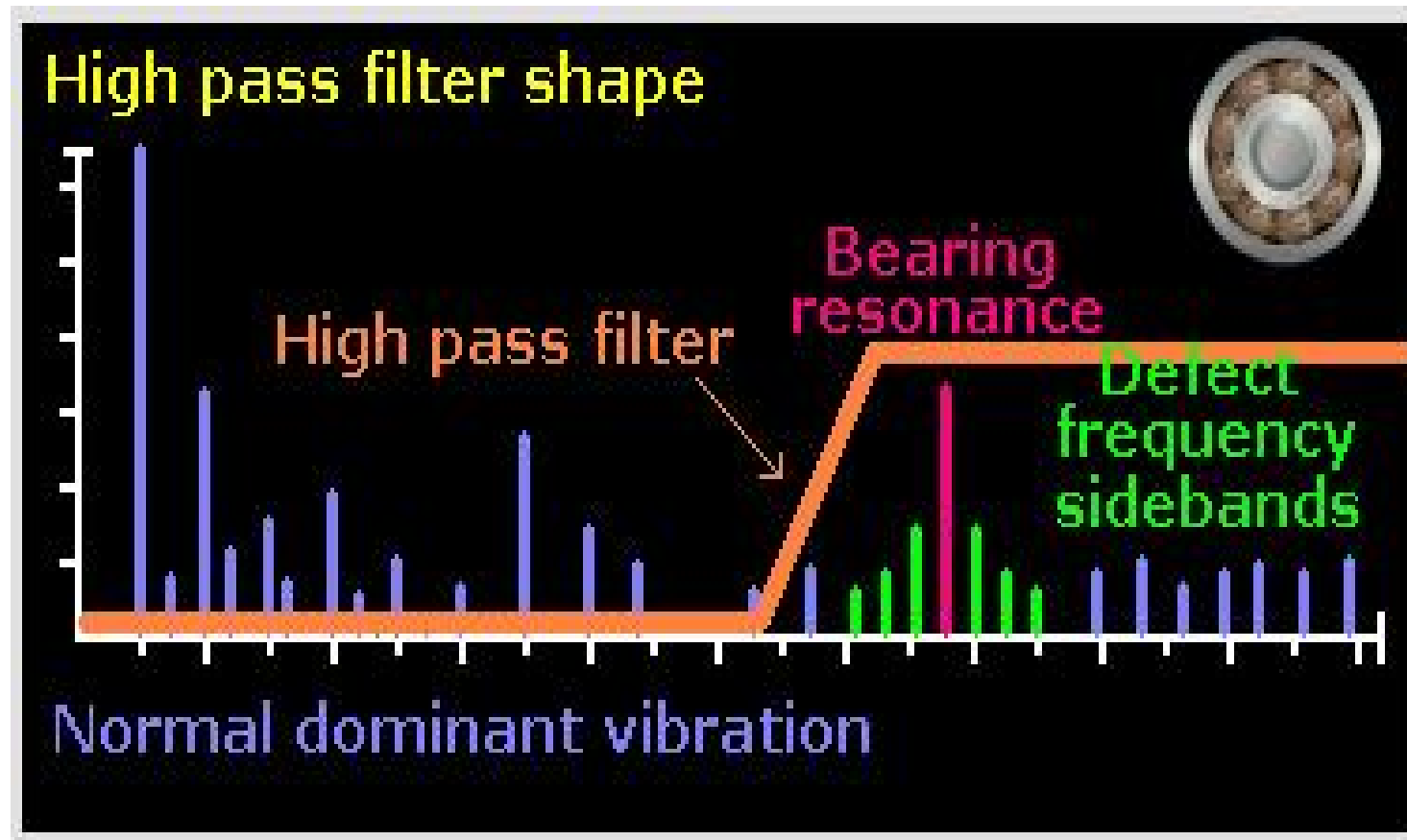
Il segnale acquisito dall'analizzatore contiene, normalmente, vibrazioni provenienti da differenti sorgenti. Spesso il livello delle vibrazioni associato alla frequenza di risonanza del cuscinetto non è particolarmente elevato, soprattutto se confrontato con quello rilevato alle frequenze dominanti come ad esempio la fondamentale

Diagnosi del cuscinetto - Demodulazione

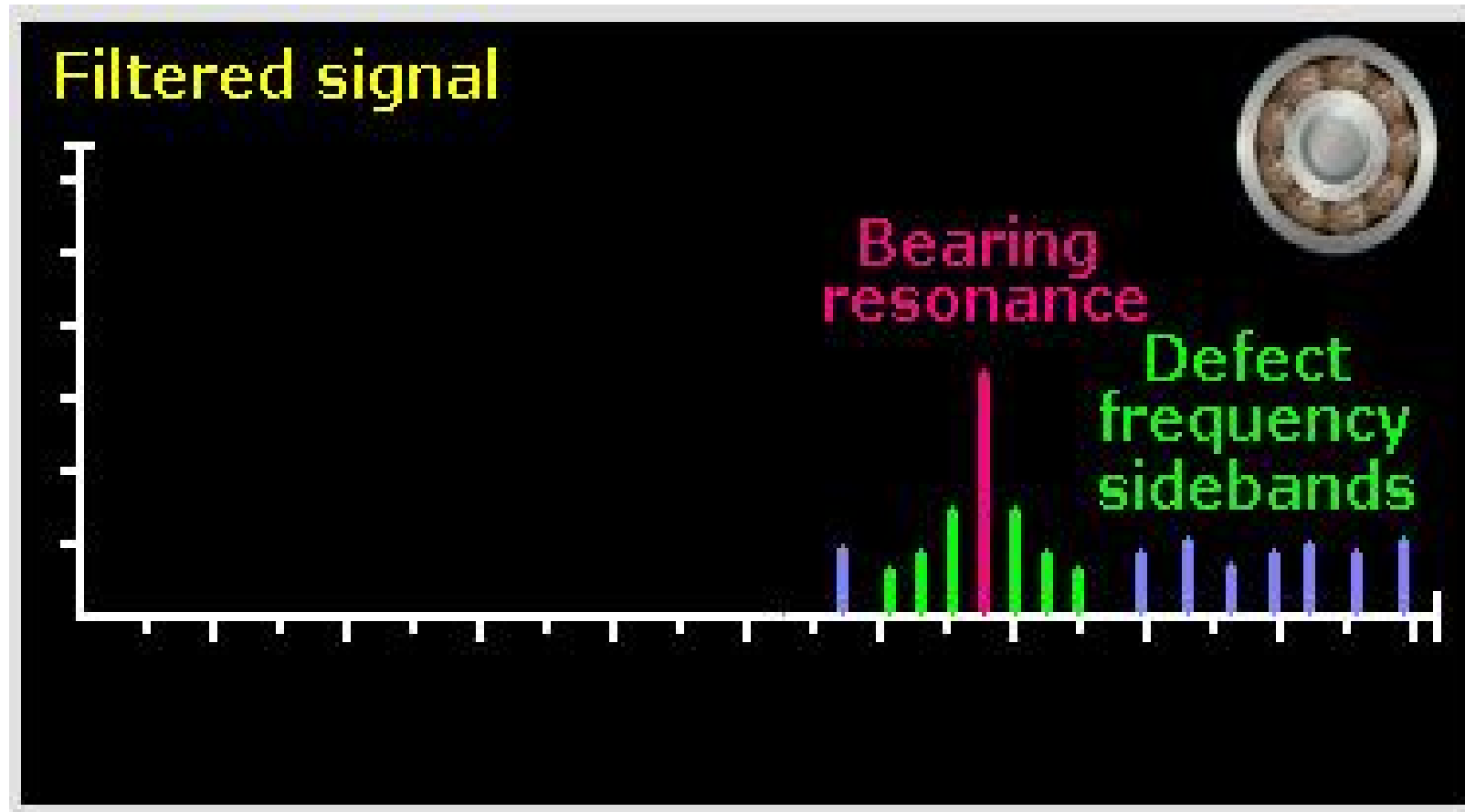
SCHAEFFLER



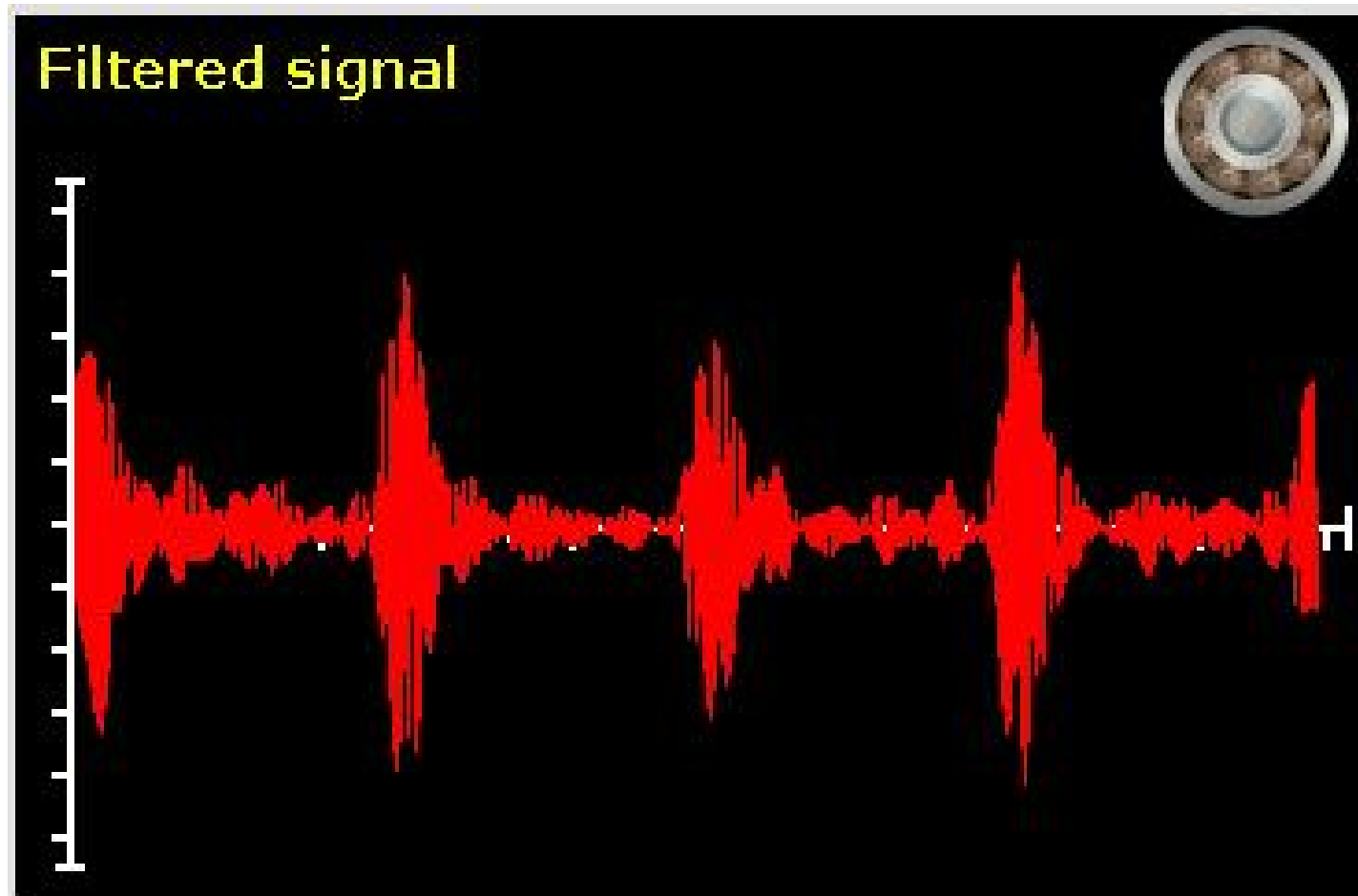
Se osserviamo la forma d'onda possiamo notare sovrapposti alla sinusoide con ampiezza più elevata, quella riferita alla frequenza fondamentale (dovuta quindi ad esempio ad un problema di squilibrio), una serie transitori provocati dall'impatto delle sfere sulla pista danneggiata. La frequenza di questi transitori è quella di risonanza del cuscinetto.



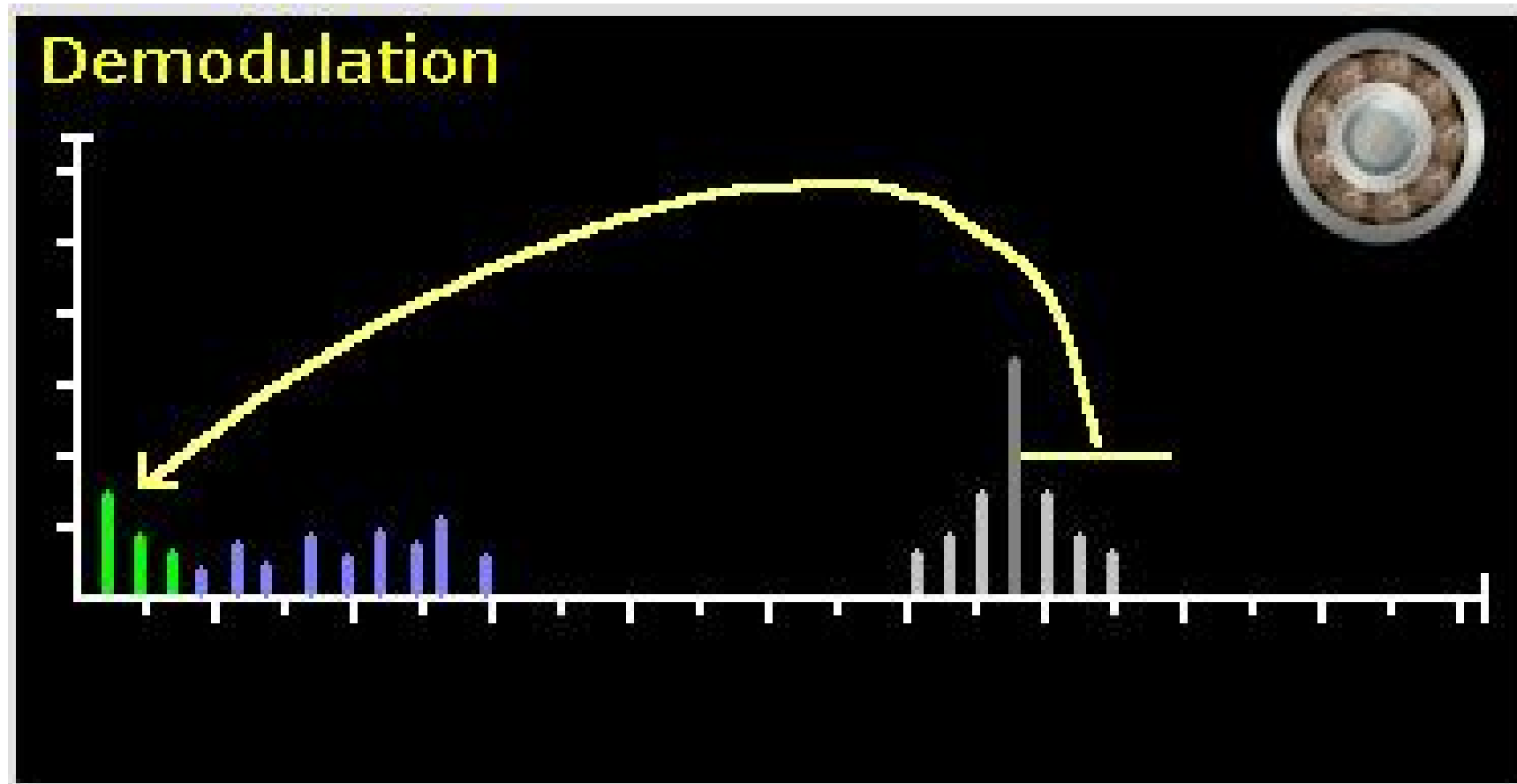
Per poter effettuare la diagnosi sul cuscinetto è necessario eliminare le vibrazioni a bassa frequenza. Lo strumento quindi durante l'acquisizione dei segnali attiva un filtro "passa alto" la cui funzione è proprio quella di eliminare le vibrazioni a bassa frequenza. Normalmente la frequenza di taglio è intorno ai 2 kHz.



Il risultato è un segnale che contiene ancora le vibrazioni generate dal cuscinetto che risuona, ma quelle a bassa frequenza, che erano le più elevate sono state eliminate.



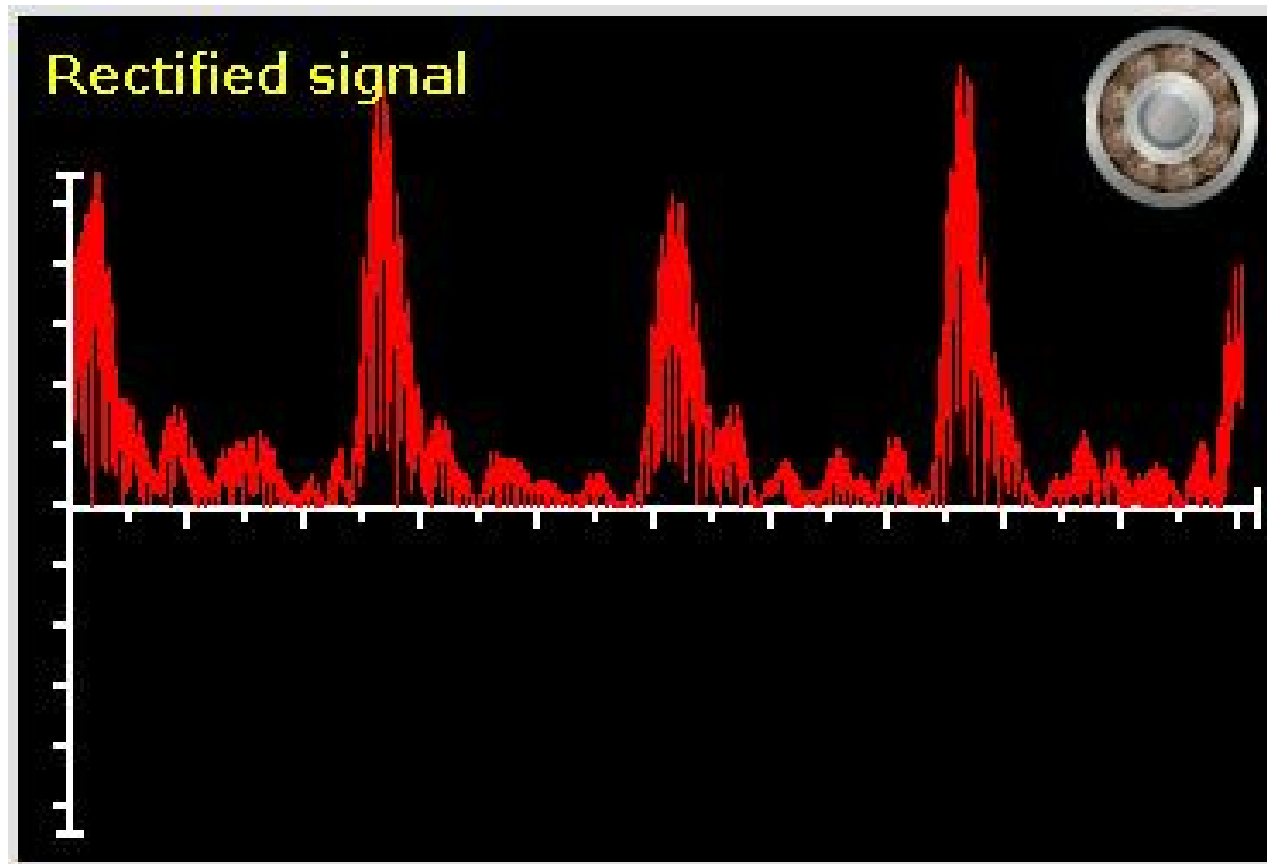
La forma d'onda ora contiene solo i transitori generati dagli urti delle sfere sulla pista danneggiata.



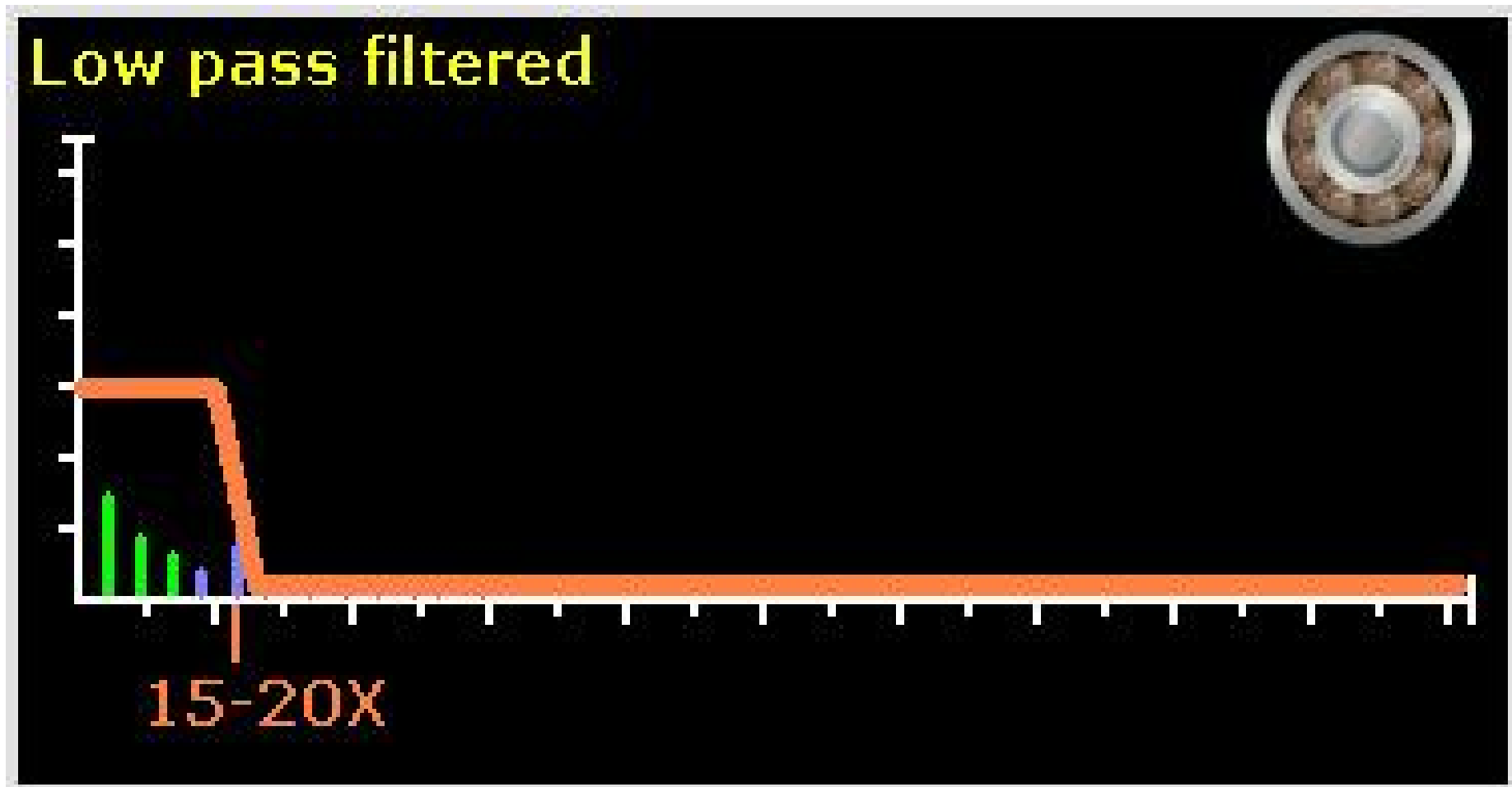
Con un processo di demodulazione le bande laterali sulla destra della frequenza di risonanza del cuscinetto sono spostate a bassa frequenza.

Diagnosi del cuscinetto - Demodulazione

SCHAEFFLER



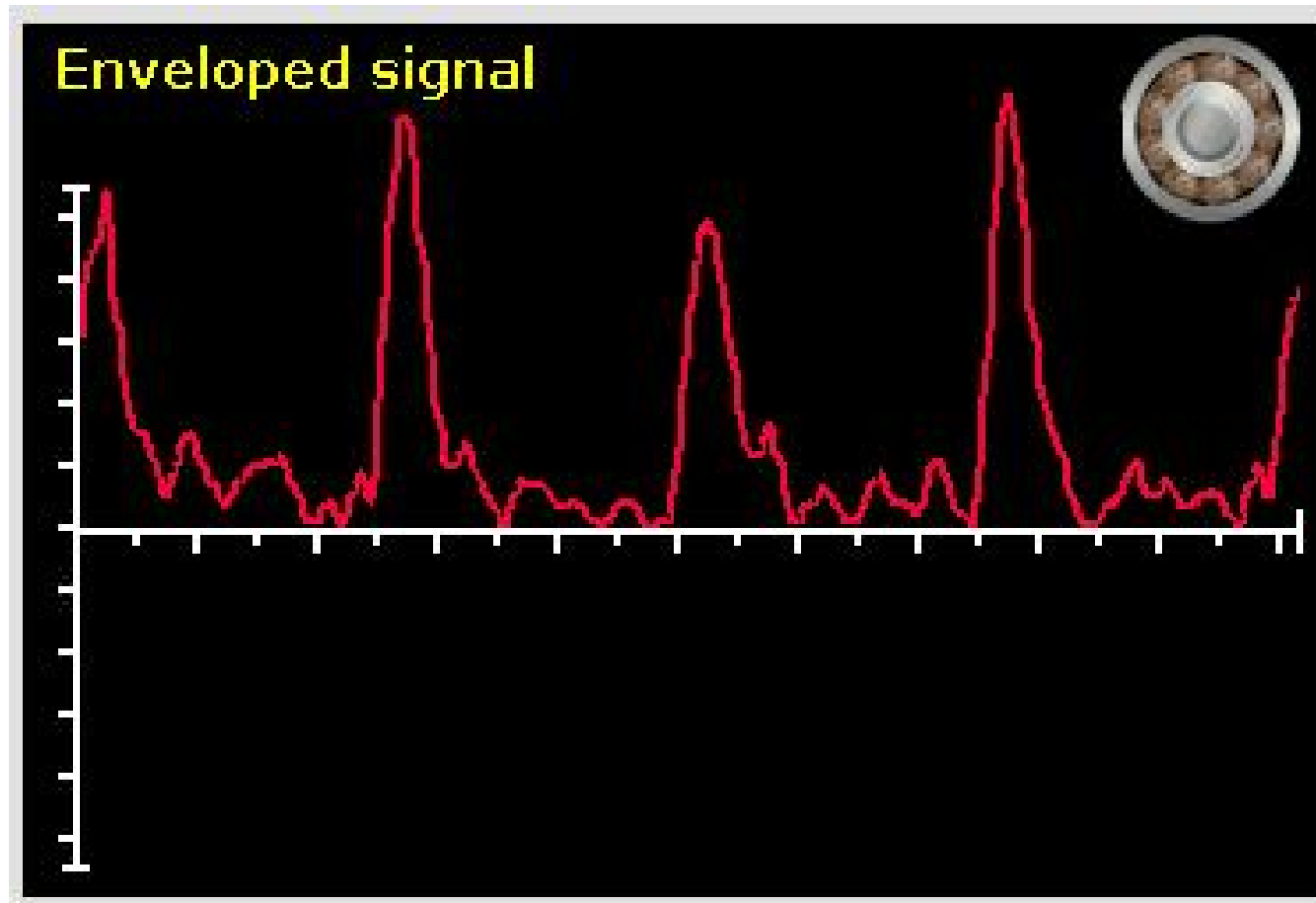
La parte negativa del segnale viene ribaltata sulla parte positiva.



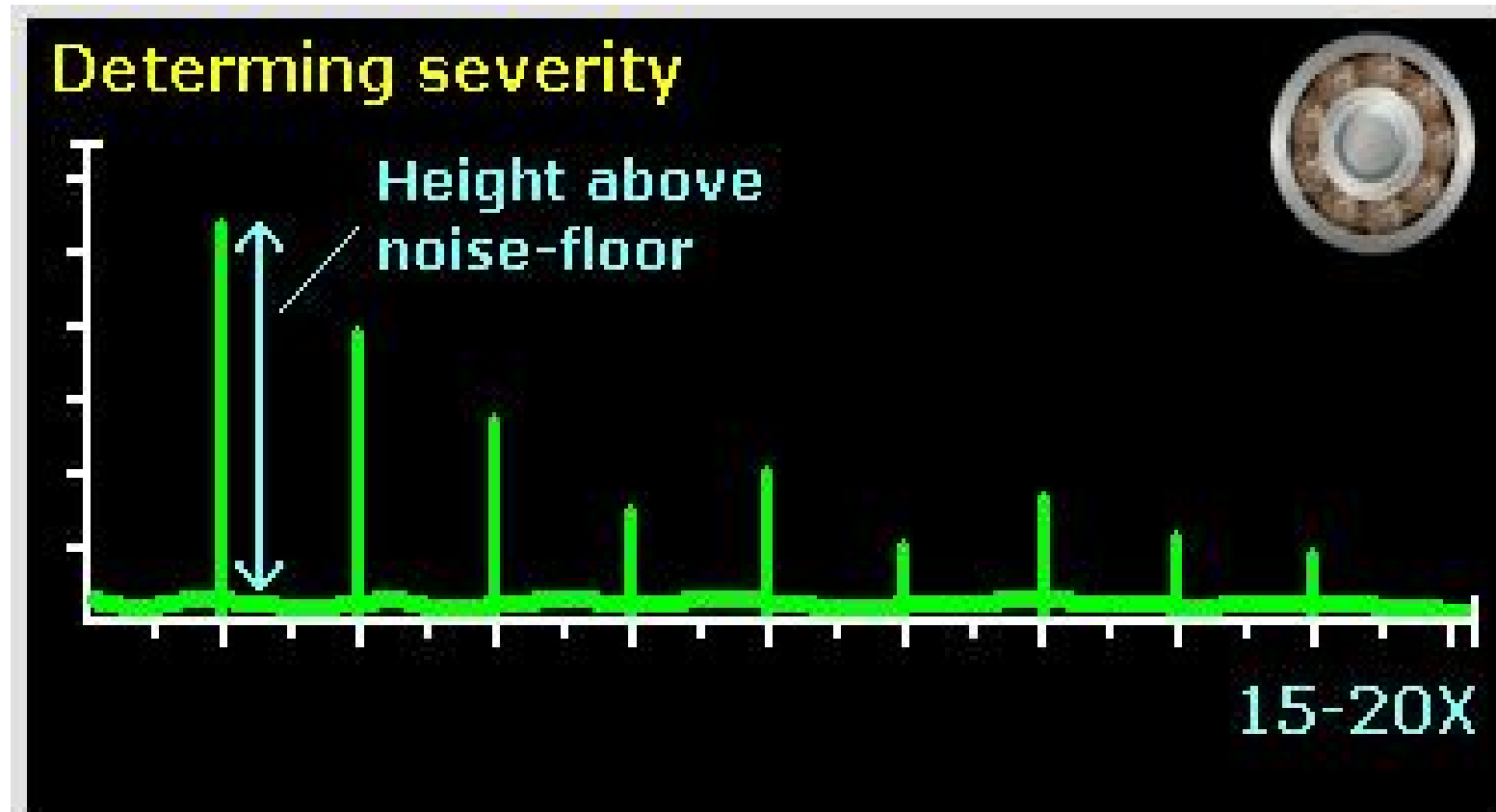
Attivando un filtro passa basso la parte di segnale ad alta frequenza viene eliminato.

Diagnosi del cuscinetto - Demodulazione

SCHAEFFLER



**Ora la forma d'onda contiene solo i picchi degli urti provocati dalle sfere sulla pista danneggiata.
Effettuandone l'analisi FFT si evidenziano immediatamente i picchi alle frequenze di rottura del cuscinetto.**

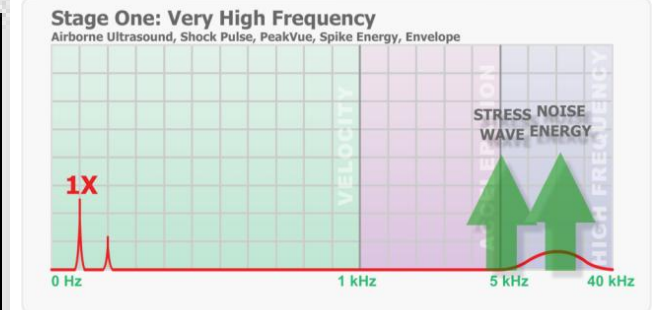
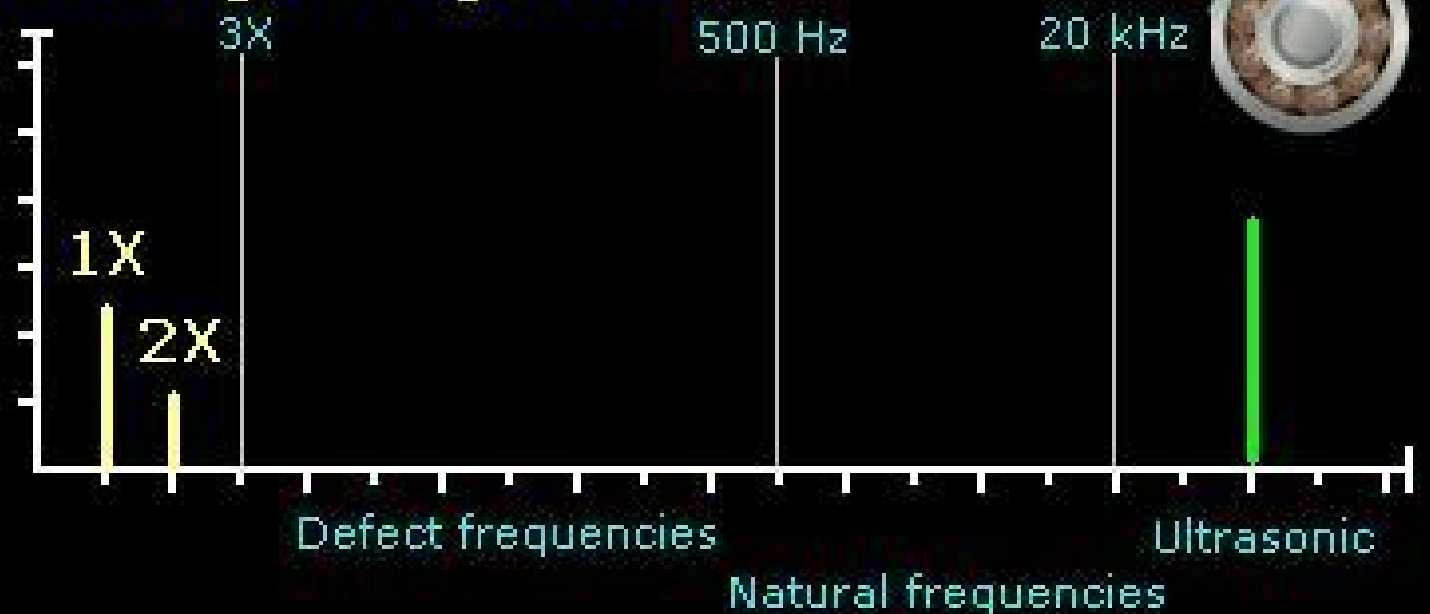


La gravità del problema non è evidenziata dal valore assoluto dei picchi ma da quanto, in proporzione, la loro ampiezza risulta essere più grande del rumore di fondo.

Ciclo di vita del cuscinetto

SCHAEFFLER

Bearings: Stage One

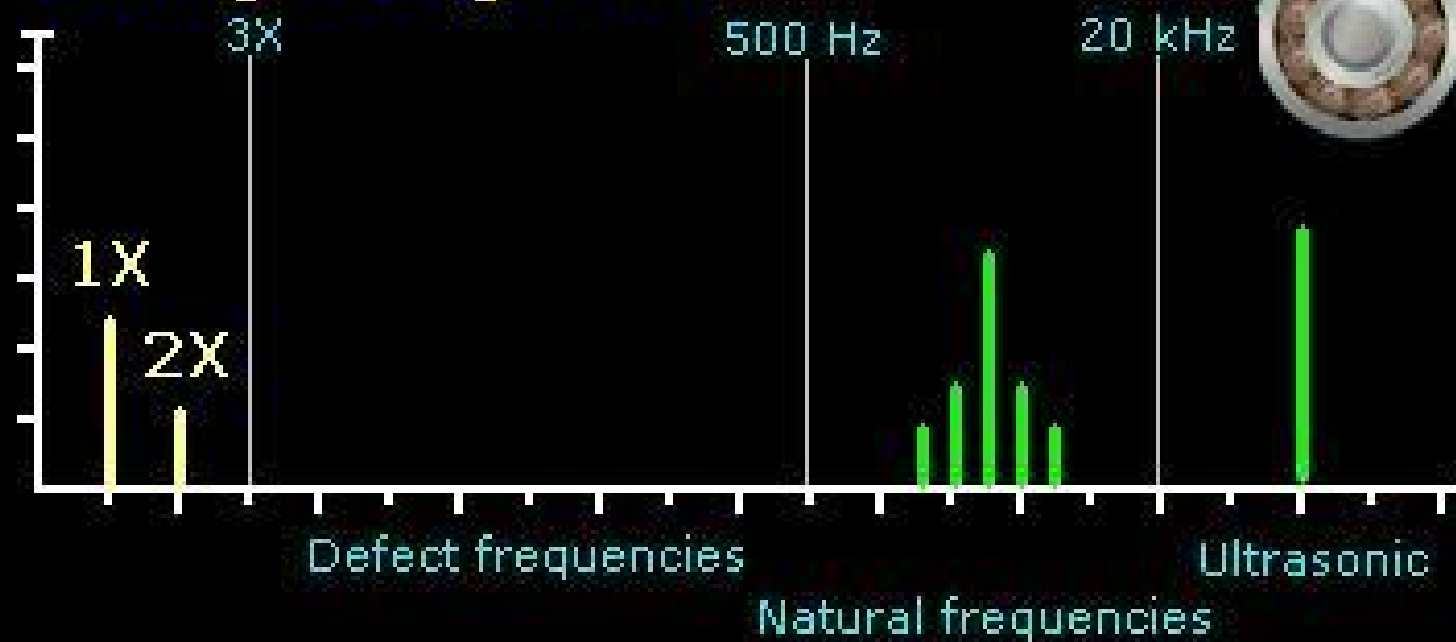


Il danneggiamento di un cuscinetto nelle sue prime fasi si manifesta con elevate vibrazioni e rumorosità ad altissima frequenza (tra 20 e 60 kHz). Il rumore emesso non è udibile a quelle frequenze ma è rivelabile con la strumentazione che usa speciali algoritmi come ad esempio può essere d'aiuto l'uso del FATTORE DI CRESTA.

Ciclo di vita del cuscinetto

SCHAEFFLER

Bearings: Stage Two



Stage Two: High Frequency
Envelope, Demodulation and Acceleration Spectrum

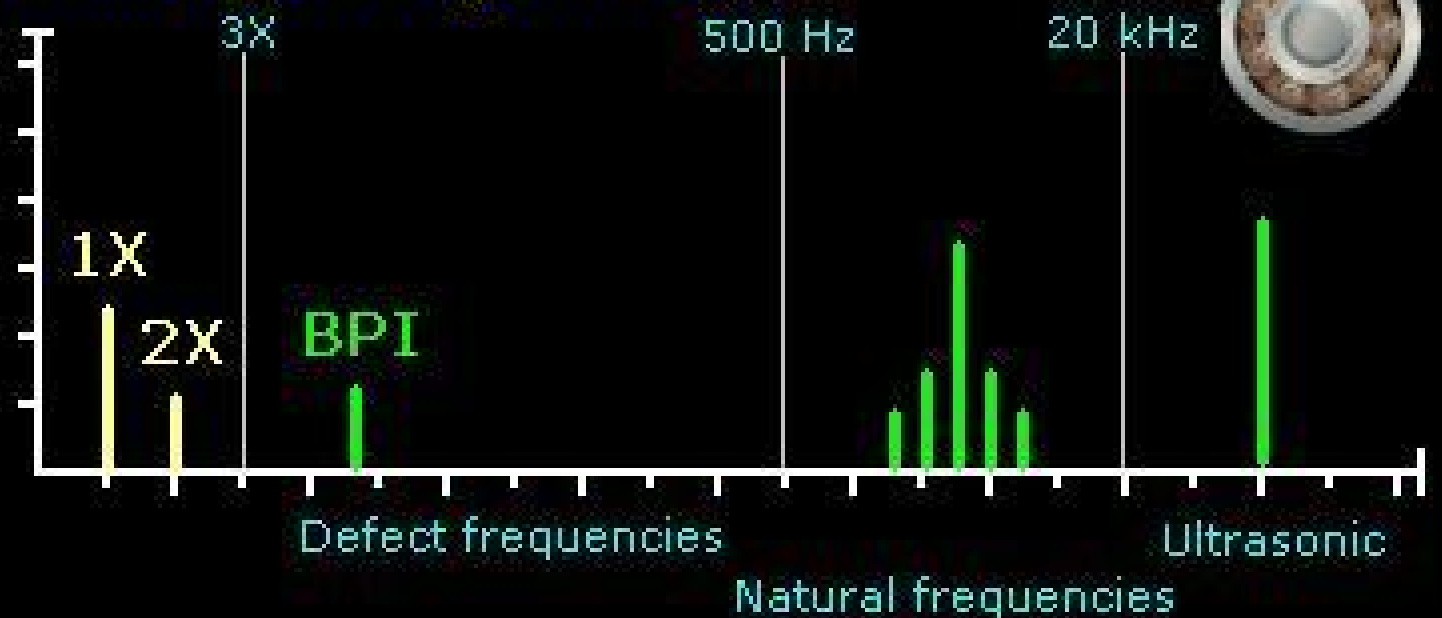


Ora il difetto è aumentato ed il rumore emesso può essere udito da un orecchio allenato. Il cuscinetto risuona alla sua frequenza propria, che viene modulata dalle frequenze di rottura del cuscinetto stesso.

Ciclo di vita del cuscinetto

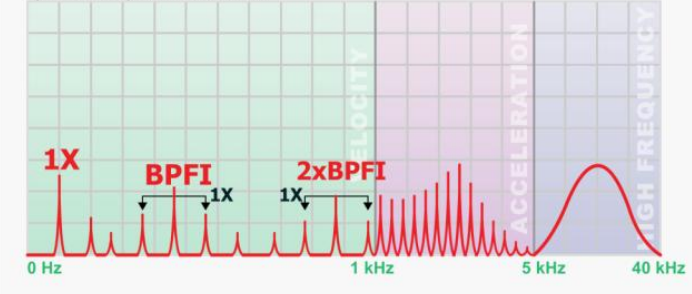
SCHAEFFLER

Bearings: Stage Three



Stage Three: Mid Frequency

Spectrum analysis: Inner race fault

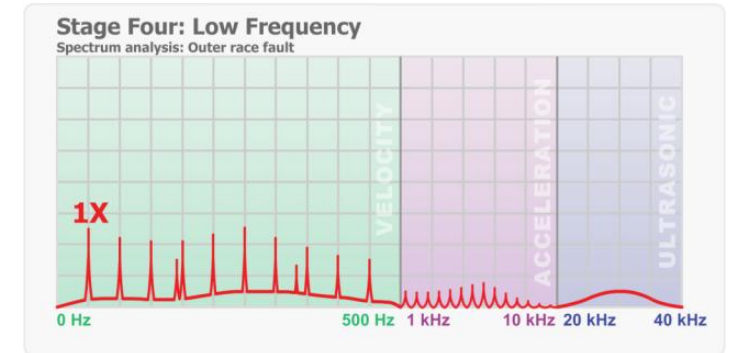
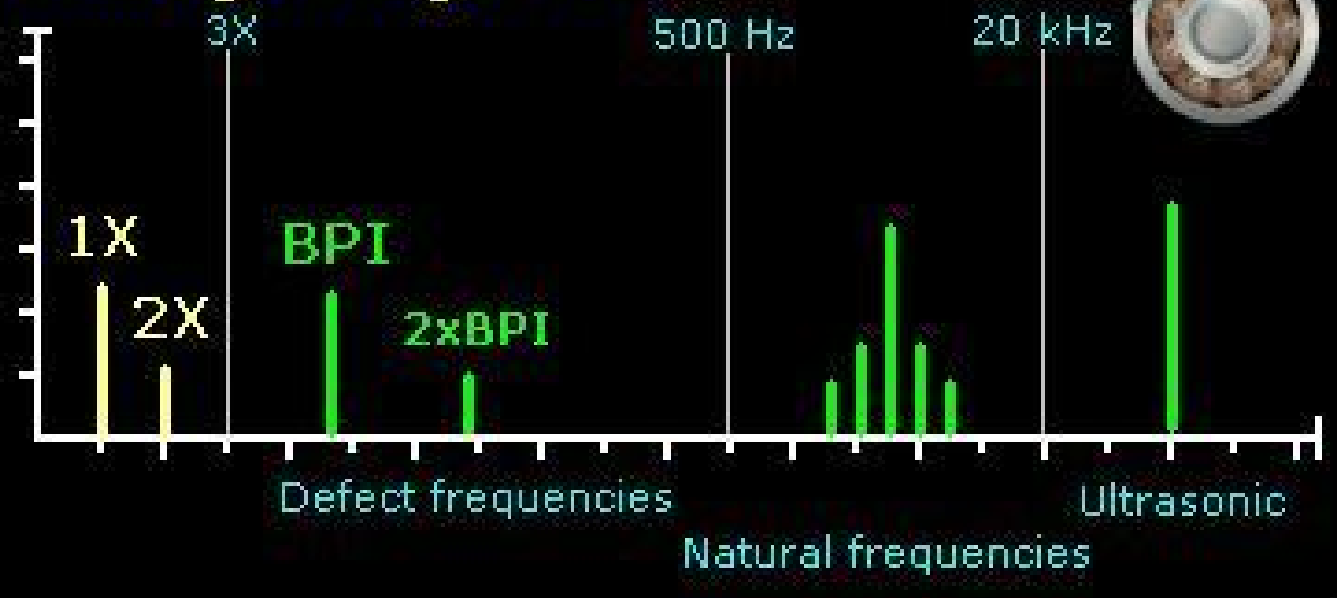


Il deterioramento ora è tale da mostrare direttamente sullo spettro uno o più picchi in corrispondenza delle frequenze di rottura del cuscinetto. Nel caso specifico possiamo notare un picco alla frequenza di rottura della pista interna (BPI).

Ciclo di vita del cuscinetto

SCHAEFFLER

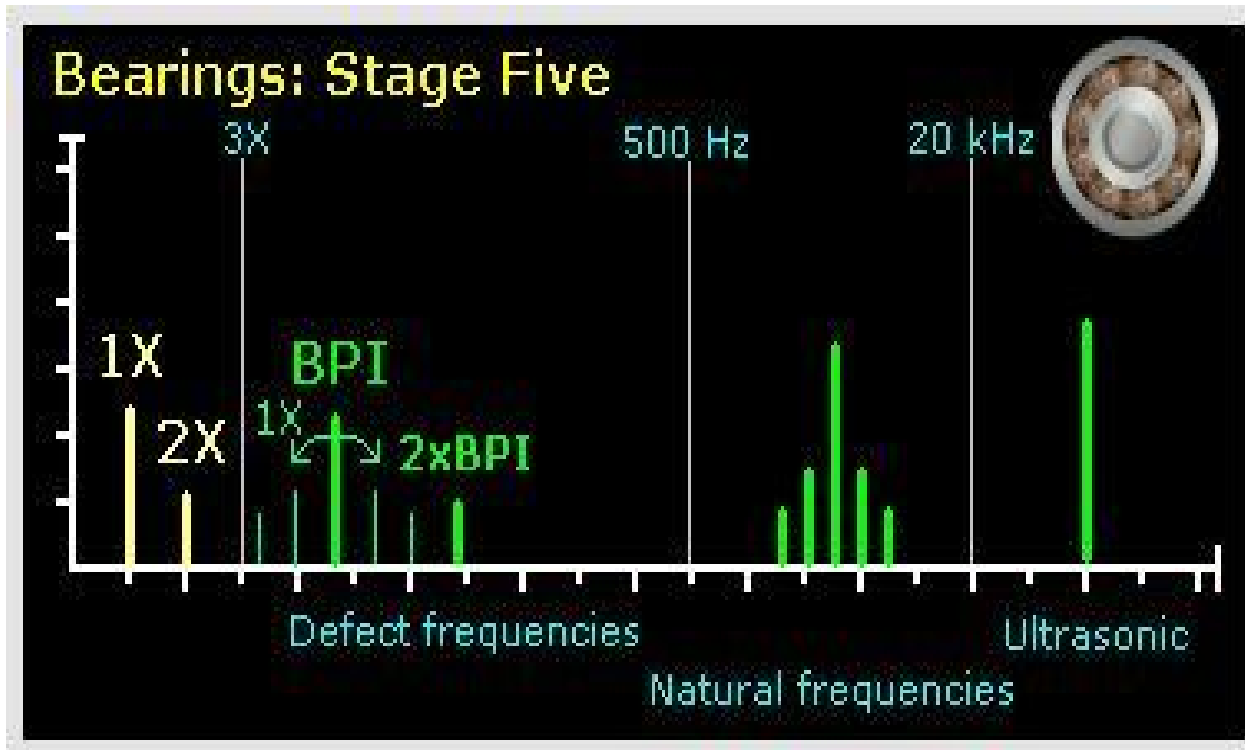
Bearings: Stage Four



Man mano che il deterioramento avanza si evidenziano sullo spettro anche le armoniche delle frequenze di rottura ($2 \times \text{BPI}$). Questo ci indica una sempre maggiore incidenza degli urti provocati dalla rottura sul cuscinetto.

Ciclo di vita del cuscinetto

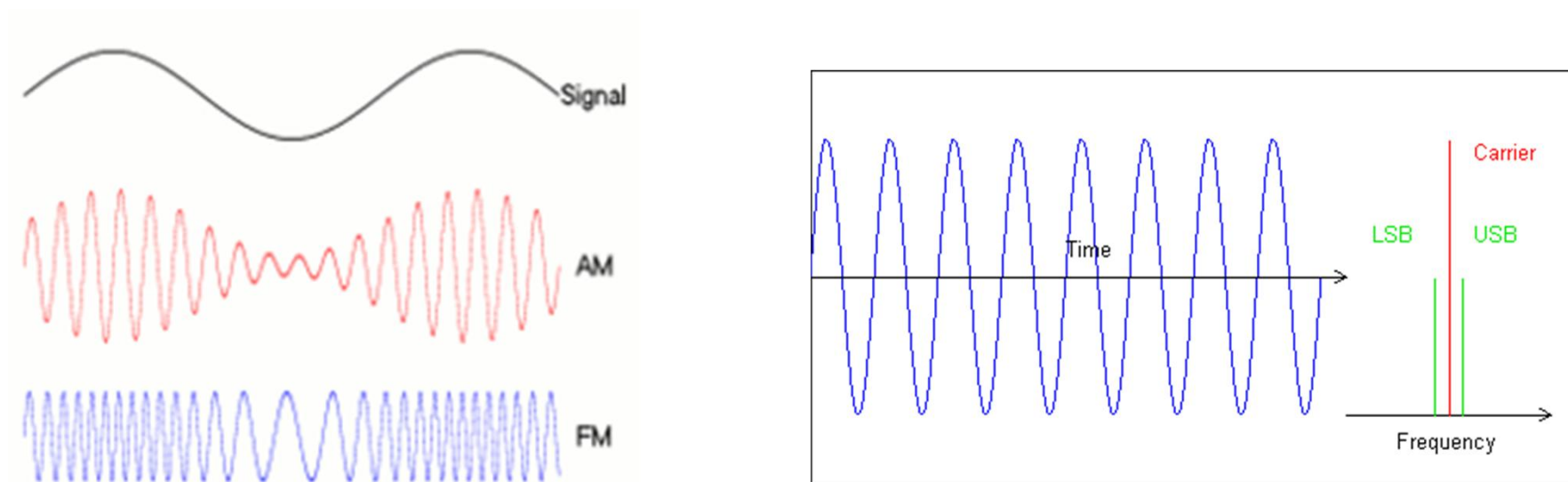
SCHAEFFLER



Successivamente alla comparsa sullo spettro delle armoniche delle frequenze di rottura del cuscinetto cominciano ad evidenziarsi una serie di bande laterali intorno alle frequenze di rottura stesse.

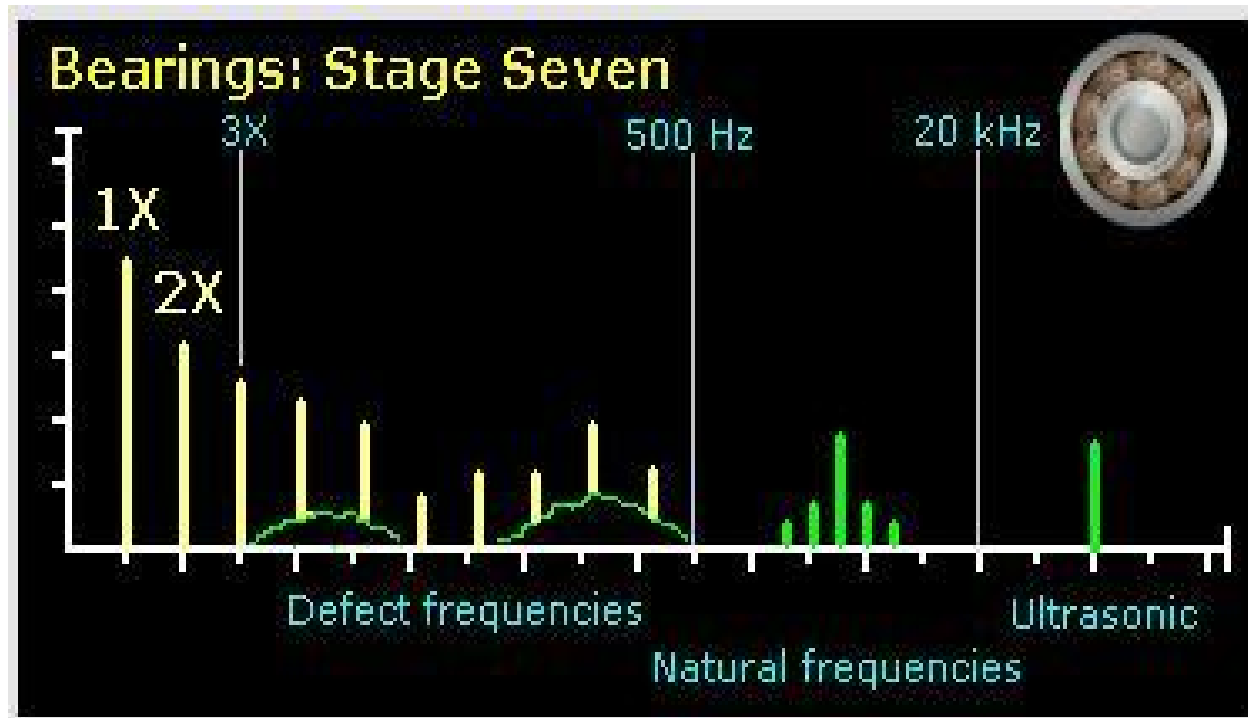
Le bande laterali si manifestano quando si è in presenza di un fenomeno di modulazione. Questo accade quando l'ampiezza di un picco in frequenza (in questo caso una delle frequenze di rottura del cuscinetto) varia nel tempo.

Ci sono due specifici casi di possibili rotture che generano fenomeni di **modulazione.**



Ciclo di vita del cuscinetto

SCHAEFFLER



Un segnale molto evidente che la fine del cuscinetto è vicina è la comparsa nello spettro di alcune ‘gobbette’ (più o meno grandi) che tendono ad alzarne il valore di fondo . Il rumore emesso dal cuscinetto ora è facilmente udibile. Il cuscinetto deve essere sostituito il prima possibile.

Risoluzione = Low-Pass/FFT lines

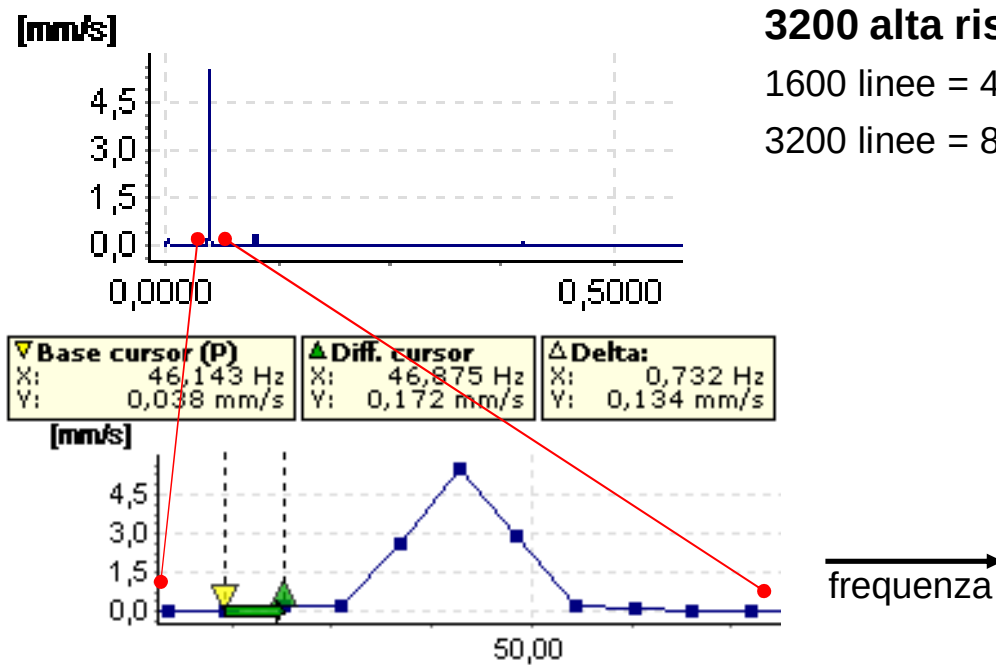
linee: numero di linee nello spettro

1600 bassa risoluzione

3200 alta risoluzione

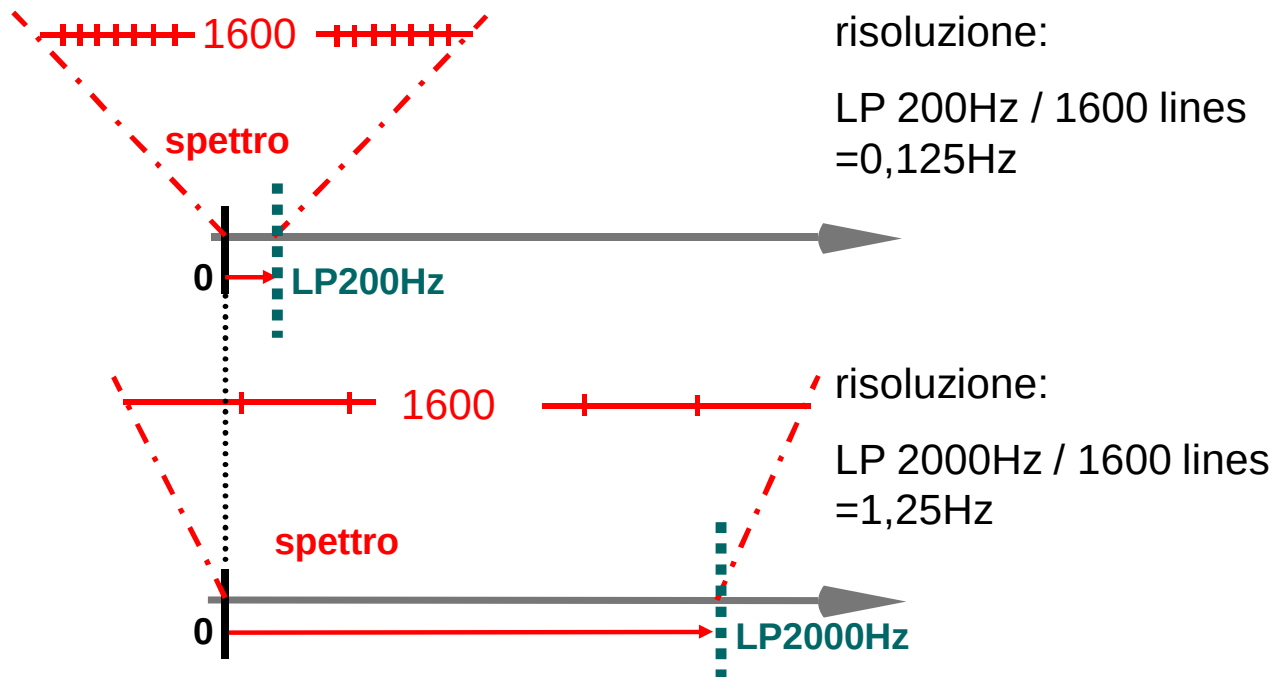
1600 linee = 4096 campionamenti / 2,56

3200 linee = 8192 campionamenti / 2,56



Low-Pass Cut-Off Frequency – effetti sulla risoluzione

SCHAEFFLER

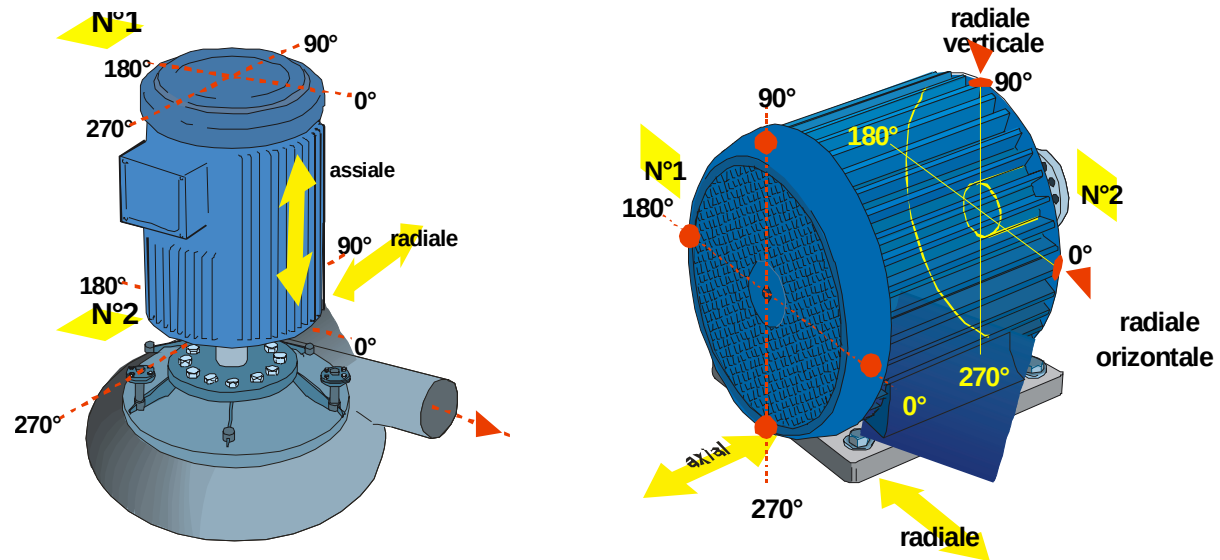


alto low-pass cut-off frequency $\Rightarrow$ bassa risoluzione nello spettro

basso low-pass cut-off frequency $\Rightarrow$ alta risoluzione nello spettro

Direzione di misura

SCHAEFFLER



MIMOSA Standard & ISO 13373-1 Annex B 4th of April 1998

Direzione di misura

LA DIREZIONE DELLA VIBRAZIONE SPESSO GIÀ INDICA LA CAUSA

1. Letture orizzontali

Se le letture orizzontali salgono rapidamente, dovete sospettare:

- Sbilanciamento del rotore
- Pale del ventilatore rotte
- Incrostazioni di sporcizia
- Perdita di pesi di bilanciamento



2. Letture verticali

Se le letture verticali salgono rapidamente, dovete sospettare di problemi alle fondamenta:

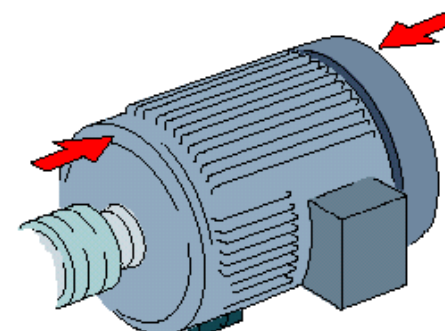
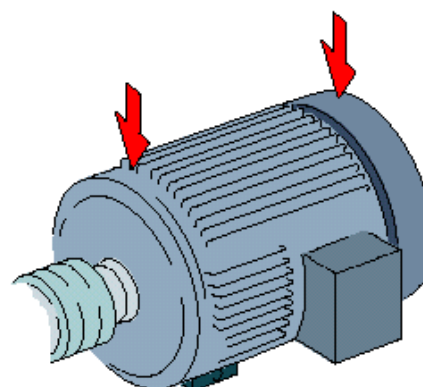
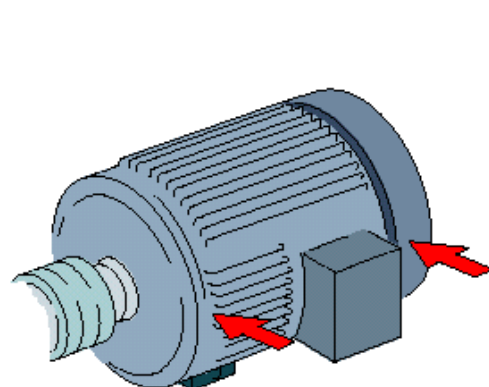
- Ancoraggio non solido
- Disegno della base errato
- Eccessivo gioco dei cuscinetti
- Problemi alla pellicola d'olio



3. Letture assiali

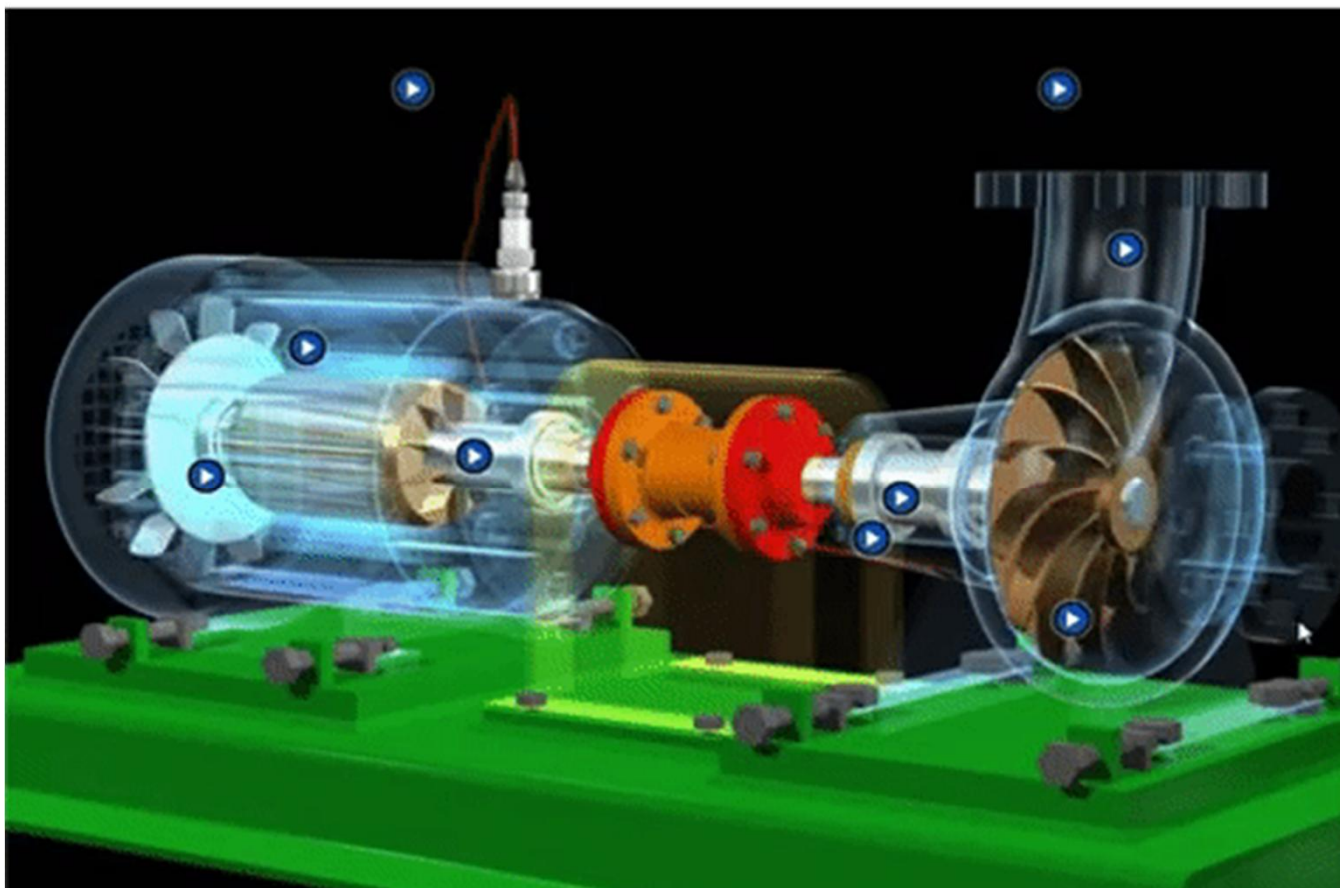
Se le letture assiali salgono rapidamente, dovete sospettare:

- Disallineamento alberi
- Denti di ingranaggi rotti
- Montaggio allentato
- Albero piegato



Direzione di misura

SCHAEFFLER

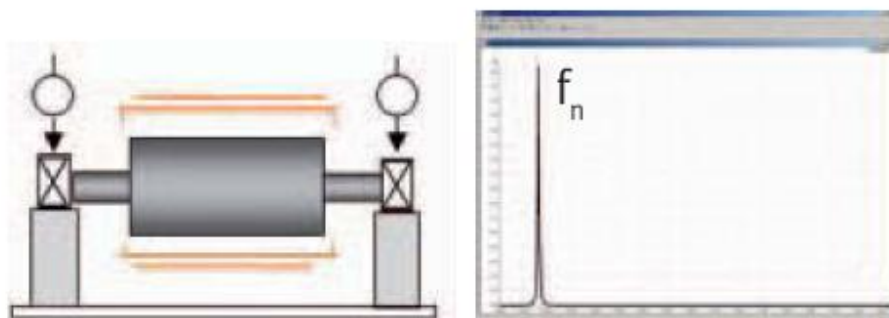




Analisi di Spettro

Sbilanciamento

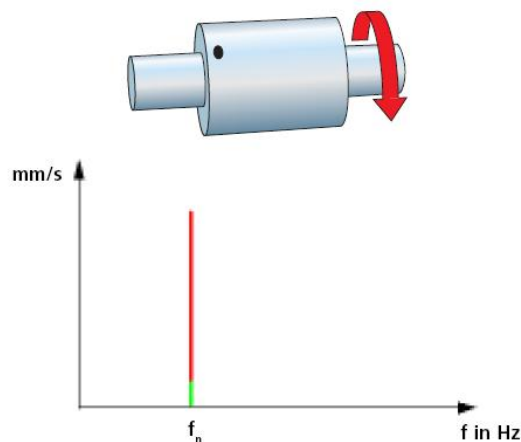
Unbalance



Lo squilibrio dinamico è facilmente identificabile, la frequenza predominante nello spettro è la frequenza di rotazione 1X RPM (prima armonica), la correzione del problema richiede necessariamente una correzione su due piani.

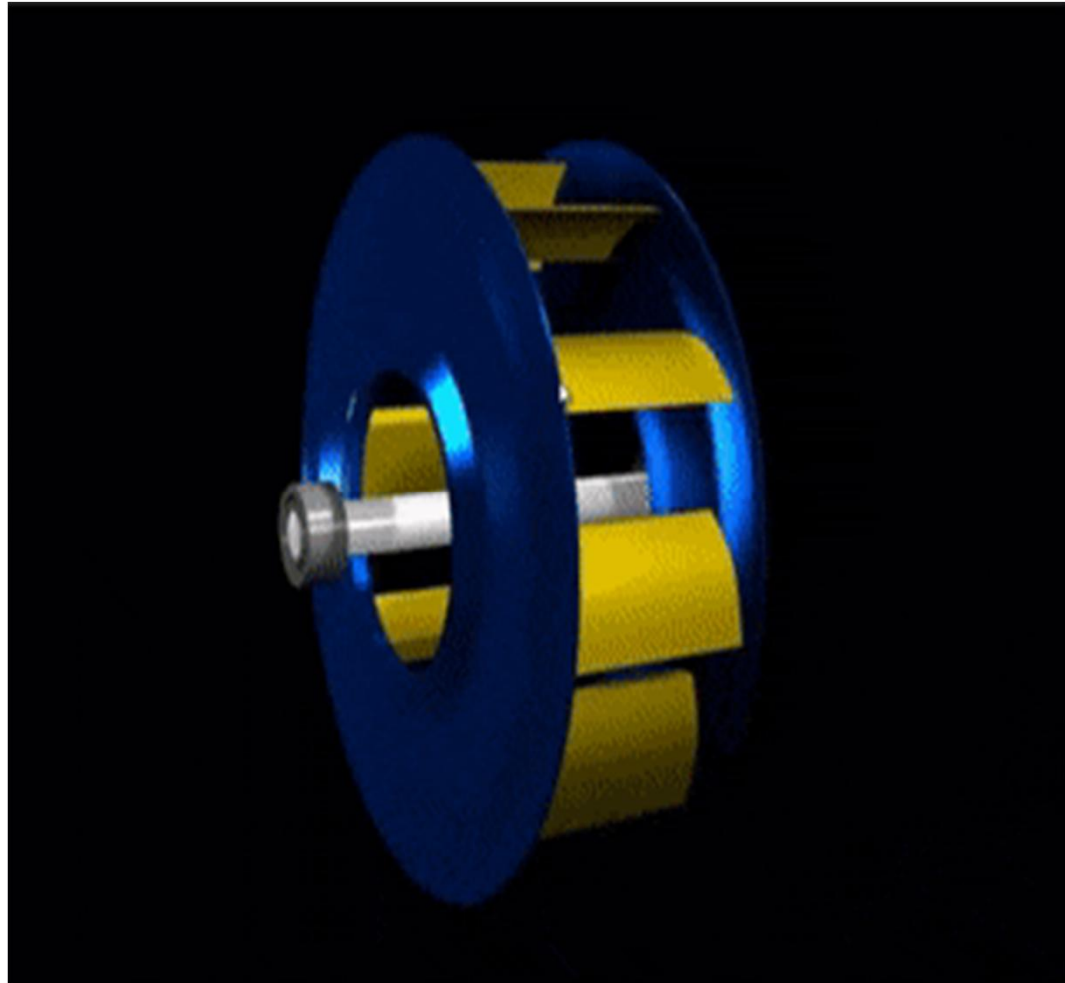
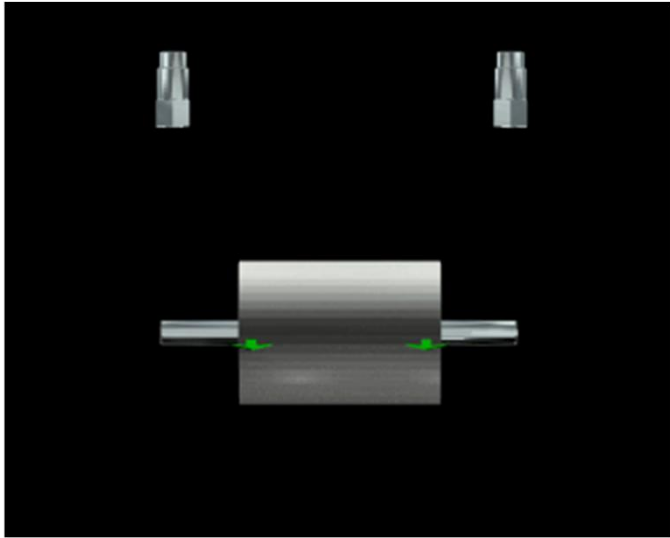
IN DIREZIONE RADIALE

Sbilanciamento



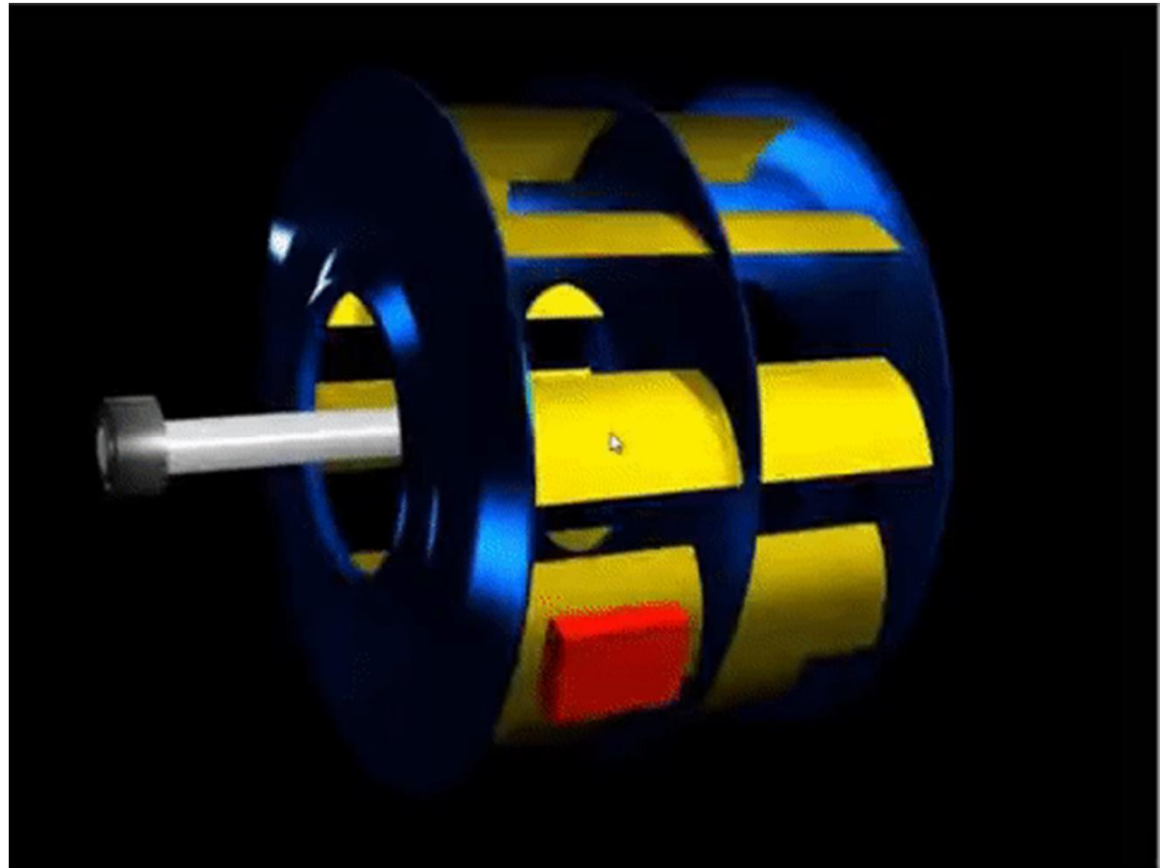
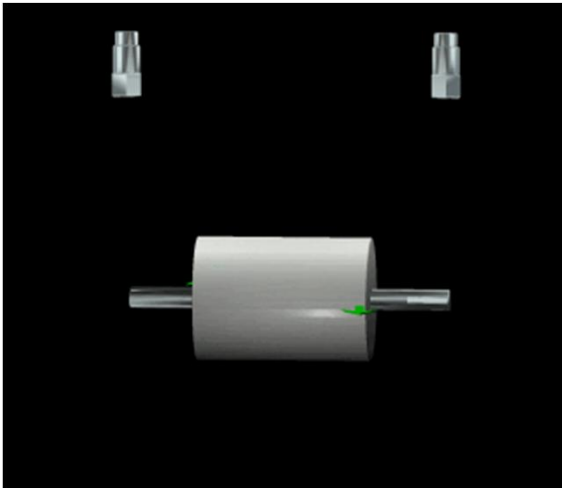
Sbilanciamento Statico

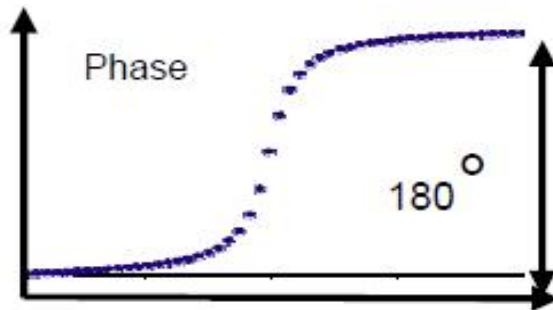
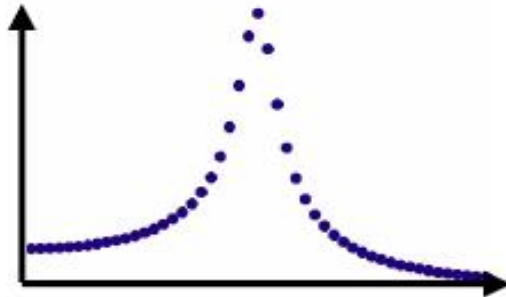
SCHAEFFLER



Sbilanciamento Dinamico

SCHAEFFLER





Spettro del segnale

Se la macchina o parti di macchina è eccitata con frequenze prossime alla sua frequenza naturale l'ampiezza delle vibrazioni raggiunge valori molto elevati.

Fase

accanto all'elevato livello di vibrazione la fase da un chiaro segnale della presenza di risonanze. In questo caso la fase cambia di 180°

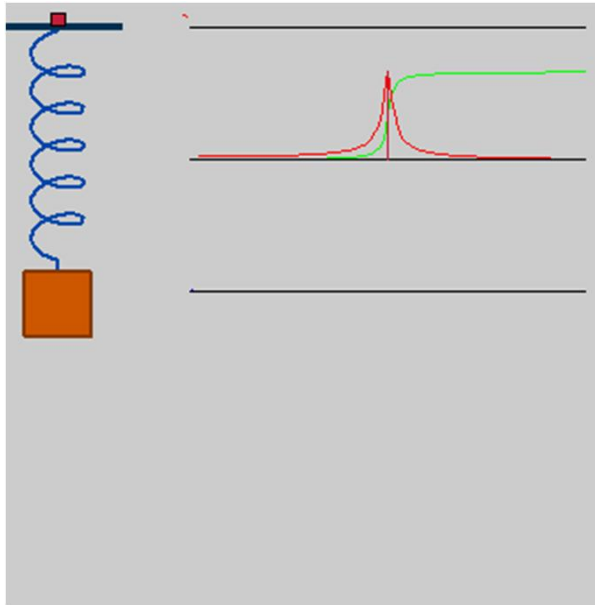
La risonanza si verifica quando una frequenza forzante coincide con una frequenza naturale del sistema e può causare una drammatica amplificazione di **Ampiezza** che può provocare un danneggiamento prematuro od addirittura catastrofico. La causa potrebbe essere una frequenza naturale del rotore, ma nella maggior parte dei casi proviene dal basamento o dalla struttura, dalle fondazioni, o dalle cinghie di trasmissione.

Se un rotore è in risonanza o prossimo alla frequenza di risonanza risulterà impossibile bilanciarlo a causa del grande sfasamento a cui è soggetto

(90° in risonanza e 180° quando la supera). Spesso si richiede un cambiamento della frequenza naturale ad un valore superiore od inferiore.

Le frequenze naturali generalmente cambiano o cambiando la velocità di rotazione o la massa del rotore.

Risonanza

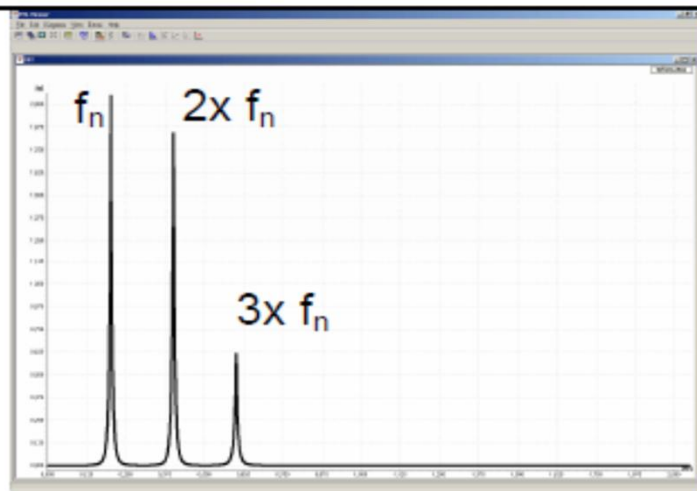
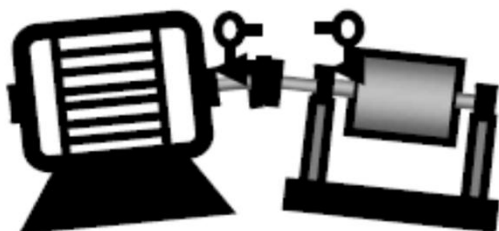


SCHAEFFLER



Disallineamento angolare

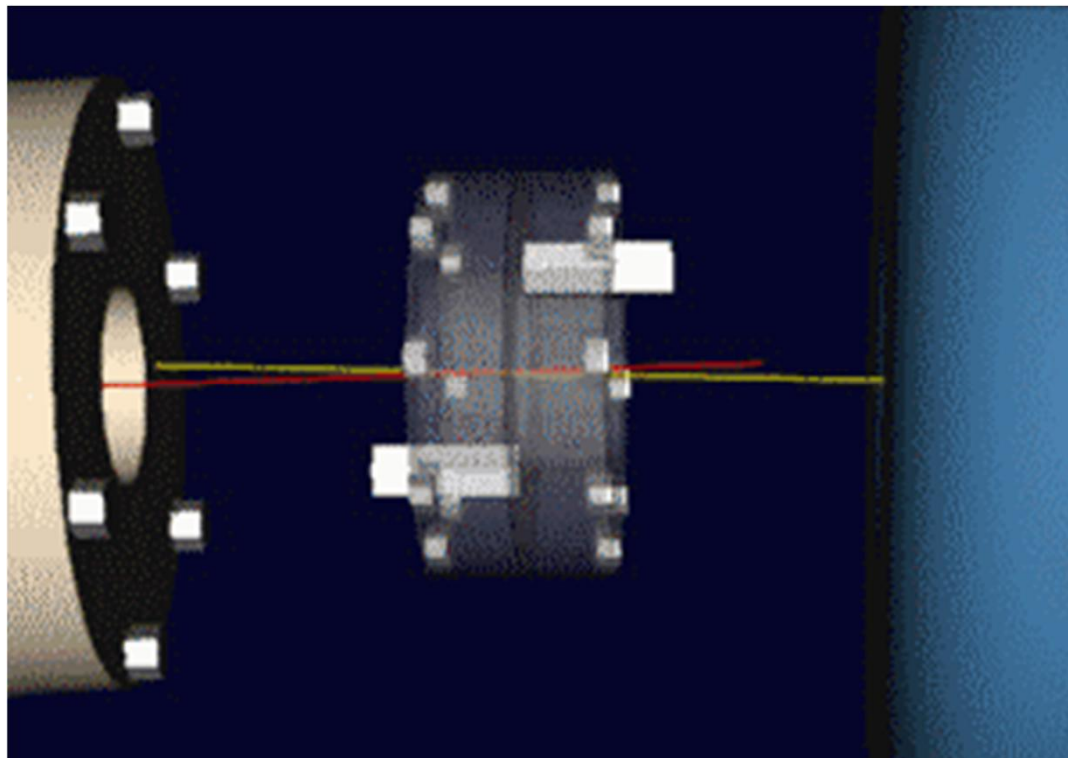
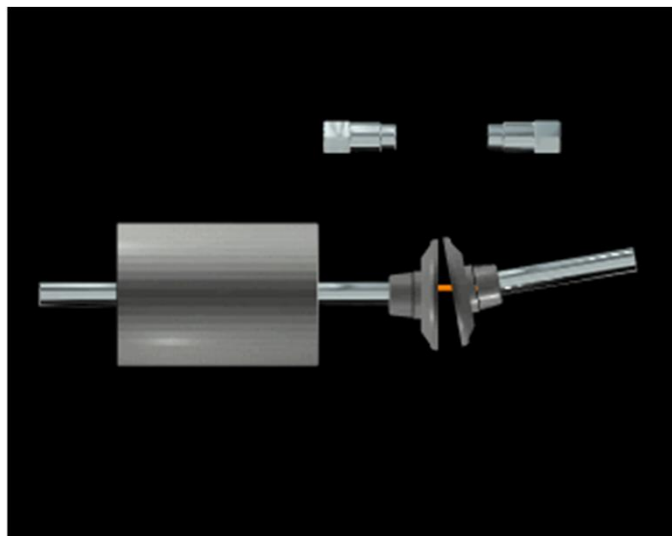
Angular misalignment



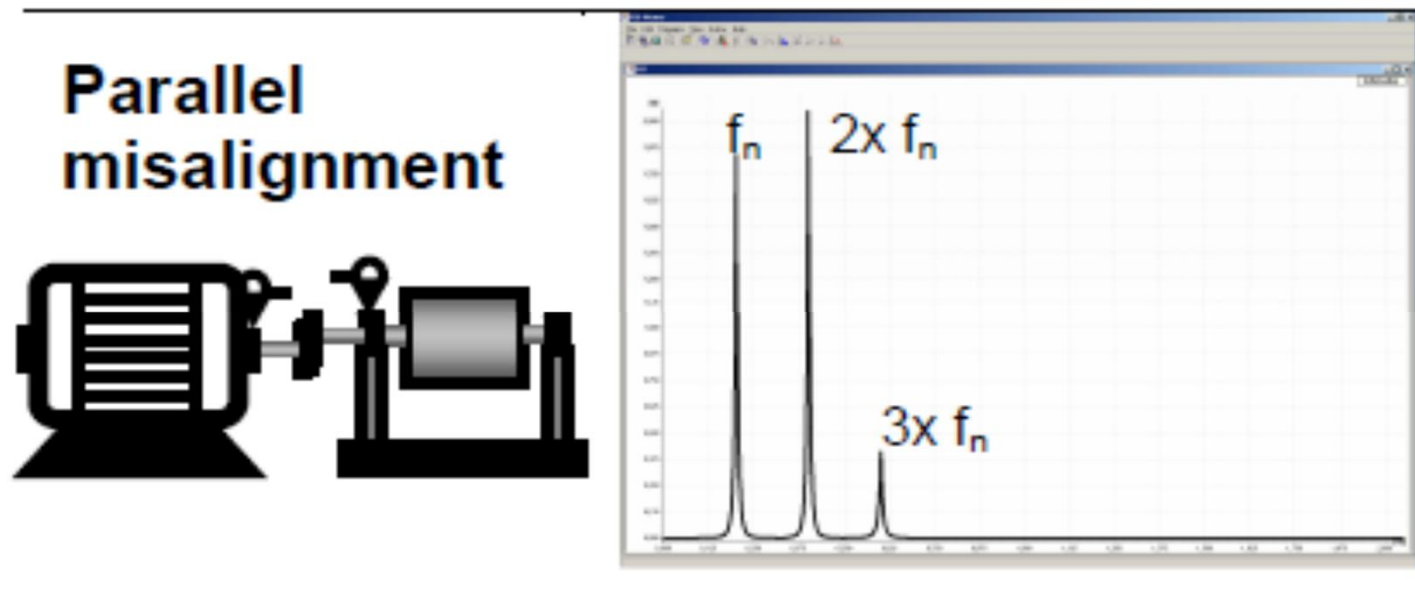
Il disallineamento angolare è caratterizzato da elevate vibrazioni in direzione **ASSIALE** con uno sfasamento di 180° attraverso il giunto. E' tipico avere elevate vibrazioni assiali sia a 1X che a 2X (f_n)rpm. In ogni caso non è insolito che dominino le frequenze 1X o 2X o 3X. Questi sintomi possono essere anche sintomi di problemi al giunto.

Disallineamento angolare

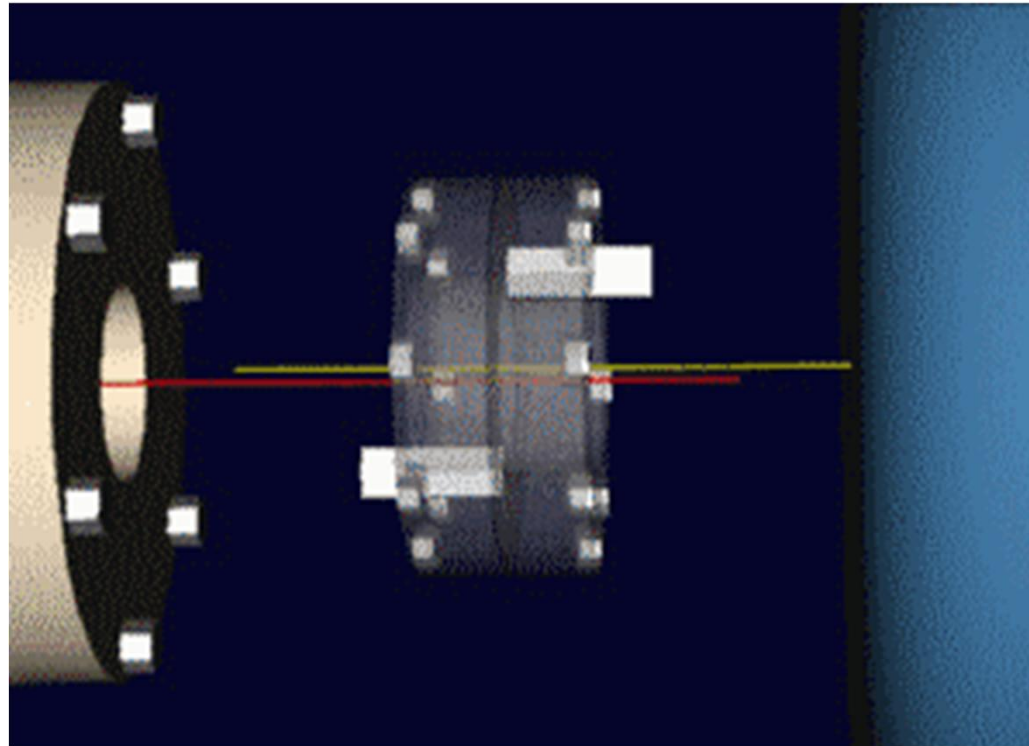
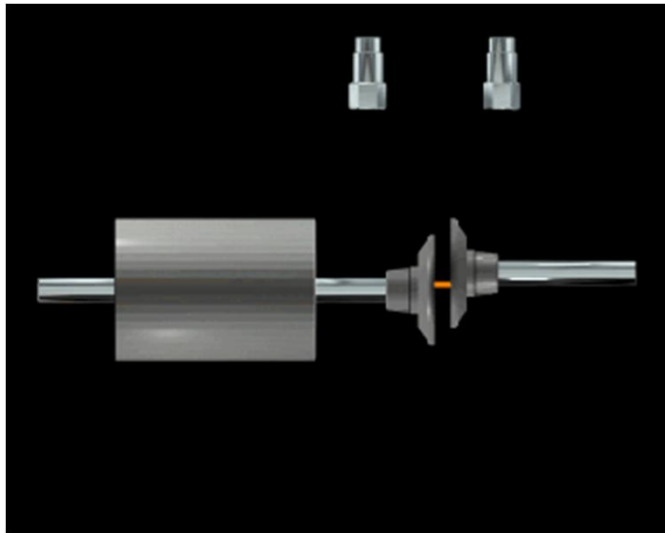
SCHAEFFLER

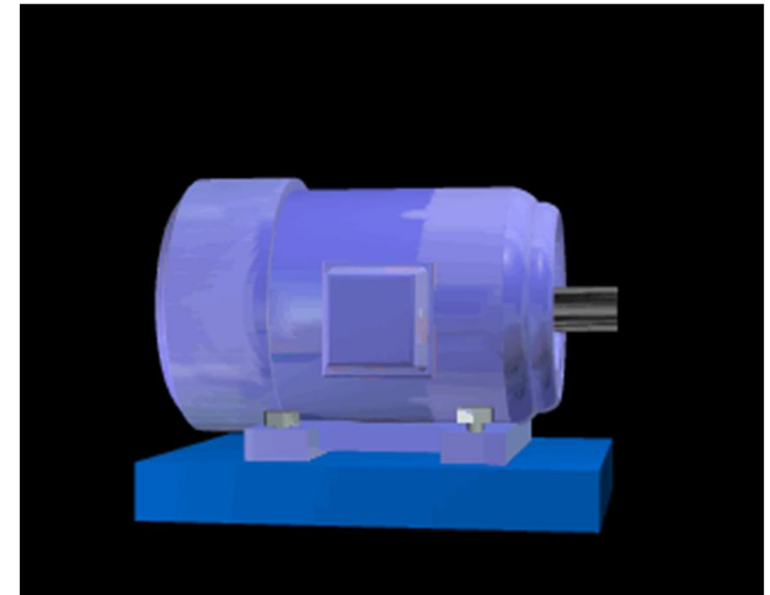
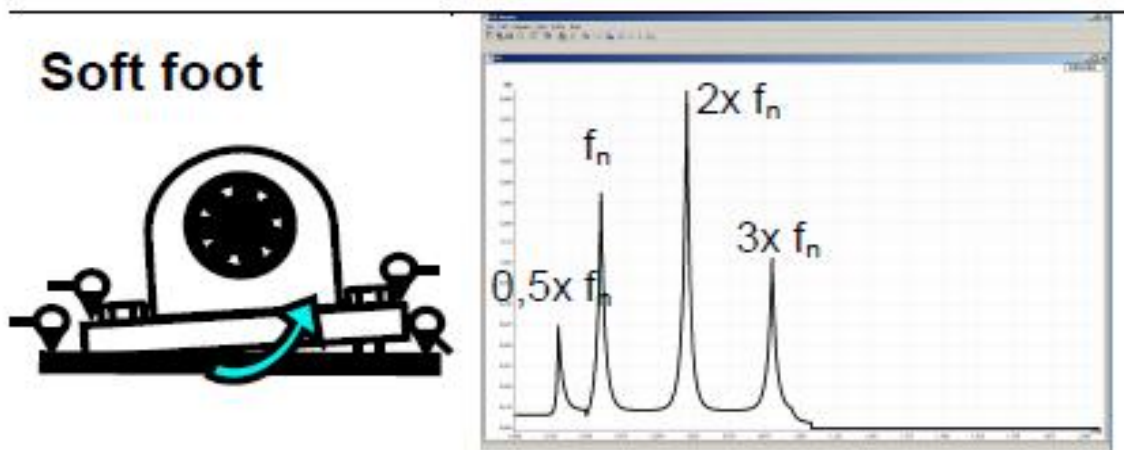


Disallineamento parallelo



Il disallineamento parallelo manifesta analoghi sintomi del parallelo, ma evidenzia elevate vibrazioni in direzione **RADIALE** con uno sfasamento di 180° attraverso il giunto. La **seconda armonica di rotazione $2Xf_n$** è spesso superiore alla 1X.





Spettro del segnale

Il piede zoppo, dovuto ad allentamento di viti di fissaggio, determina vibrazioni a $1X$, $2X$, $3 \times f_n$

Fase : una misurazione radiale tra i lati evidenzia opposizioni di fase

Tra le viti allentate la fase non è costante

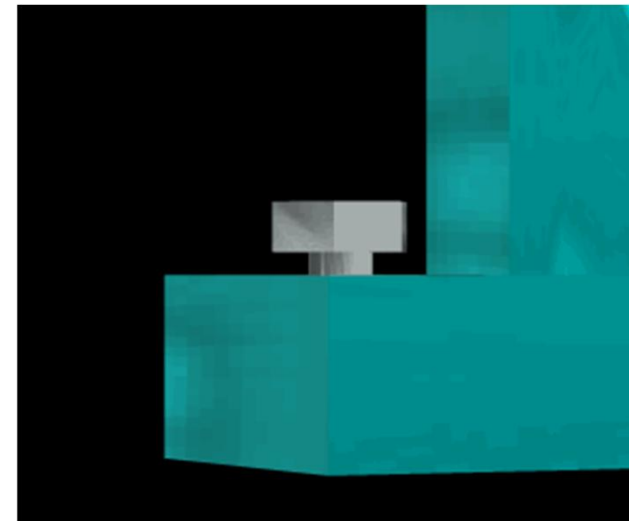
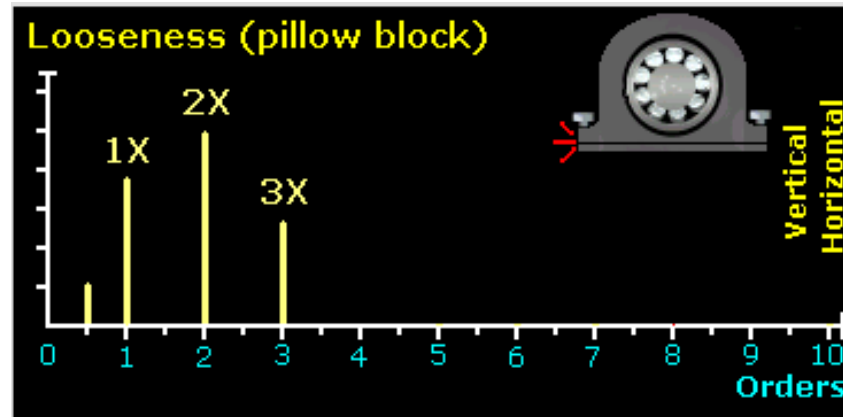
Allentamento meccanico

SCHAEFFLER

L'allentamento meccanico si manifesta normalmente con una vibrazione il cui spettro presenta un picco ad una frequenza pari a 2 volte la velocità di rotazione (2 x RPM).

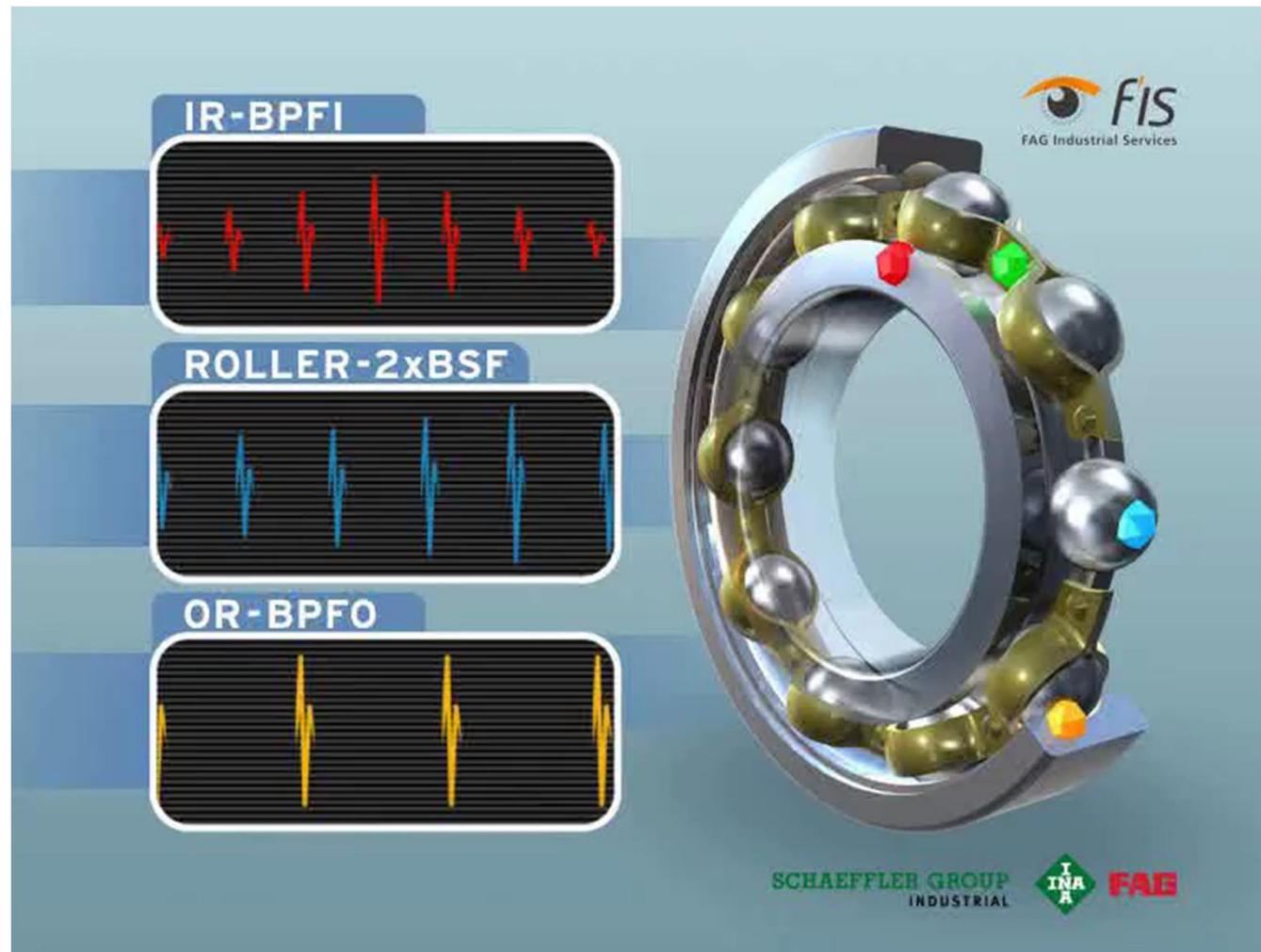
Spesso però sono presenti anche armoniche superiori come la 3, 4, 5 e 6.

La vibrazione può essere il risultato dell'allentamento dell'ancoraggio a terra, di un eccessivo gioco sui cuscinetti, della rottura del basamento, ecc...

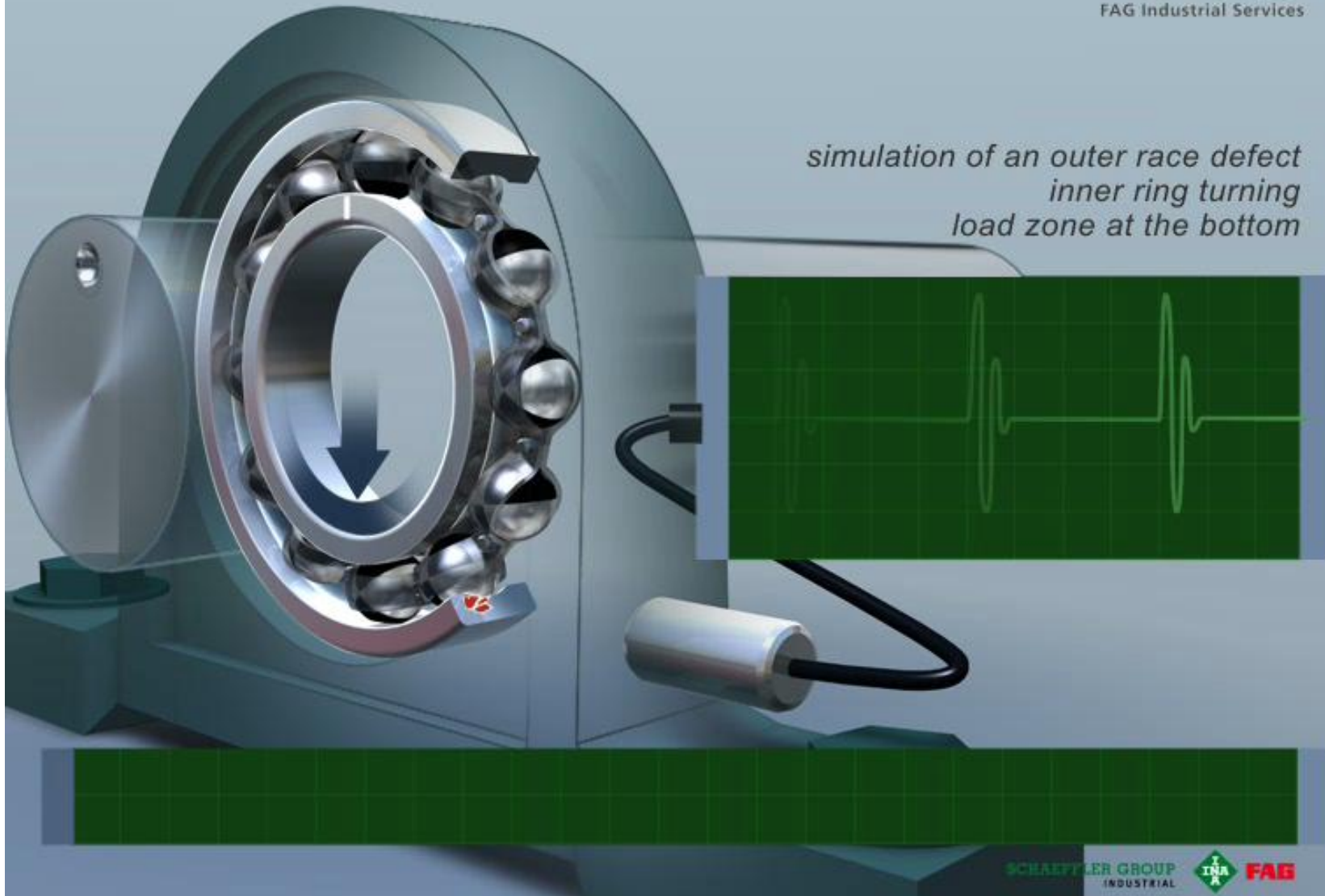


I cuscinetti

SCHAEFFLER



*simulation of an outer race defect
inner ring turning
load zone at the bottom*

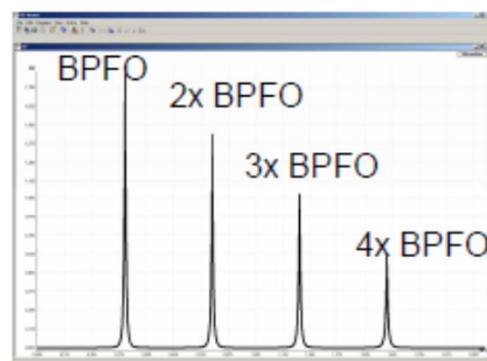
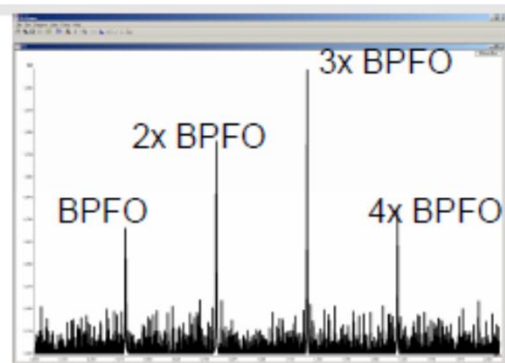


Cuscinetti volventi – difetto sull'anello esterno

Outer race defect

(fixed outer race)

Damaged outer ring BPFO



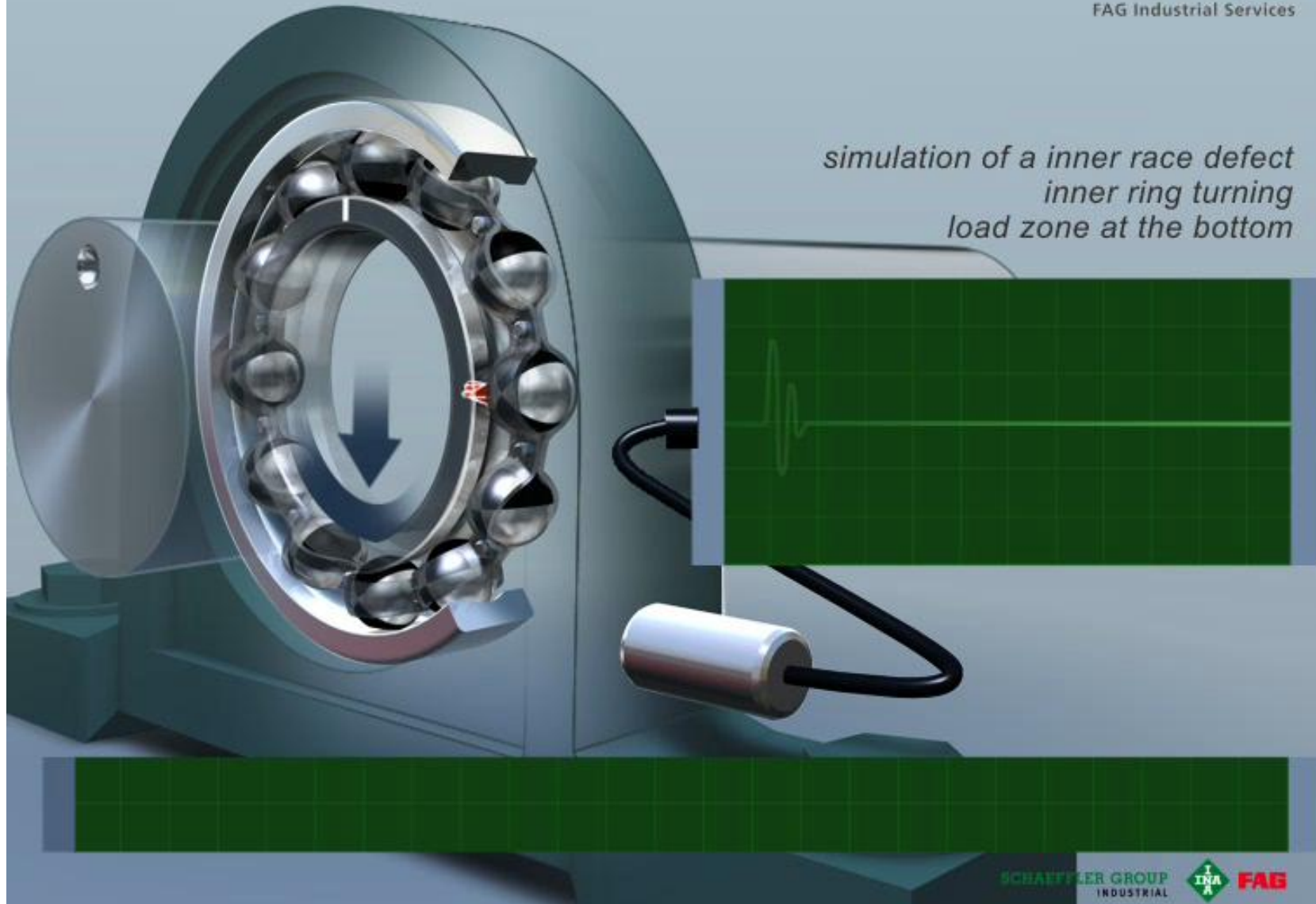
Spettro del segnale

Armoniche di BPFO nel campo alto delle frequenze;
all'aumentare del danneggiamento anche nel campo basso

Spettro del segnale demodulato

BPFO con armoniche

*simulation of a inner race defect
inner ring turning
load zone at the bottom*

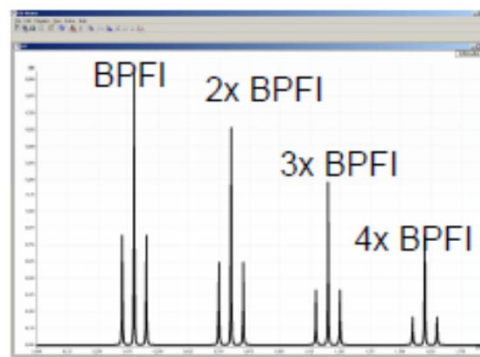
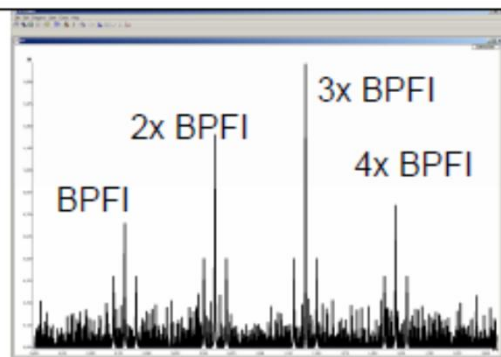


Cuscinetti volventi – difetto sull'anello interno

Inner race defect (fixed outer race)

(fixed outer race)

Damaged inner ring BPFI



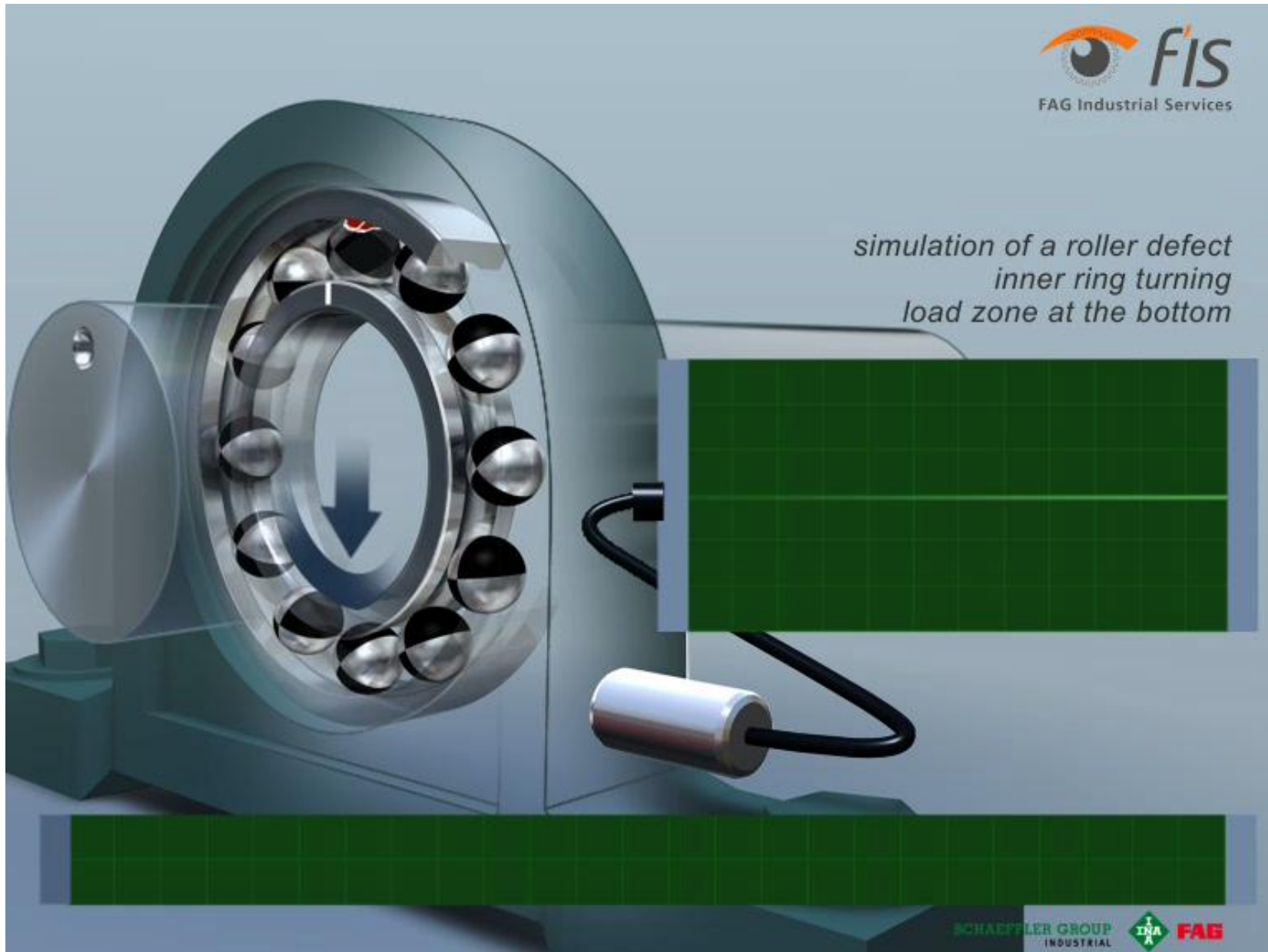
Spettro del segnale

Armoniche di BPFI nel campo alto delle frequenze; all'aumentare del danneggiamento anche nel campo basso

Spettro del segnale demodulato

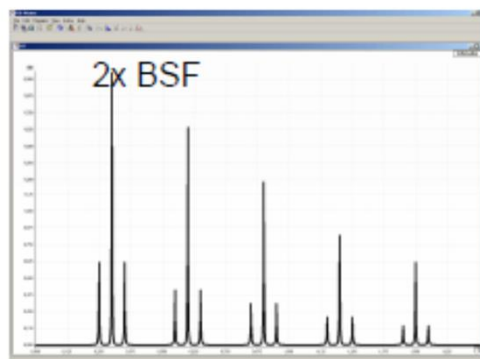
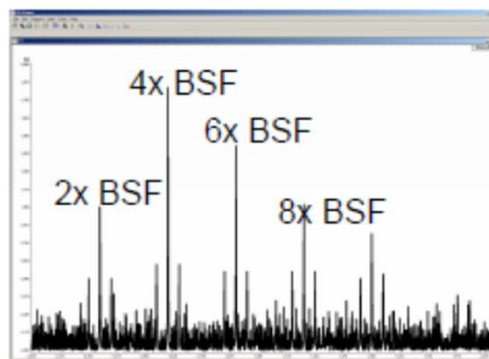
BPFO con armoniche e bande laterali. La frequenza modulante è f_n , talvolta con armoniche

*simulation of a roller defect
inner ring turning
load zone at the bottom*



Cuscinetti volventi – difetto sui corpi volventi

Roller defect



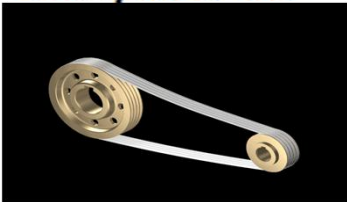
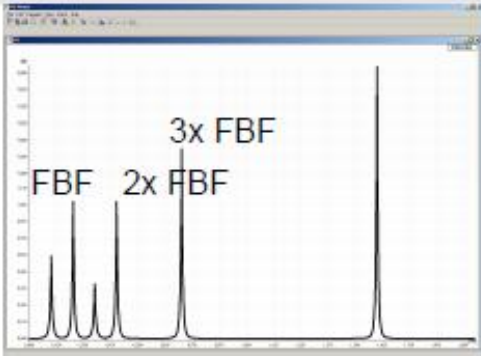
Spettro del segnale

2 x BSF con armoniche nel campo alto delle frequenze; all'aumentare del danneggiamento anche nel campo basso

Spettro del segnale demodulato

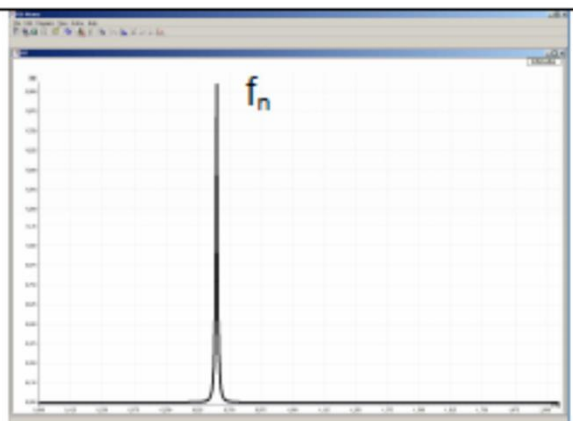
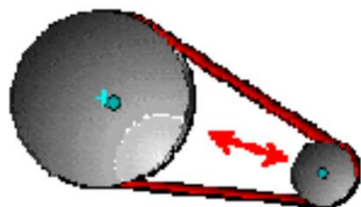
2 x BSF con armoniche e bande laterali. La frequenza modulante corrisponde alla velocità angolare della gabbia talvolta con armoniche

Problemi nelle trasmissioni a cinghia

Belts	
Main frequencies	Fundamental Belt Frequency = $FBF = \frac{\pi \times Rotating frequency Sheave \times Diameter Sheave}{Belt length}$
Problem	Description
Incorrect belt tension, worn belts, unequal belts 	Raw signal: 1, 2 ,3x FBF measured parallel to belt tension. 

Puleggia eccentrica

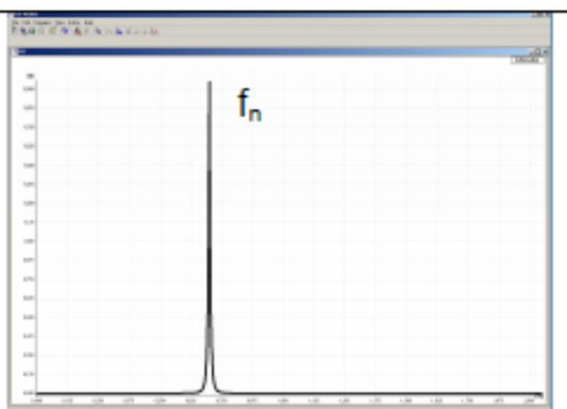
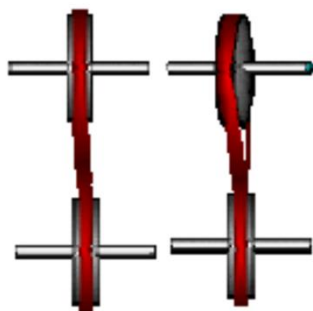
**Eccentricity of
the sheave
(e.g. dirt in the
track of the
belt sheave)**



Elevata ampiezza a 1 x RPM della puleggia eccentrica misurata secondo la congiungente dei due centri

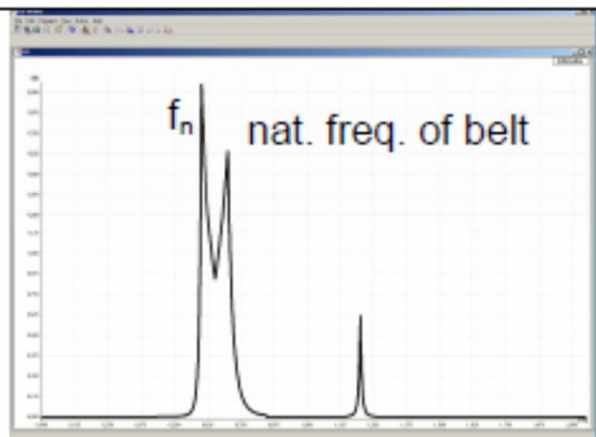
Disallineamento tra pulegge

Misalignment
between the
sheaves



Vibrazione a 1 x RPM dell'albero conduttore o condotto misurata in direzione **Assiale**

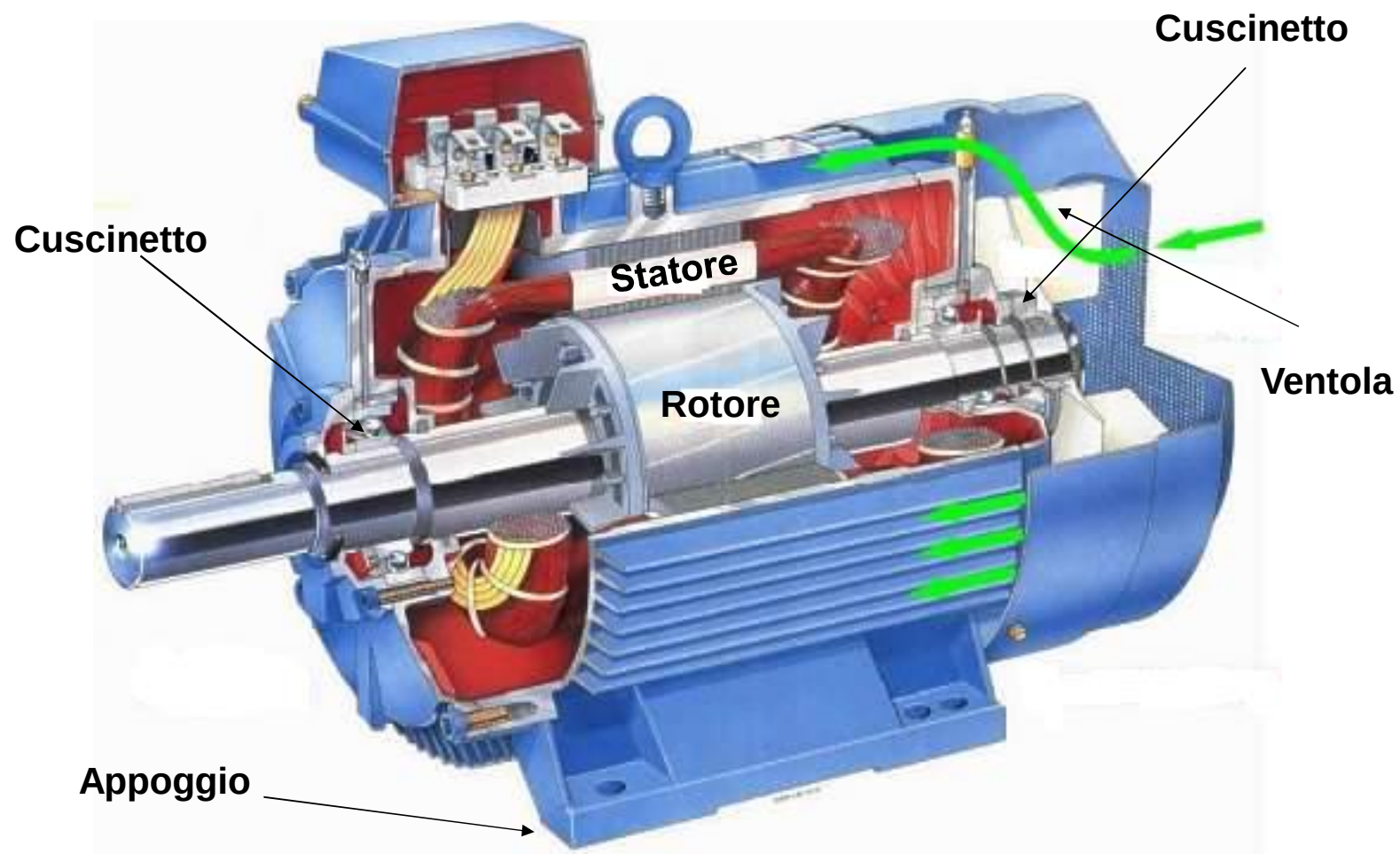
Risonanza della cinghia

**Belt
resonance**

La velocità angolare della puleggia e la frequenza naturale della cinghia sono vicine o coincidenti. La frequenza naturale della cinghia può essere cambiata modificandone il tensionamento

Fonti di vibrazione nei motori elettrici

SCHAEFFLER



Electrical Motors

Main frequencies

Line frequency (F_L): 50 Hz (60 Hz USA)

Synchronous Speed (N_S): $F_L / \# \text{ of pole pairs}$

Slip frequency (F_S): $N_S - \text{Turning speed } f_n$

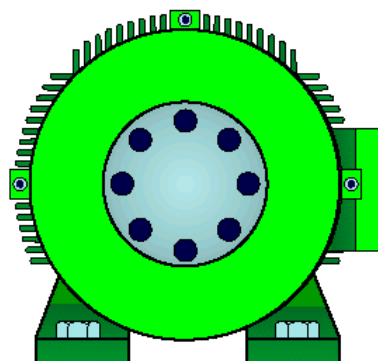
Pole pass frequency (F_P): $F_S \times \# \text{ of poles}$

Rotorbar-pass-frequency (F_Z): $(F_L - F_S) \times \# \text{ rotorbars}$

Rectifier Frequencies (F_R): 300 Hz, 600 Hz

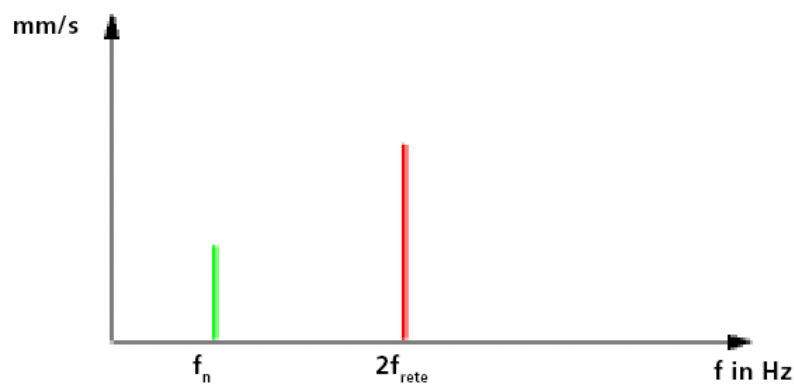
Asimmetria del campo magnetico dello statore

SCHAEFFLER



Asimmetria del campo magnetico dello statore

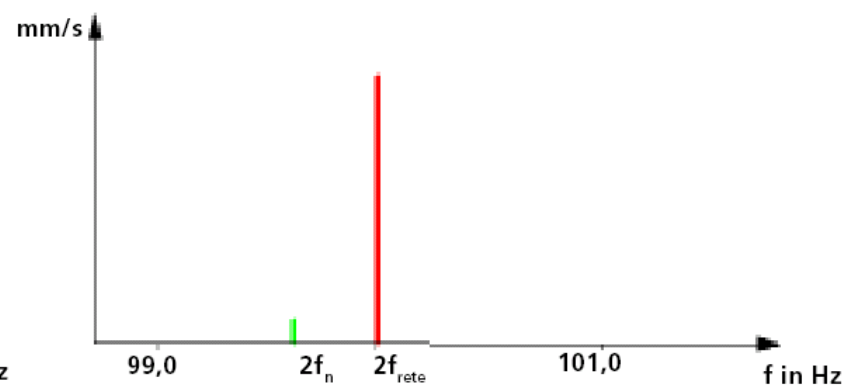
- Surriscaldamento della bobina, corto circuito
- Posizione eccentrica del rotore
- Alimentazione asimmetrica
- Avvolgimento asimmetrico



Due volte la frequenza di rete $2f_{rete}$

Frequenza di rete $f_{rete} = 50$ o 60 Hz

Eccezione: raddrizzatori



Non sono visibili bande laterali attorno a $2f_{rete}$

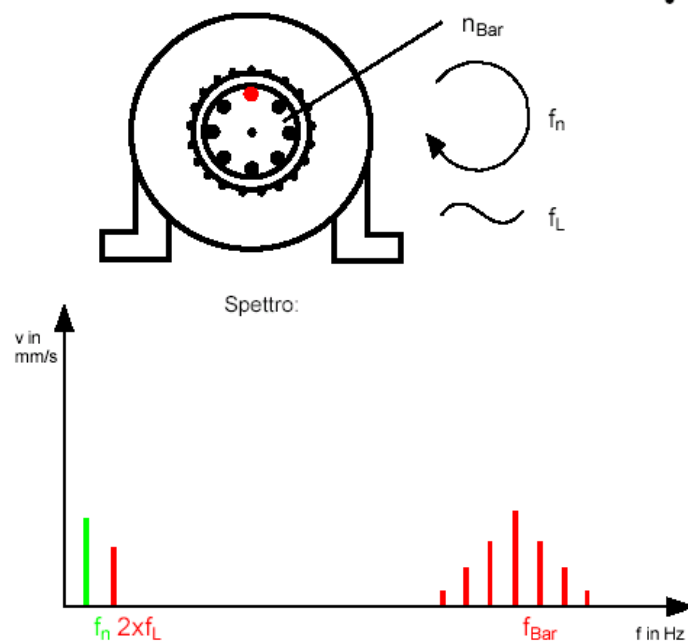
Attenzione nelle macchine a due poli:
Il doppio della frequenza di rotazione
è appena sotto la $2f_{rete}$

Fonti di vibrazione nei motori elettrici

SCHAEFFLER

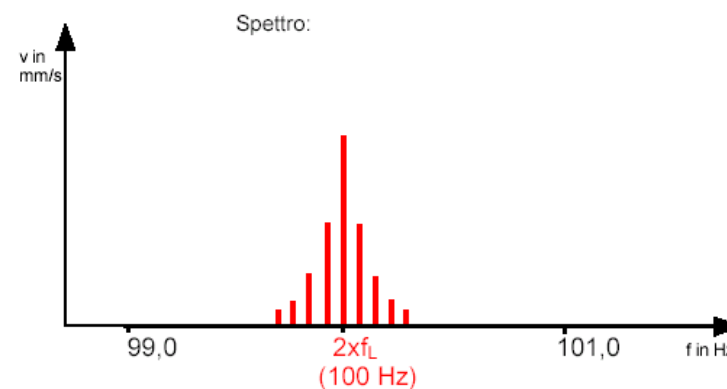
h) Difetti isolamento rotore
(Macchine elettriche rotanti):

- Rottura della barra
- Frattura della barra
- Allentamento della barra



Frequenza del passo della barra f_{Bar} con bande laterali
Visibili a intervalli di $2xf_L$ (frequenza di rete)

- Frequenza del passo della barra $f_{Bar} = f_n \cdot n_{Bar}$
con n_{Bar} = numero delle barre
 $f_L = 50,0$ Hz frequenza di rete

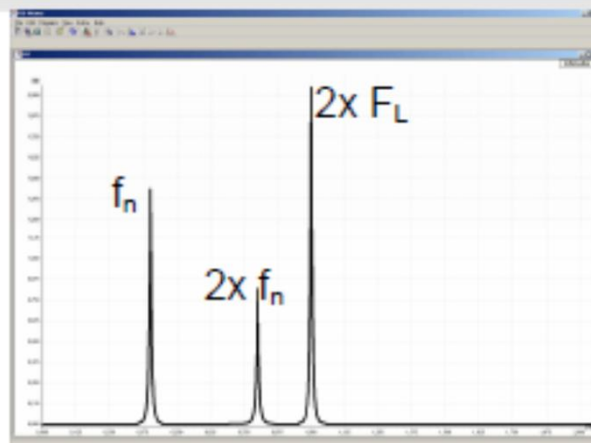
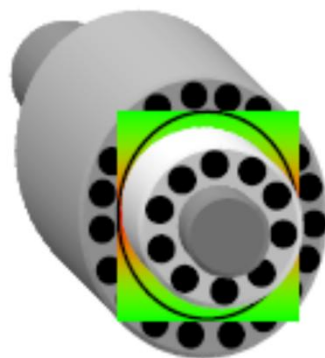


Bande laterali visibili a circa $2xf_L$ a intervalli di f_{slip}

$$\text{Freq. di scorrimento } f_{slip} = \frac{2 \cdot f_L}{p} f_n$$

p = Numero dei poli

**Eccentric
stator, loose
lamination**



Spettro del segnale
2 x FL (100 Hz, 120 Hz)

Electrical Motors

Main frequencies

Line frequency (F_L): 50 Hz (60 Hz USA)

Synchronous Speed (N_s): $F_L / \#$ of pole pairs

Slip frequency (F_s): $N_s -$ Turning speed f_n

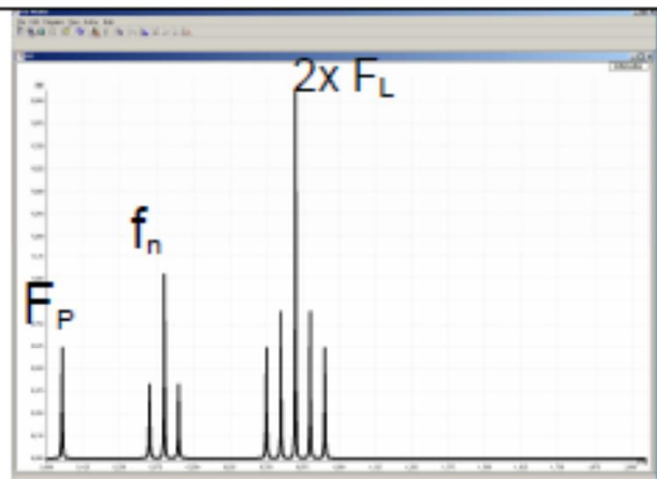
Pole pass frequency (F_p): $F_s \times \#$ of poles

Rotorbar-pass-frequency (F_z): $(F_L - F_s) \times \#$ rotorbars

Rectifier Frequencies (F_R): 300 Hz, 600 Hz

Eccentricità del rotore, variabilità del traferro

**Eccentric
rotor, variable
air gap**



Spettro del segnale
 $2 \times F_L$ con bande laterali F_P

Electrical Motors

Main frequencies

Line frequency (F_L): 50 Hz (60 Hz USA)

Synchronous Speed (N_s): $F_L / \#$ of pole pairs

Slip frequency (F_s): $N_s -$ Turning speed f_n

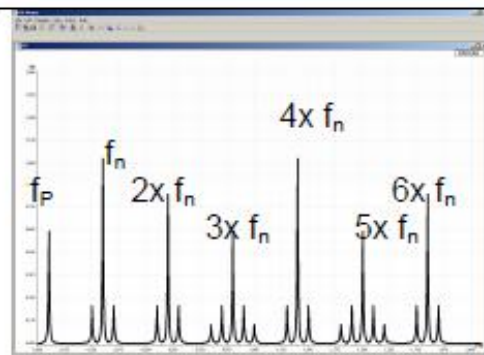
Pole pass frequency (F_P): $F_s \times \#$ of poles

Rotorbar-pass-frequency (F_Z): $(F_L - F_s) \times \#$ rotorbars

Rectifier Frequencies (F_R): 300 Hz, 600 Hz

Rottura o perdita di una barra rotorica

Rotor problems:
cracked or
loose rotor
bars



Spettro del segnale

Velocità angolare e armoniche
con bande laterali F_P

Electrical Motors

Main frequencies

Line frequency (F_L): 50 Hz (60 Hz USA)

Synchronous Speed (N_S): $F_L / \#$ of pole pairs

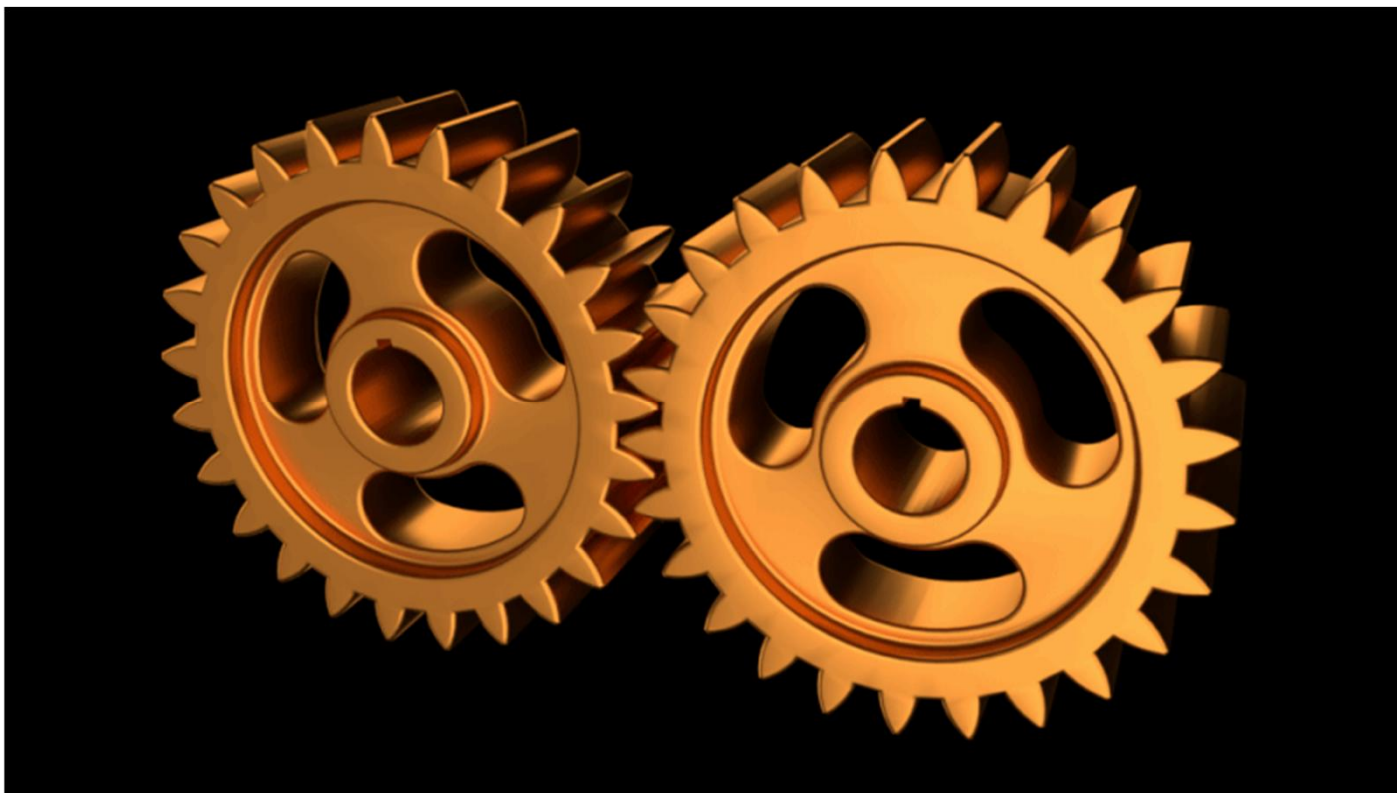
Slip frequency (F_S): $N_S -$ Turning speed f_n

Pole pass frequency (F_P): $F_S \times \#$ of poles

Rotorbar-pass-frequency (F_Z): $(F_L - F_S) \times \#$ rotorbars

Rectifier Frequencies (F_R): 300 Hz, 600 Hz

Defetti e problemi sugli ingranaggi



Gears

Main frequencies

Gear Mesh Frequency (GMF) = $z_1 \times f_{n1} = z_2 \times f_{n2}$

Side band frequency: f_{n1} or f_{n2}

z – number of teeth

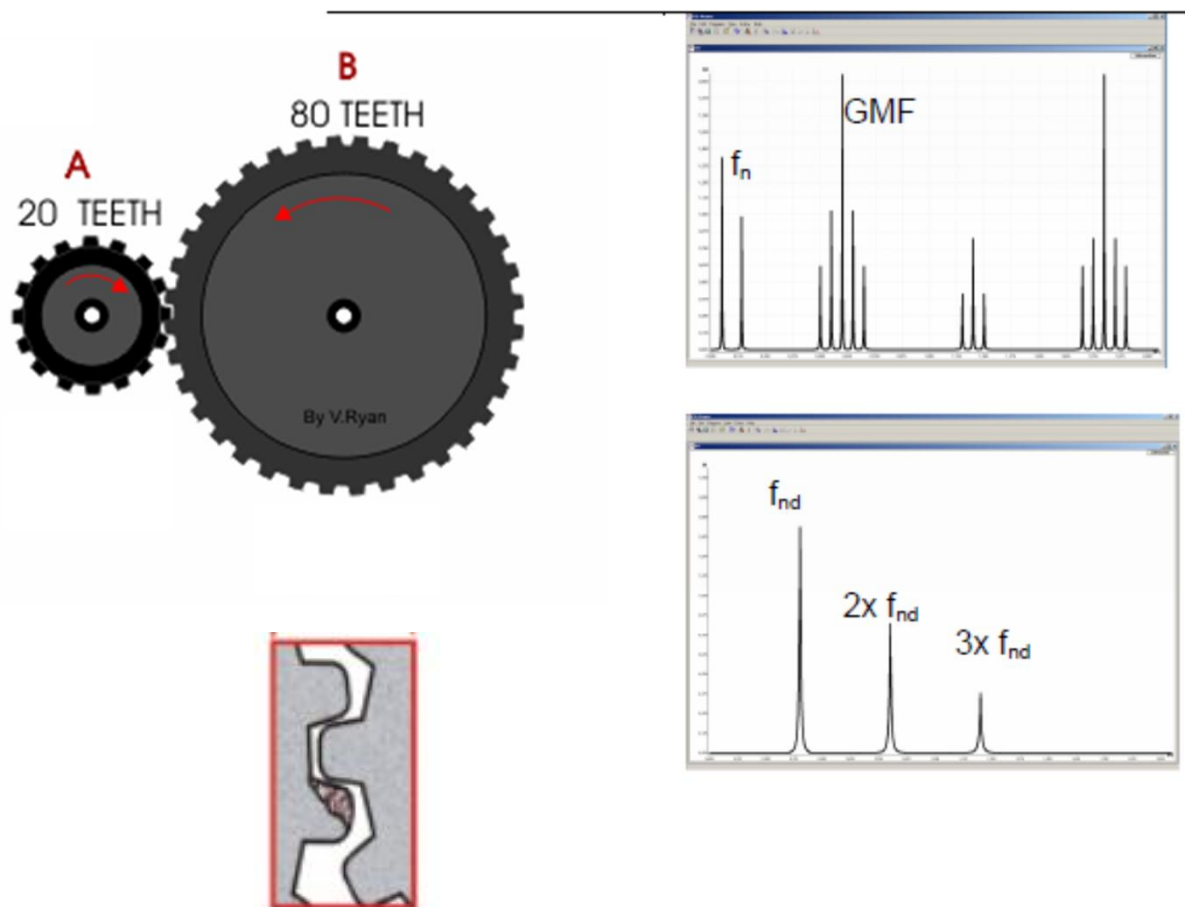
f_n – rotary speed (in planetary gears: use relative rotary speed)

f_{nd} – rotary speed of defect gear

Remember:

Even completely undamaged gear boxes excite vibrations.

Difetto locale



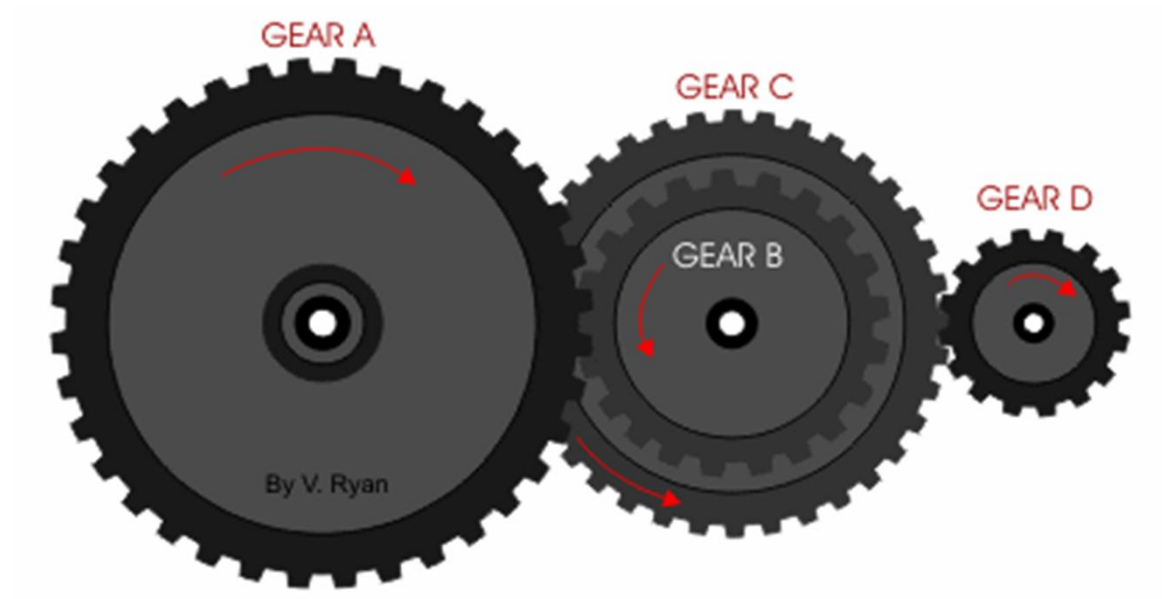
Spettro del segnale

GMF con bande laterali crescenti nel tempo f_n dell'ingranaggio difettoso con armoniche

Spettro del segnale demodulato

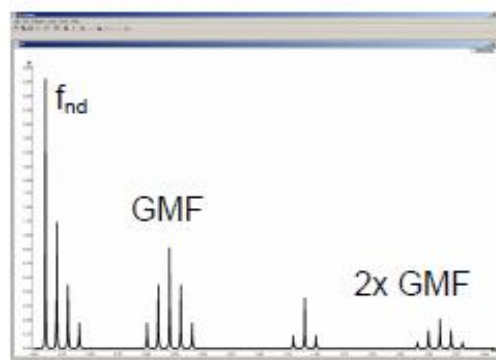
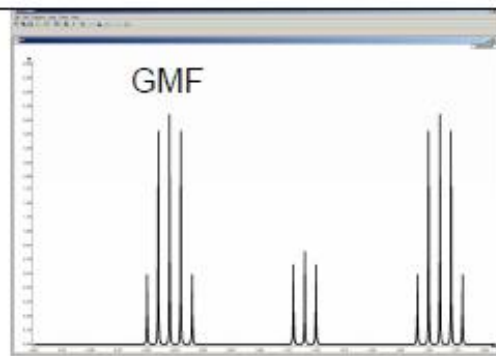
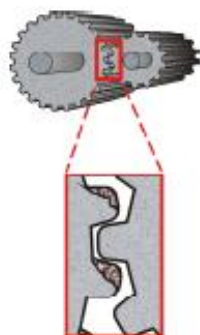
Velocità di rotazione f_n dell'ingranaggio difettoso con armoniche

Difetto locale



Danneggiamento generalizzato

**Revolving
gearing
damage**



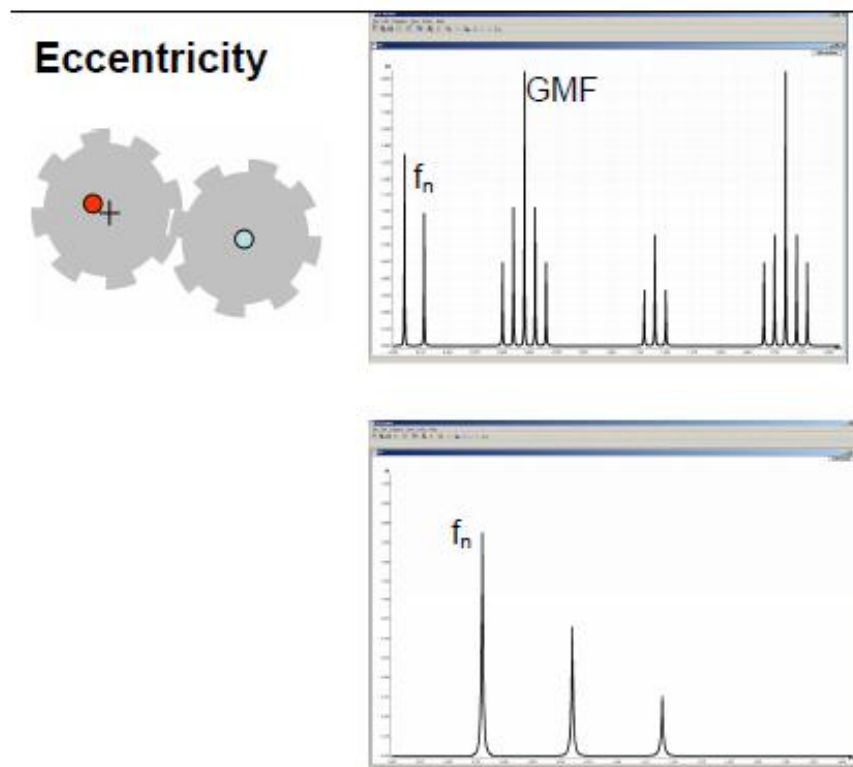
Spettro del segnale

GMF con bande laterali elevate f_n dell'ingranaggio difettoso con armoniche. GMF può anche decrescere; un danneggiamento generalizzato può mostrarsi con GMF divisa per numero intercosì come un divisore comune del numero di denti

Spettro del segnale demodulato

Velocità di rotazione f_n dell'ingranaggio difettoso con armoniche; GMF con armoniche e bande laterali f_n dell'ingranaggio difettoso

Ingranaggi eccentrici



Spettro del segnale

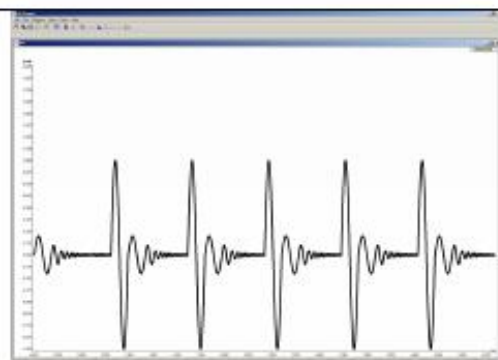
GMF con armoniche e bande laterali
 f_n

Spettro del segnale demodulato

Velocità di rotazione f_n

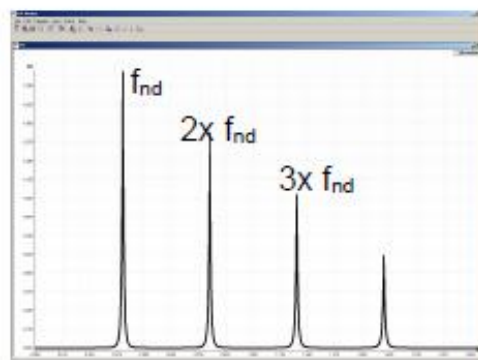
Dente spezzato o mancante

Broken or missing tooth



Segnale nel tempo

Simile ad un ingranamento non difettoso (GMF con piccole bande laterali f_n)



Spettro del segnale demodulato

Velocità di rotazione f_n dell'ingranaggio difettoso con molte armoniche.

Domande

SCHAEFFLER





SCHAEFFLER

Grazie per l'attenzione

