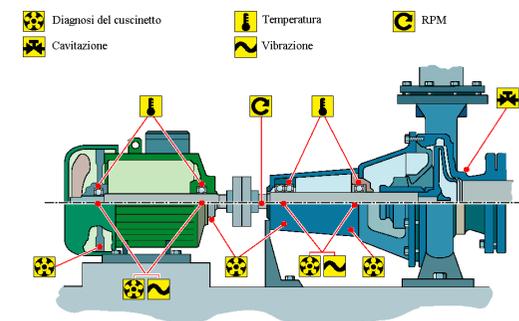
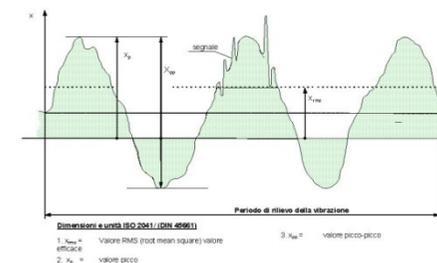
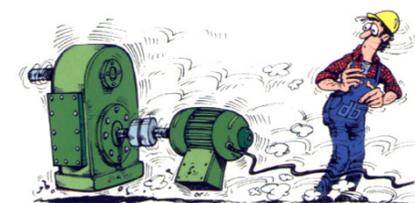


***VIB 2: FONDAMENTI
SULL'ACQUISIZIONE DATI E
TRATTAMENTO DEI SEGNALI +
PROVE PRATICHE***

ARGOMENTI

• PRESENTAZIONE GRUPPO PRUFTECHNIK	3 – 23
• INTRODUZIONE AI FILTRI	24 -31
• ANALISI DI SPETTRO – FFT – CAMPIONAMENTO	32 – 50
• PARAMETRI TIPICI PER UNA ANALISI DI SPETTRO FFT	51 - 54
• TEOREMA DI NYQUIST – ALIASING - RISOLUZIONE - TEMPO DI ACQUISIZIONE	55 - 77
• FUNZIONI WINDOW – LARGHEZZA DI BANDA	78 - 92
• FREQUENZE E LINEE SPETTRALI	93 - 94
• AVERAGING – RITARDO – SOVRAPPOSIZIONE	95 – 102
• TIME SYNCHRONOUS AVERAGING	103 – 110
• MODULAZIONE	111 – 118
• BATTIMENTO	119 - 122
• ANALISI DELLA FORMA D'ONDA	123 - 150
• ELENCO POVE PRATICHE	151
• GRAZIE	152





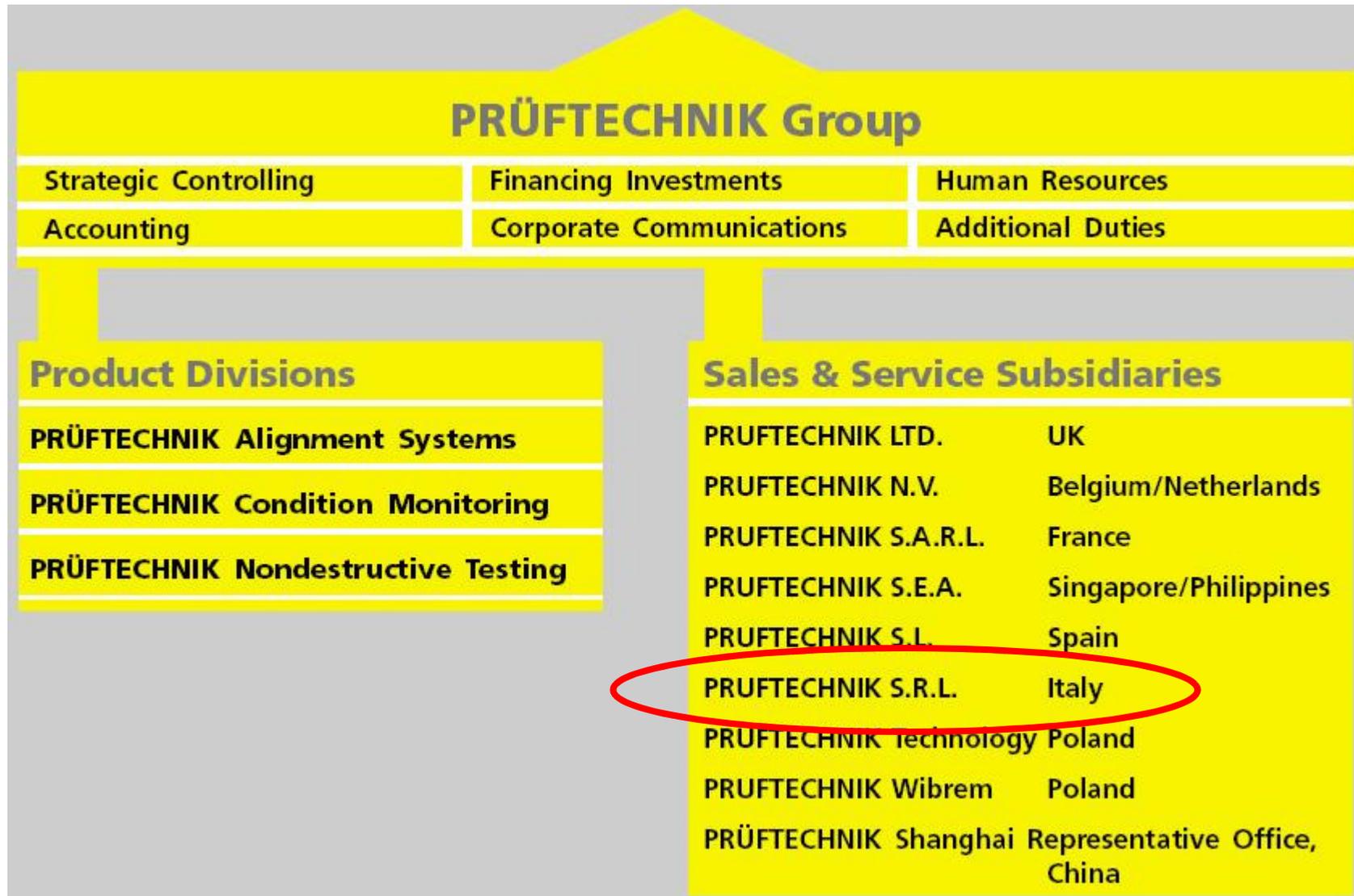
db[®] PRÜFTECHNIK

Presentazione del gruppo PRUFTECHNIK

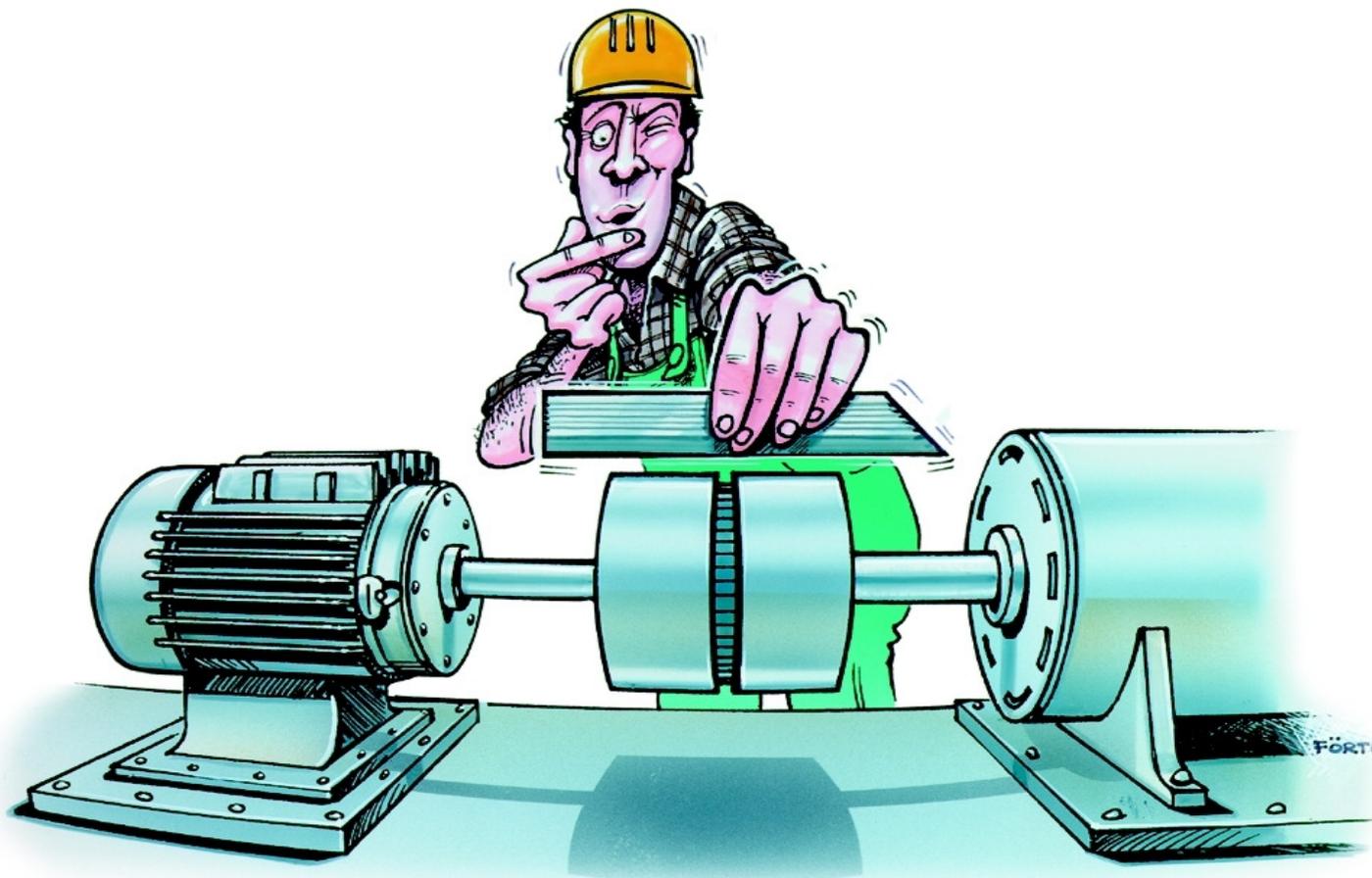


- ALLINEAMENTO LASER
- VIBRAZIONI
- CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

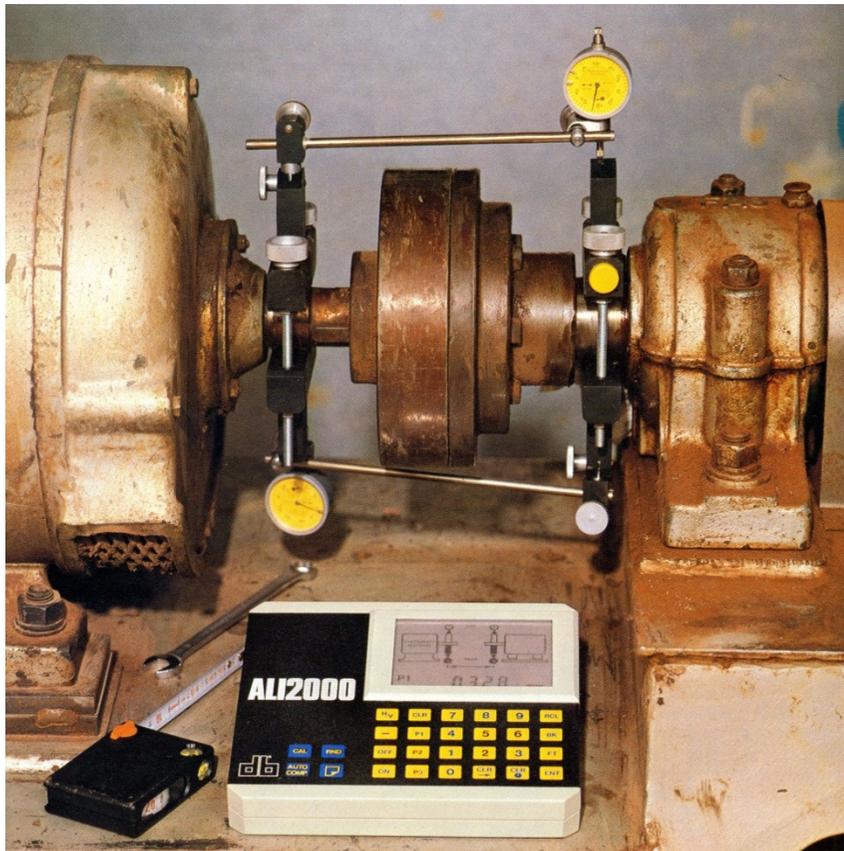
Necessari per introdurre la filosofia della *manutenzione proattiva*.....



1° settore d'attività : Allineamento laser



Evoluzione dei Sistemi di allineamento PRÜFTECHNIK



Anno 1976



Anno 2009

Sistemi di Allineamento Laser

PULLALIGN



ROTALIGN® Ultra

NOVALIGN



OPTALIGN® Smart



PARALIGN

PERMALIGN®



SmartALIGN® e

SmartSCANNER®



ALIGNEO



LEVELIGN

▶ **ALBERI ROTANTI IN GENERE**

Pompe, Motori, Ventilatori, Riduttori, etc.

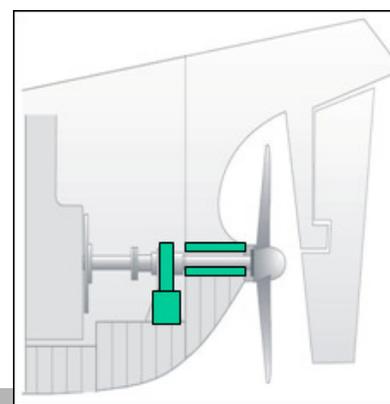
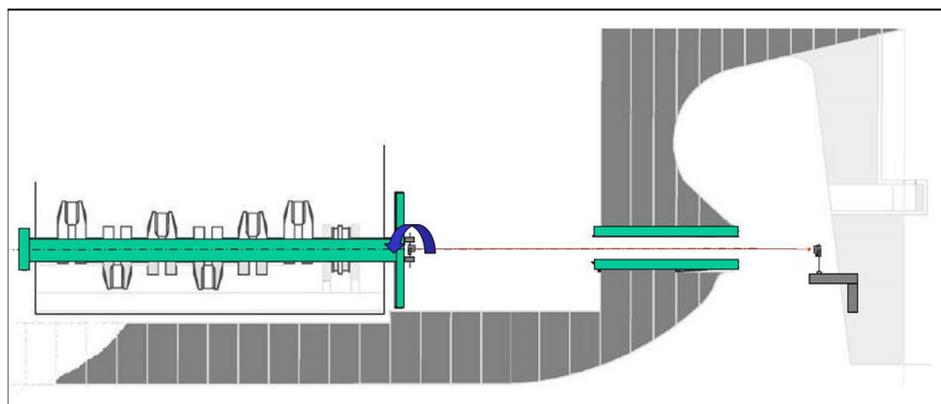
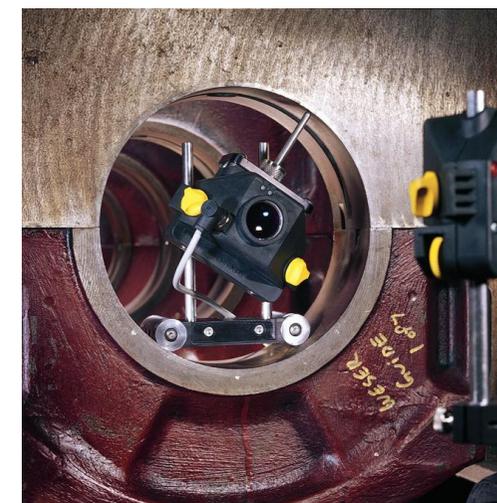
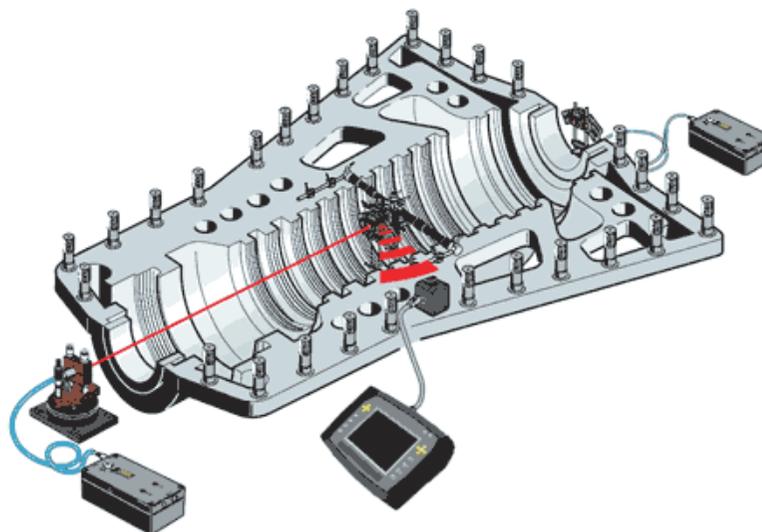
- **ALLINEAMENTO PULEGGE**

Macchine con trasmissione a cinghia.

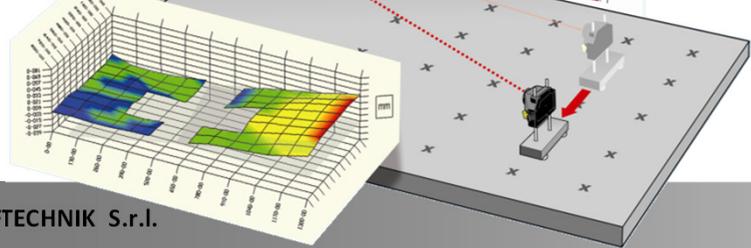
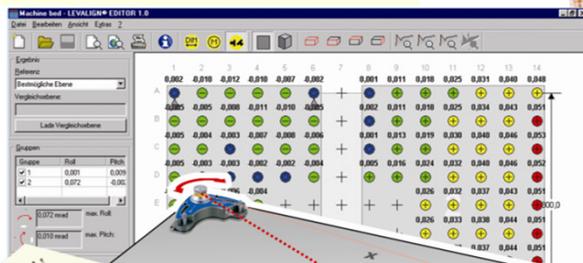
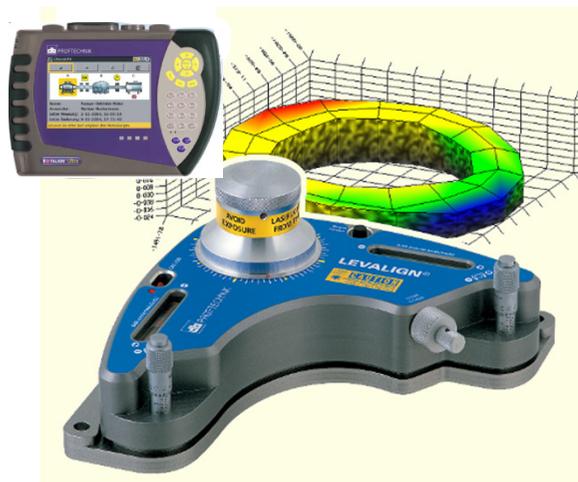
- **ALLINEAMENTO GEOMETRICO**

Planarità, Linearità, Parallelismo ed altre applicazioni

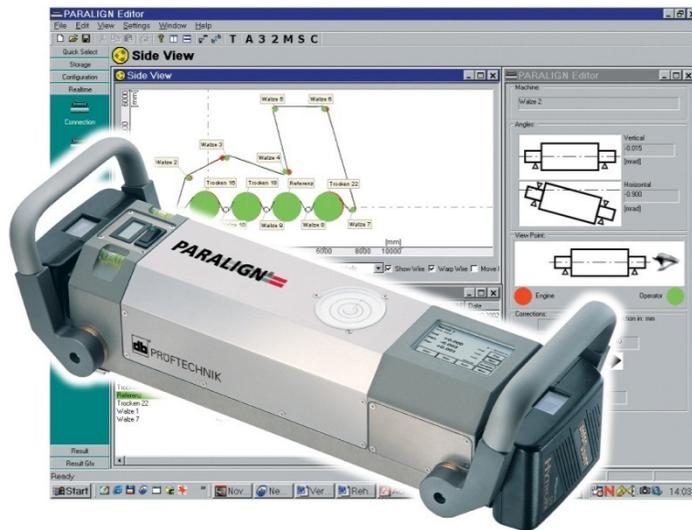
- Verifica CENTRO FORI e SUPPORTI :



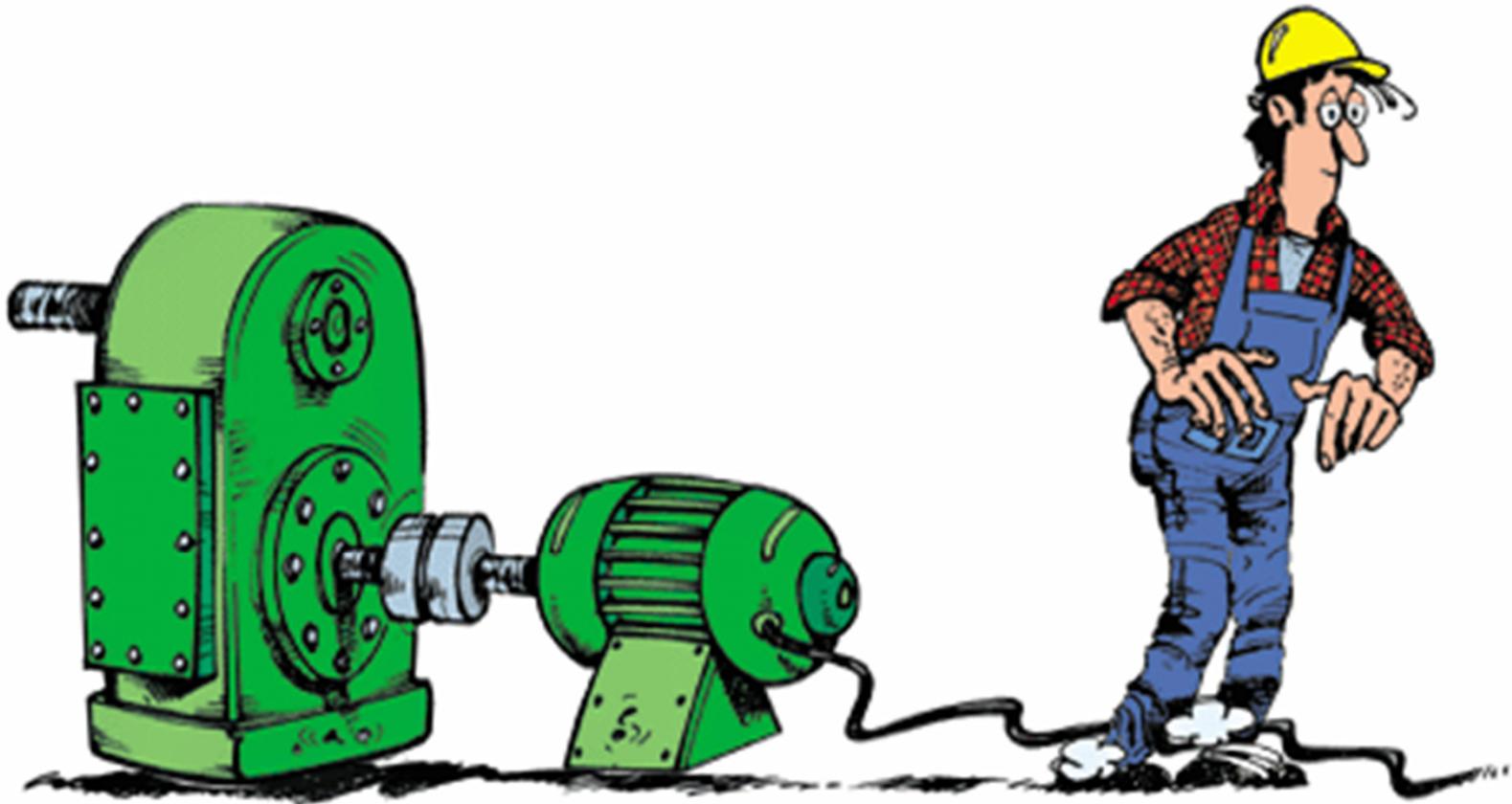
• Verifica PLANARITA' e LINEARITA' :



- Verifica PARALLELISMO di rulli e cilindri :



Misura ed analisi delle Vibrazioni



Sistemi portatili



VIBROTIP



VIBSCANNER



VIBXPERT

Sistemi fissi



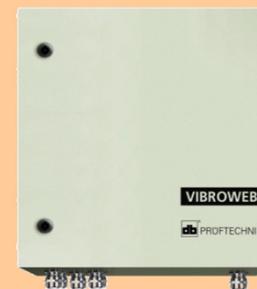
VIBROTECTOR



VIBREX



VIBNODE



VIBROWEB



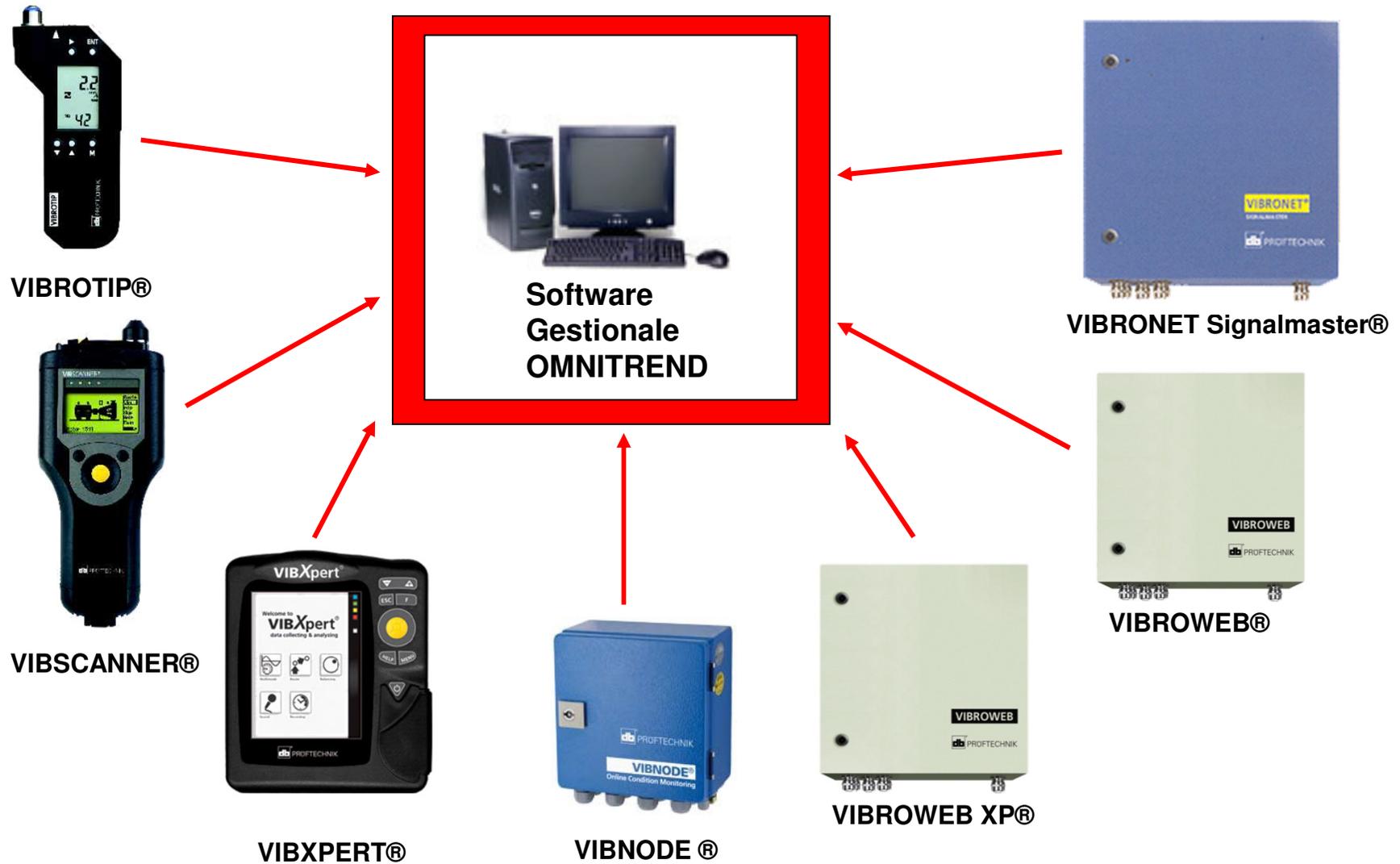
Signalmaster

Accessori per i sistemi di Condition Monitoring

**Sistema VIBCODE per
l'identificazione delle macchine
e l'acquisizione automatica
delle misure !**



OMNITREND – un'unica piattaforma informatica



Servizi specialistici per ...

- **Analisi di vibrazione e Bilanciatura**
- **Diagnosi macchinari**
- **Programmi manutenzione predittiva**
- **Noleggio sistemi fissi/portatili**
- **Misurazione di coppia/vibrazione**

PRUFTECHNIK è un centro certificato Lloyd per la diagnosi dei generatori eolici, è membro della commissione UNI per la diagnostica delle macchine rotanti ed è socio AIMAN.



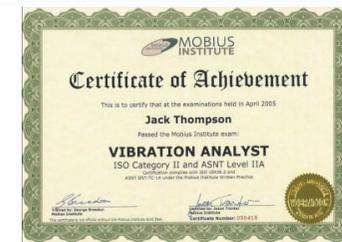
Service diagnostica macchinari ed analisi di vibrazioni



Service manutenzione predittiva con strumenti fissi e portatili

PRUFTECHNIK offre corsi di formazione indipendenti :

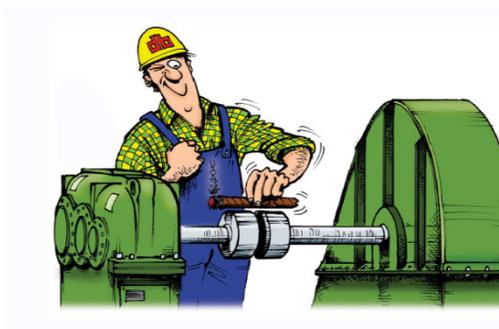
- VIB 1: Fondamenti sulle vibrazioni delle macchine
- VIB 2: Fondamenti sull'acquisizione dati e trattamento dei segnali + Prove Pratiche
- VIB 3: Diagnosi delle cause di guasto dei macchinari
- VIB 4: Analisi vibrazionale sulle macchine elettriche, riduttori, pompe e ventilatori centrifughi
- VIB 5: Corso di introduzione ed interpretazione dell'analisi ambientale
- VABB: Vibration Alignment Balancing Basic (3 gg)



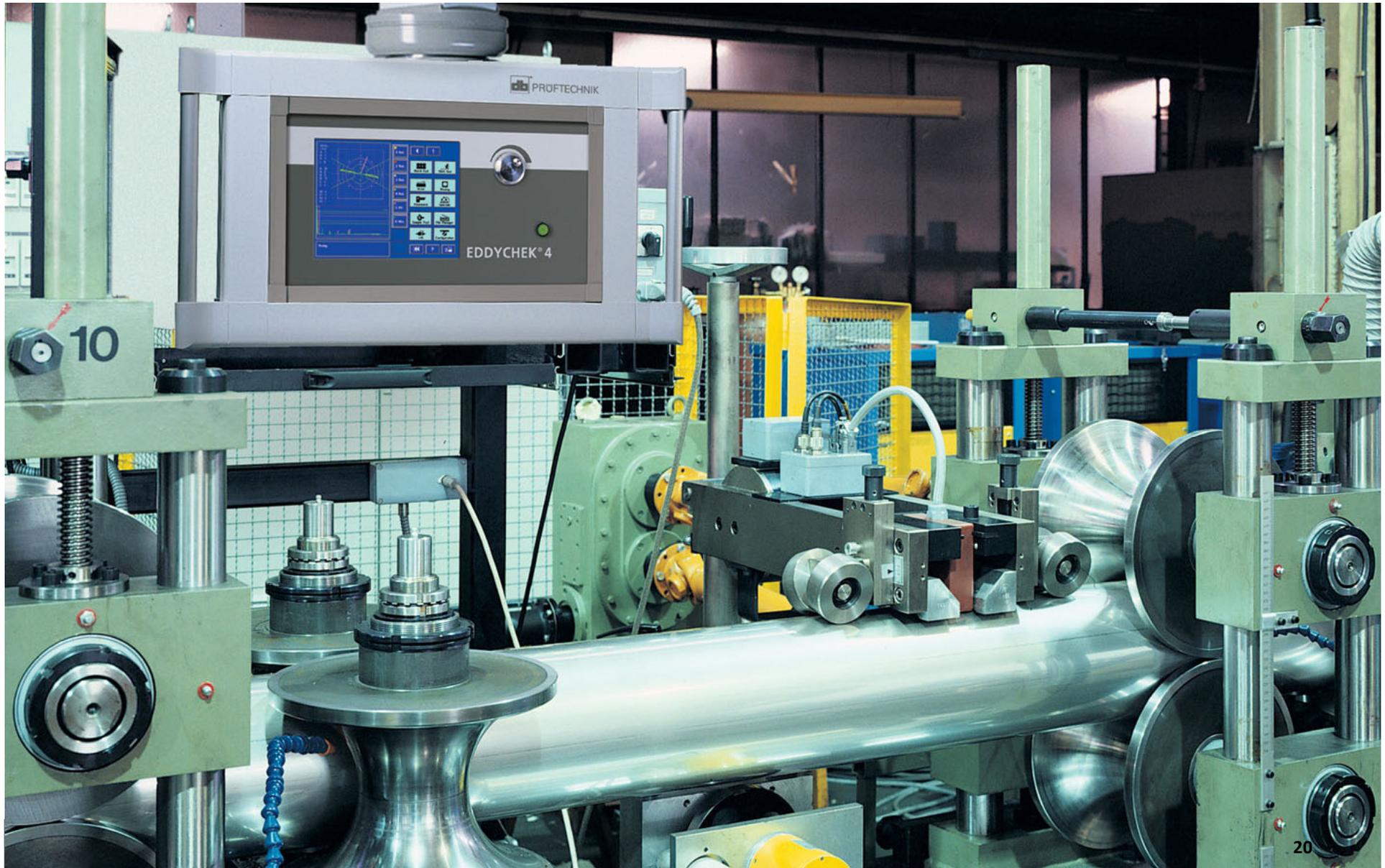
- MOT 1: Fondamenti sulle vibrazioni e diagnosi motori elettrici
- MOT 2: Corso specialistico sui Motori Asincroni
- GEN: Corso specialistico sui Generatori

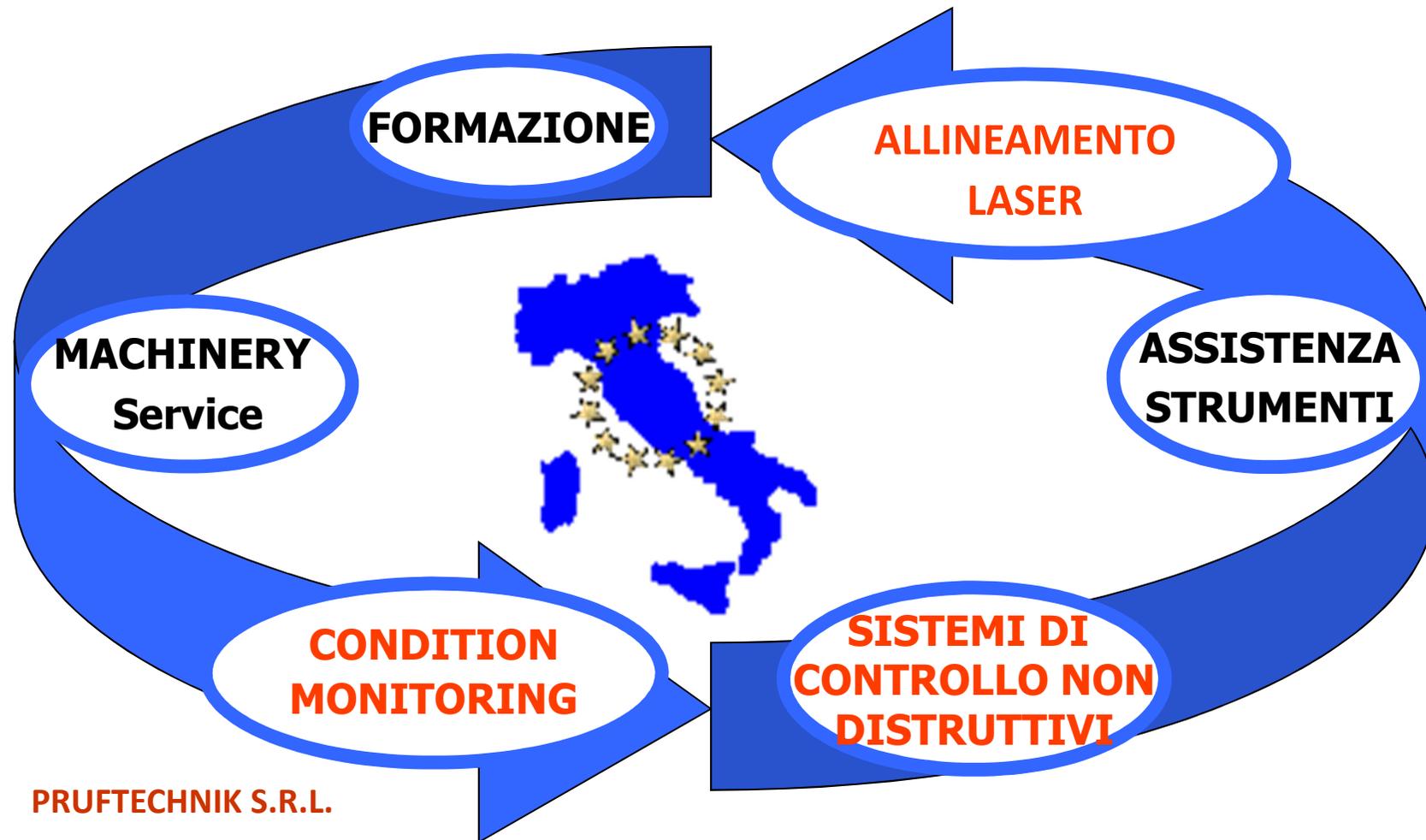


Introduce inoltre nel mercato Italiano corsi di formazione certificati ISO 18436-2 Category I/II/III per la Misura e Analisi di Vibrazioni



3° settore d'attività : Sistemi di controllo Non-distruttivi





PRUFTECHNIK S.R.L.

VIA DE NICOLA 12/E

20090 CESANO BOSCONO - MI

Industrie che hanno già scelto PRUFTECHNIK



Industrie che hanno già scelto PRUFTECHNIK



Tecnologia nel prodotto. Innovazione nel servizio



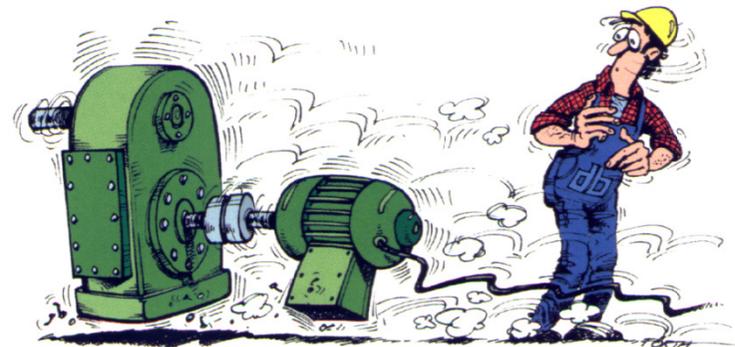
GE Energy



ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni S.p.A. con Unico Socio
Una società della ThyssenKrupp Stainless



Introduzione ai filtri



I filtri sono molto adoperati nelle analisi di vibrazioni
E' indispensabile capire la loro terminologia e come si applicano
Ci sono quattro tipi di filtri:

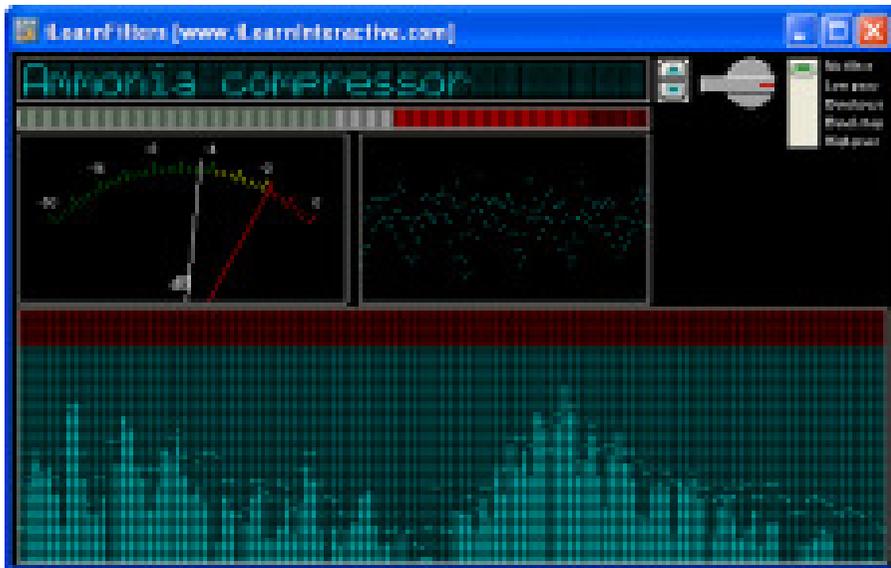
Filtri passa basso: Lasciano passare le basse frequenze

Filtri passa banda: Lasciano passare le frequenze entro una
banda precisa

Filtri elimina banda: Bloccano le frequenze entro una
banda precisa

Filtri passa alto: Lasciano passare le alte frequenze

Esempio



Nessun filtro

Passa basso

Banda passante

Elimina banda

Passa alto

Un filtro dinamico è un filtro passa basso o passa banda capace di variare il range di frequenza a cui è applicato.

Sono usati nell'industria:

▶ Monitoraggio

- Monitorare la velocità (filtrando le vibrazioni)
- Alcuni sono specifici solo per alcune armoniche



Nell'industria sono adoperati due tipi di filtri:

Digitali ed Analogici

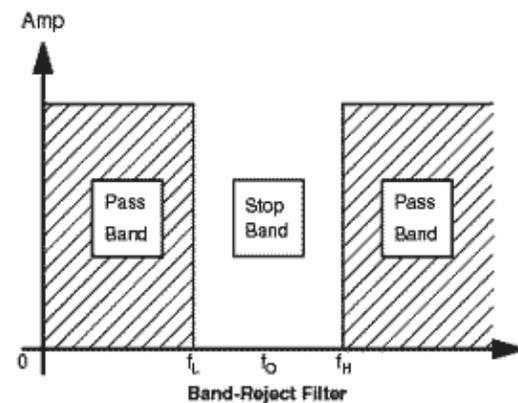
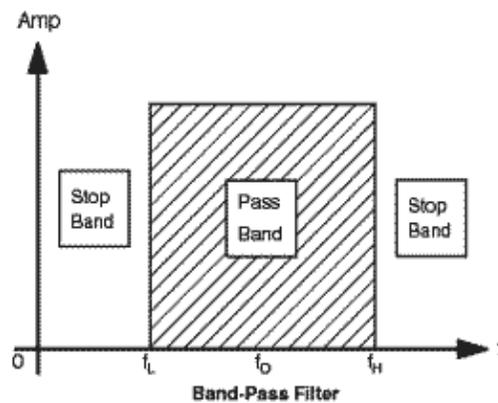
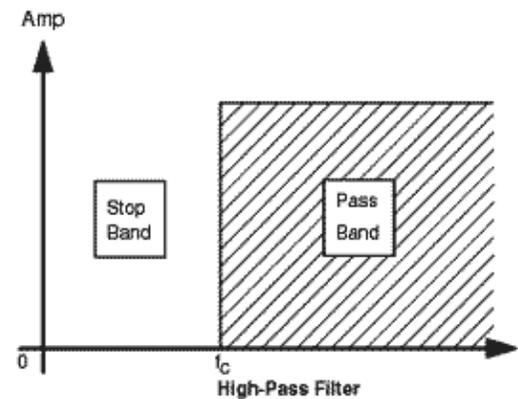
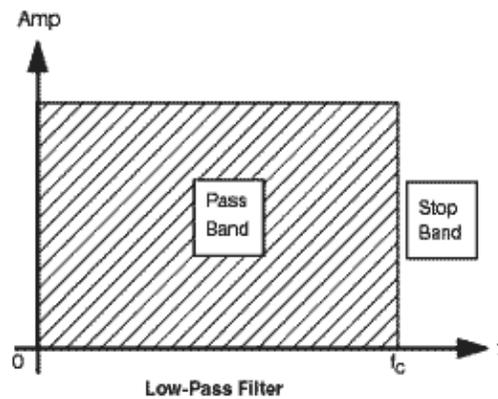
- ▶ **I filtri digitali sono realizzati con un particolare programma o DSP “digital signal processing” chip**
- ▶ **I filtri analogici sono realizzati mediante componenti elettronici: condensatori, resistenze ed induttanze.**
 - **Su molti segnali vengono ancora adoperati filtri analogici**

Ci sono due principali argomenti a riguardo:

- ▶ **Caratteristiche dei filtri (frequenze di taglio)**
- ▶ **Tempo di risposta**

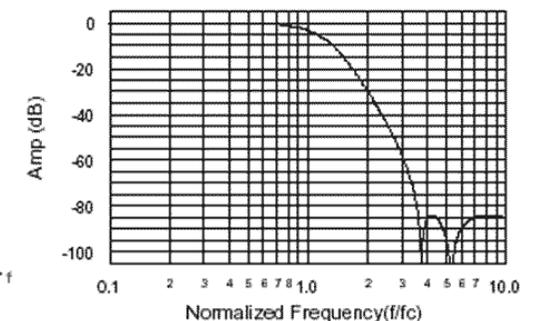
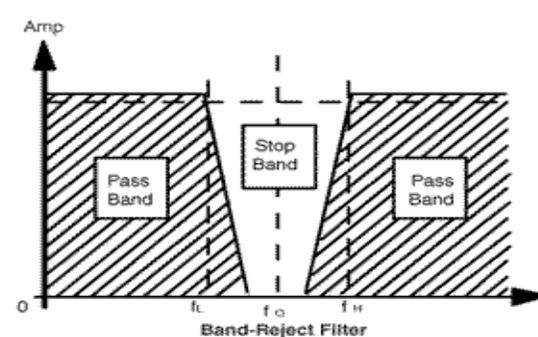
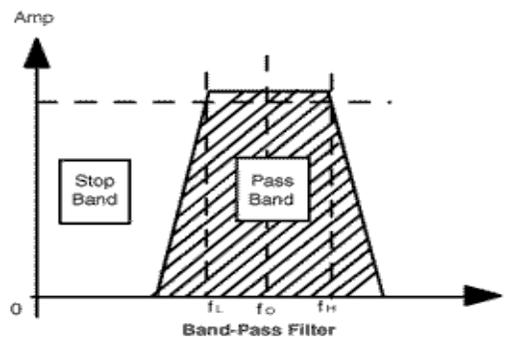
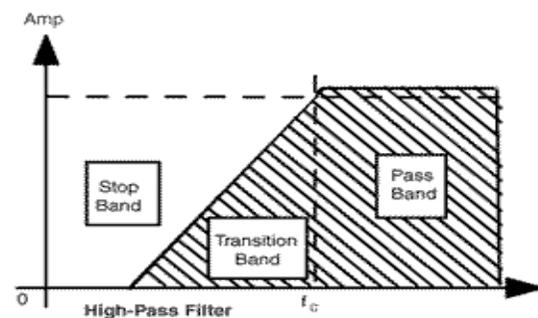
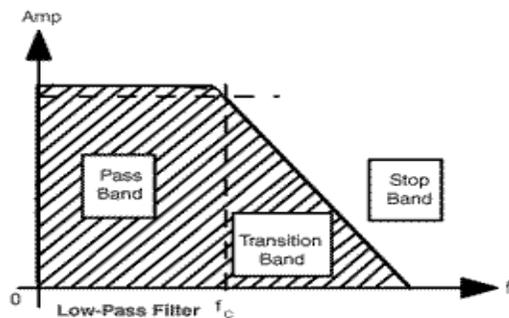
Schema del filtro teorico

In base al tipo di filtro, il segnale passa completamente ove permesso o è del tutto bloccato



Schema del filtro reale

In realtà esiste una banda di transizione in cui parte del segnale che dovrebbe essere bloccato riesce a passare

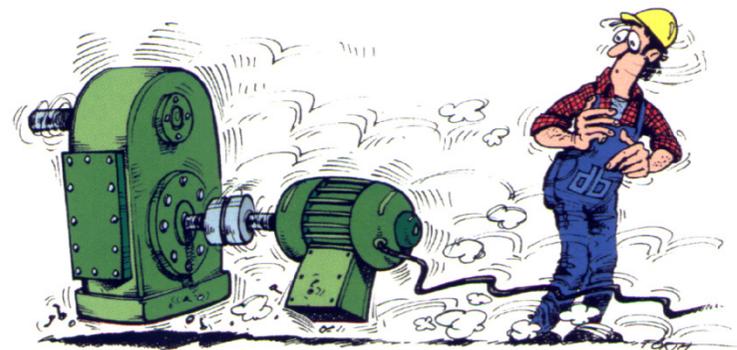


Per un circuito analogico (ad esempio un amplificatore o un filtro) è necessario aspettare un po' di tempo prima di acquisire e registrare i dati

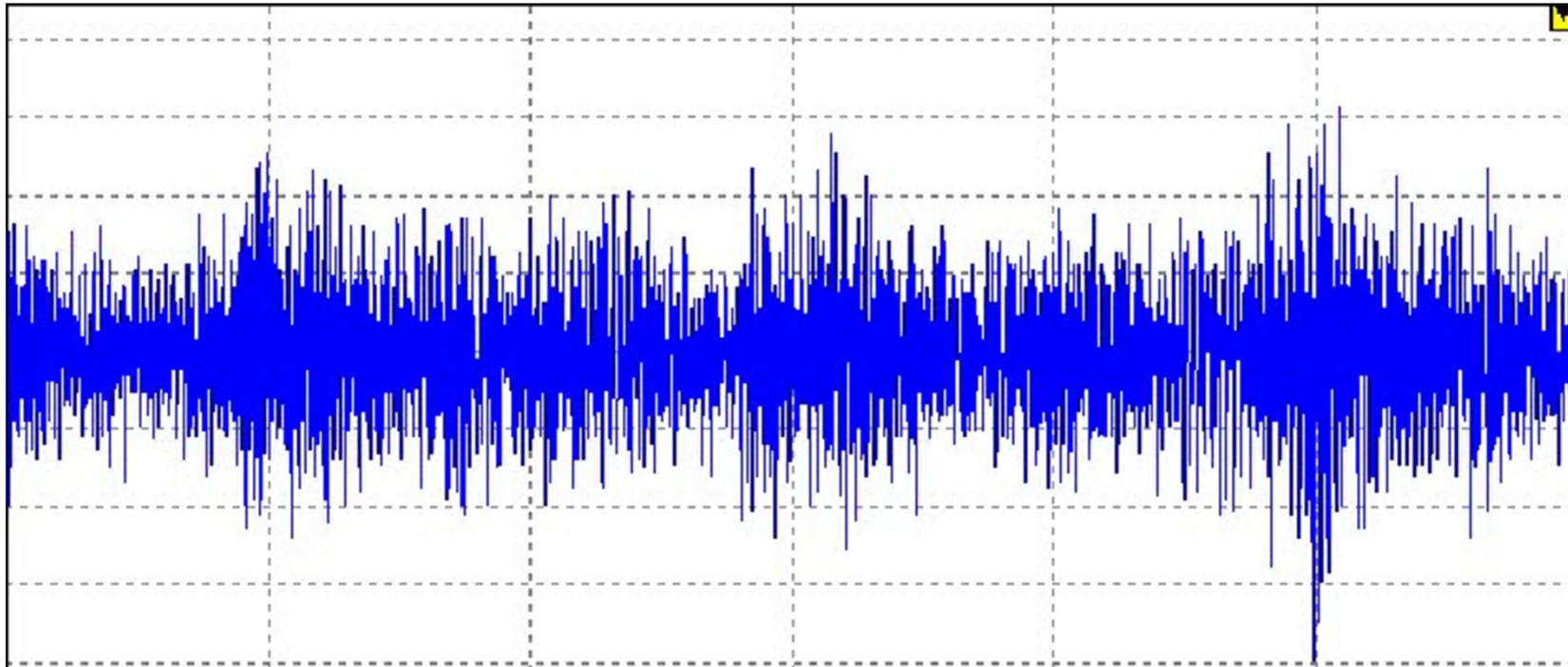
- ▶ Il segnale in uscita da un circuito analogico deve assestarsi**

E' bene accertarsi di aver settato il giusto tempo di risposta prima di acquisire i dati

Spettro FFT

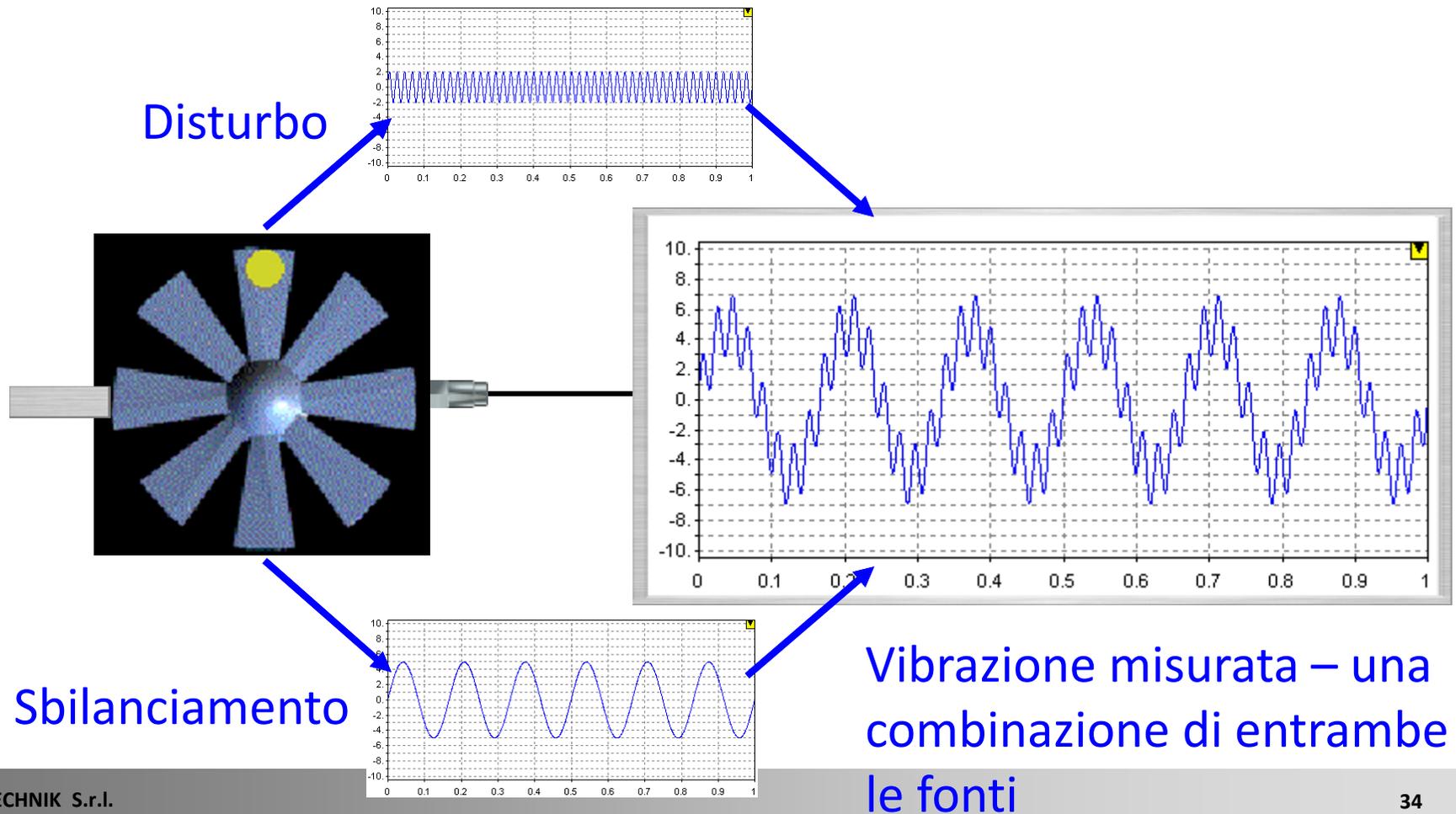


La forma d'onda è utile, ma può diventare molto complicata. Bisognerebbe individuare ogni singola fonte di vibrazione



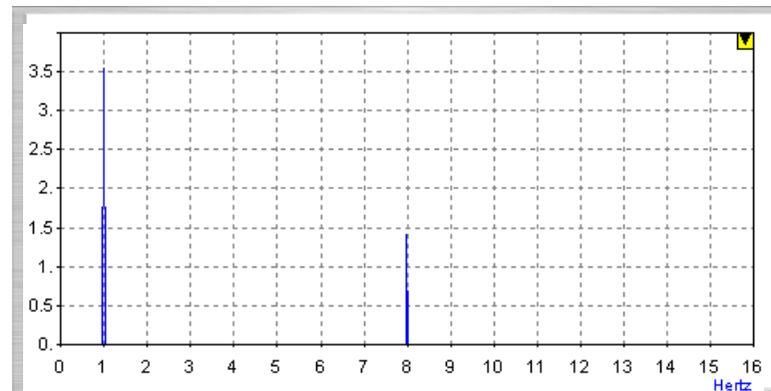
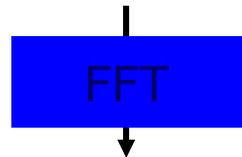
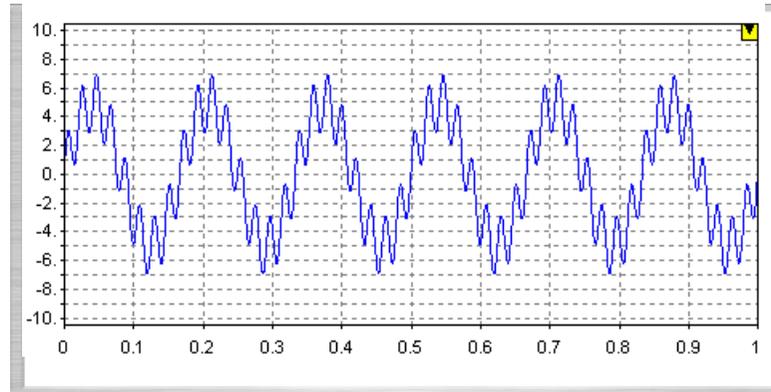
Introduzione allo spettro

E' semplice immaginare il processo, ma in realtà è difficile da fare.



Introduzione allo spettro

Esiste un buon sistema. E' chiamato "FFT", o "Fast Fourier Transform". Il risultato è lo "spettro".

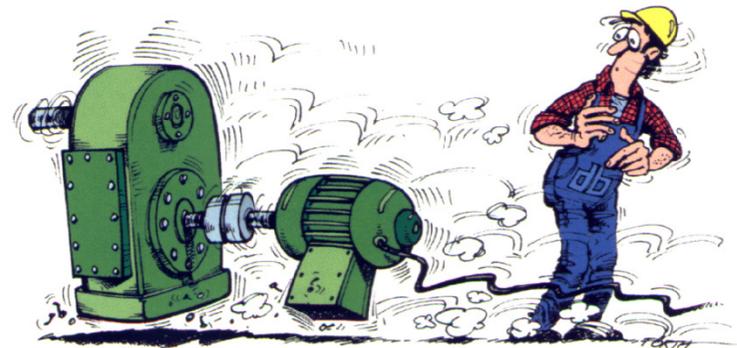


Fourier, Jean Baptiste Joseph
Barone francese, fisico, matematico
1768 - 1830

Cooley, Tukey: FFT in 1965

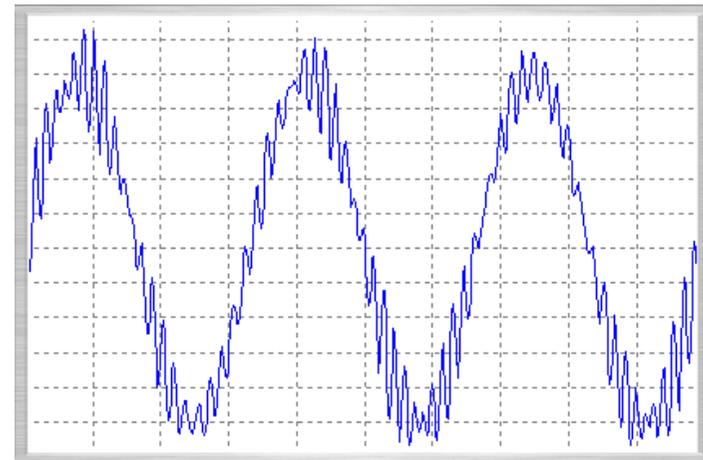
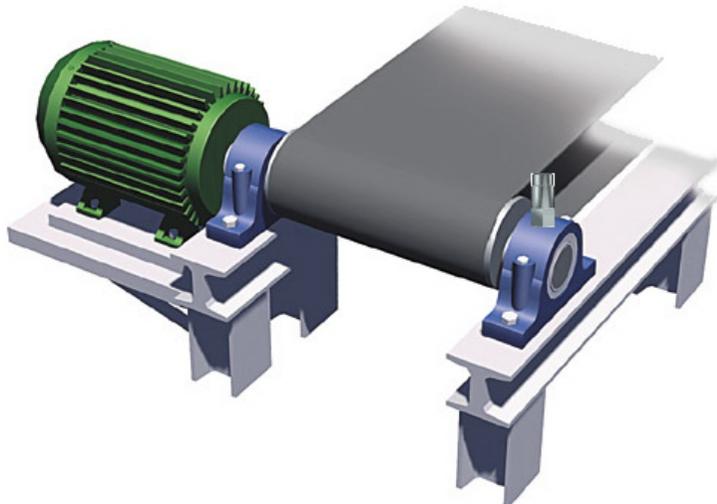
$$f(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot t + \Phi_i)$$

Campionamento del segnale



Il segnale elettrico proveniente da un sensore è chiamato segnale analogico. Questo è un segnale continuo nel tempo.

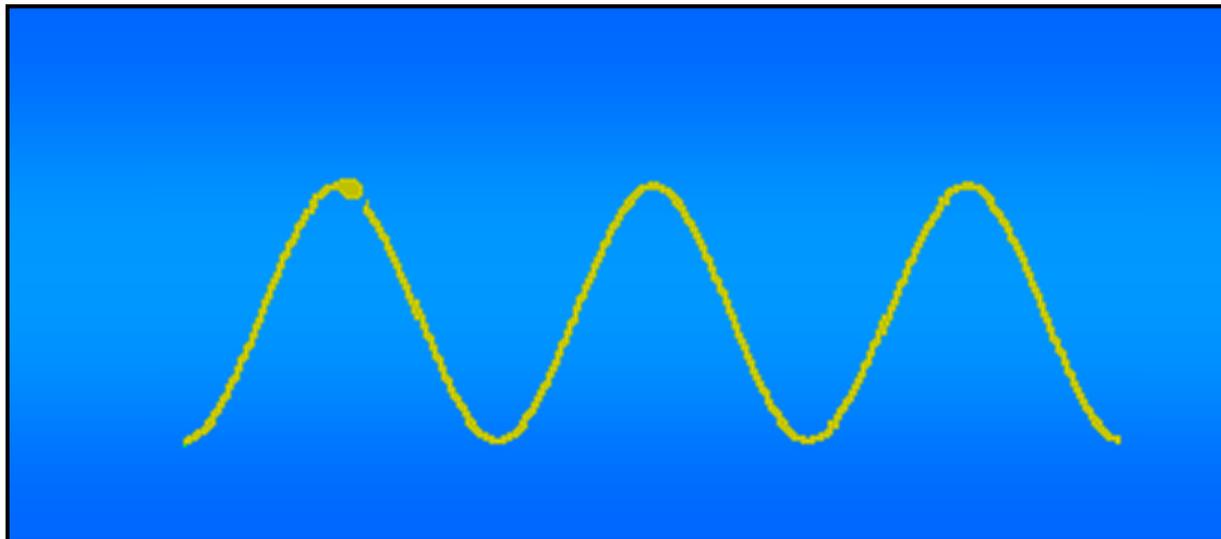
Esso contiene tutte le informazioni della vibrazione (ampiezza, ossia : spostamento o velocità o accelerazione + frequenza e fase)



Si parte dal segnale analogico proveniente dal trasduttore

- ▶ Tale segnale rappresenta esattamente la vibrazione acquisita dal trasduttore

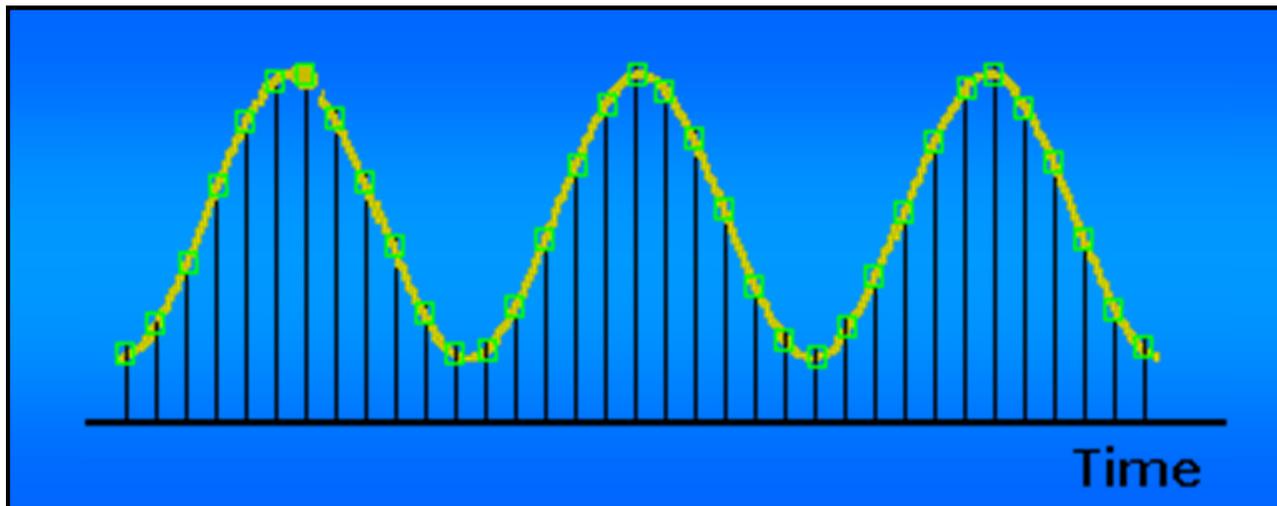
Poichè i dati acquisiti dallo strumento sono analogici e le successive analisi al computer non possono essere eseguite su segnali analogici, è indispensabile digitalizzare il segnale.



Si vuole digitalizzare il segnale

Si ottiene una singola lettura ad ogni intervallo di tempo discretizzato

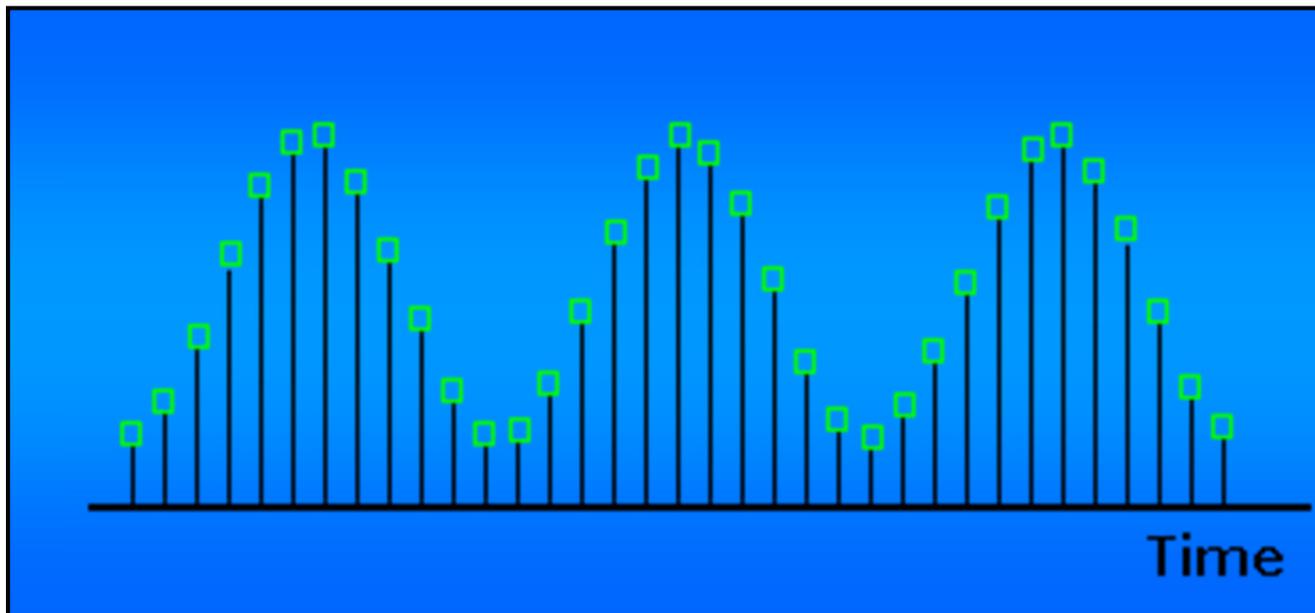
La frequenza di campionamento " F_s " è detta "*sampling rate*" = "Numero di campionamenti per secondo"



Il risultato è una serie di numeri (**TIME RECORD**)

L'insieme di questi numeri rappresenta la forma d'onda acquisita nei dati e utilizzata per la successiva analisi spettrale mediante FFT

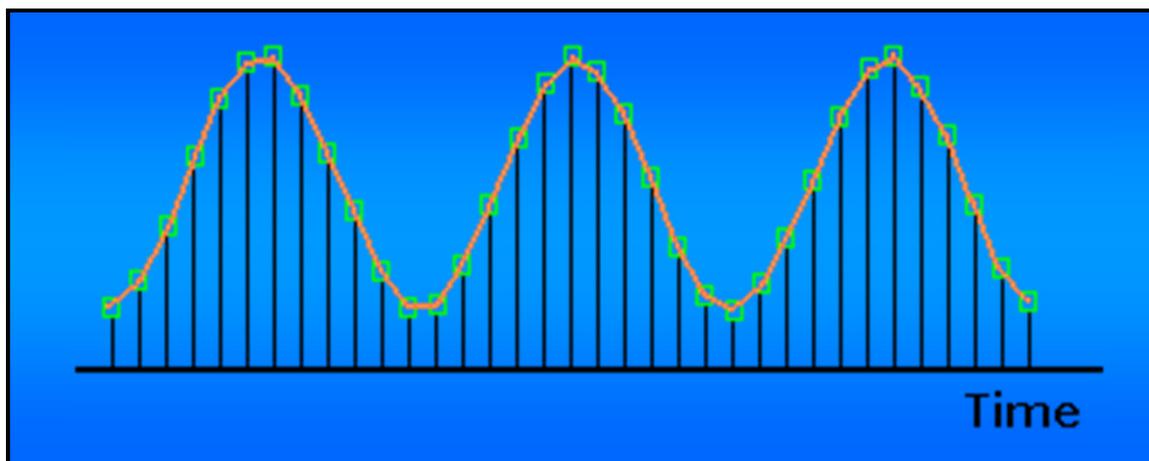
Il segnale è ancora nel “dominio del tempo”



Per rappresentare la forma d'onda, ad ogni informazione acquisita è associato un campione.

Qualsiasi informazione contenuta all'interno dell'intervallo di campionamento, cioè tra un campione e l'altro, viene persa.

Tutto ciò che rappresenta l'informazione e che viene rappresentato tramite pc, è associato ad un punto.



Per acquisire il segnale in forma d'onda, è necessario definire un numero di campionamenti [N]:

- ▶ Generalmente N è una potenza di 2.
- ▶ ad esempio : N = 1024, 2048 o 4096
- ▶ Questa è una delle caratteristiche che fa diventare “FAST” , ossia FFT una DFT (Discrete Fourier Transform)

La FFT crea poi lo spettro mediante N/2 “posti” o “lines”.

Dunque la FFT potrà avere rispettivamente 512, 1024, o 2048 lines

Dal segnale in tempo continuo si determina l'ampiezza e la fase ma la fase non viene rappresentata nella FFT.

$$N = 2^9 = 512 \longrightarrow 256 \text{ lines}$$

$$N = 2^{10} = 1024 \longrightarrow 512 \text{ lines}$$

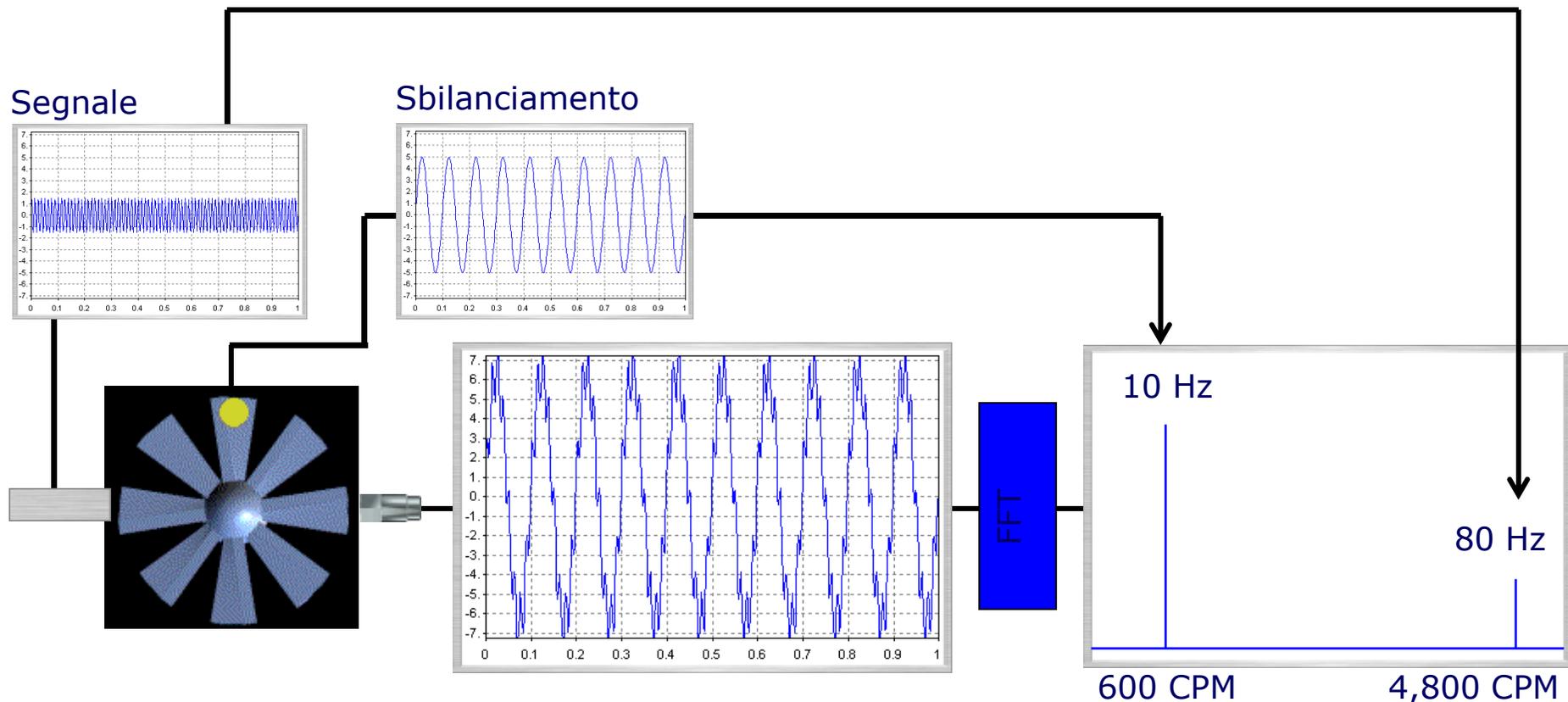
$$N = 2^{11} = 2048 \longrightarrow 1024 \text{ lines}$$

$$N = 2^{12} = 4096 \longrightarrow 2048 \text{ lines}$$

$$N = 2^{13} = 8192 \longrightarrow 4096 \text{ lines}$$

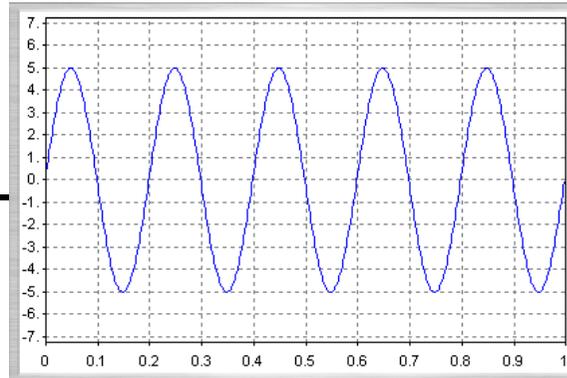
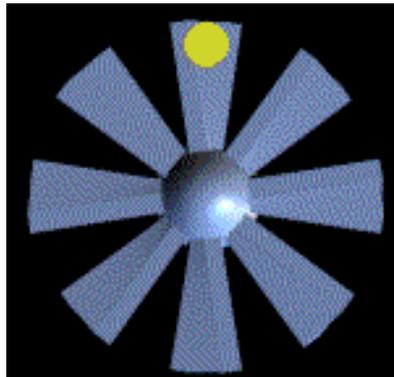
La FFT crea quindi lo spettro del segnale a partire dal segnale in forma d'onda nel dominio del tempo

Lo spettro è un segnale nel dominio della frequenza



Introduzione allo spettro

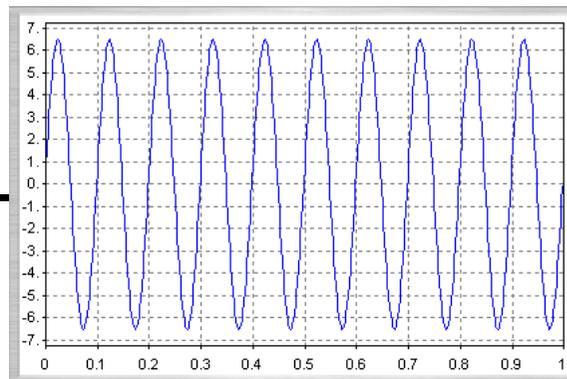
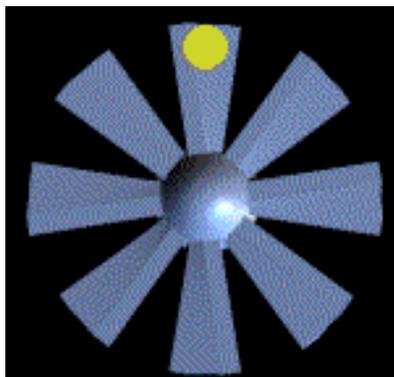
5 Hz = 300 RPM



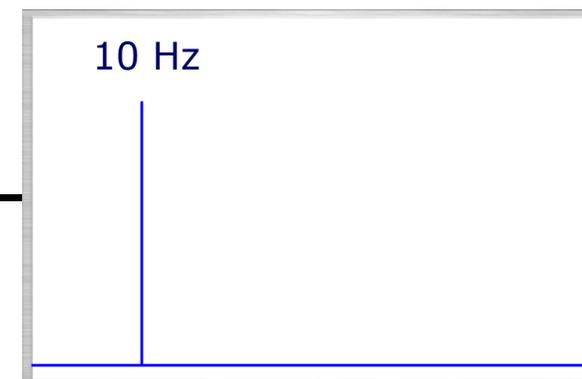
FFT



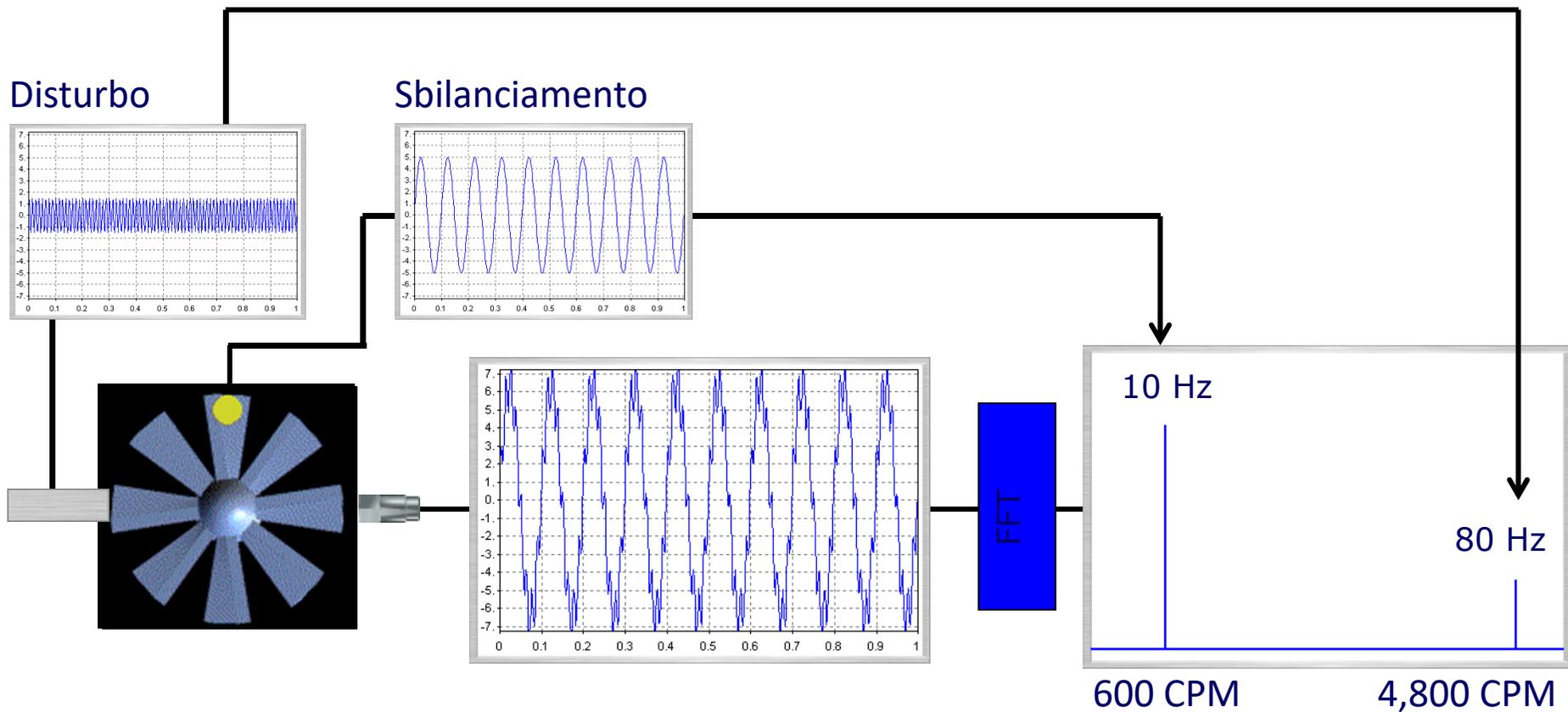
10 Hz = 600 RPM



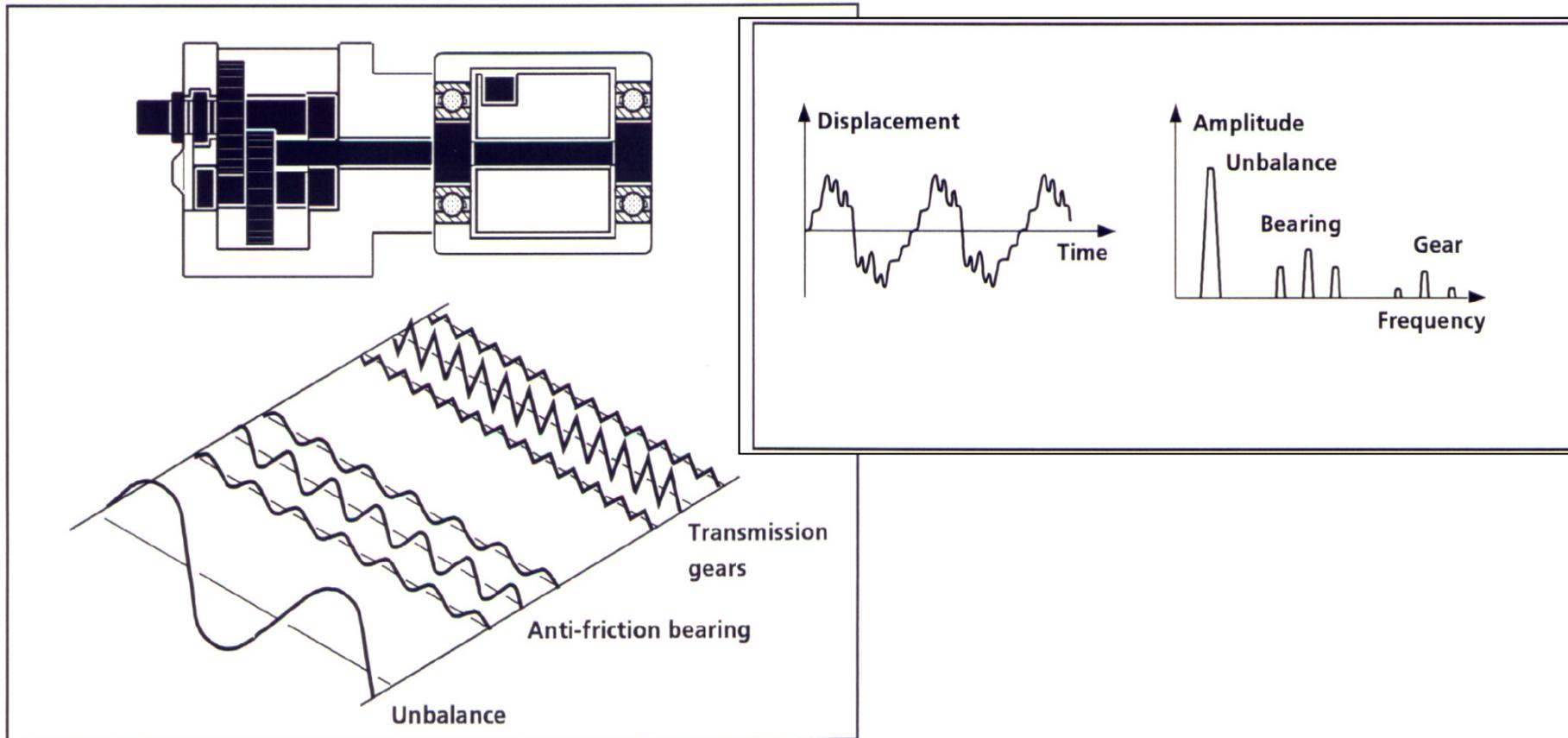
FFT



Introduzione allo spettro



Analisi di spettro FFT

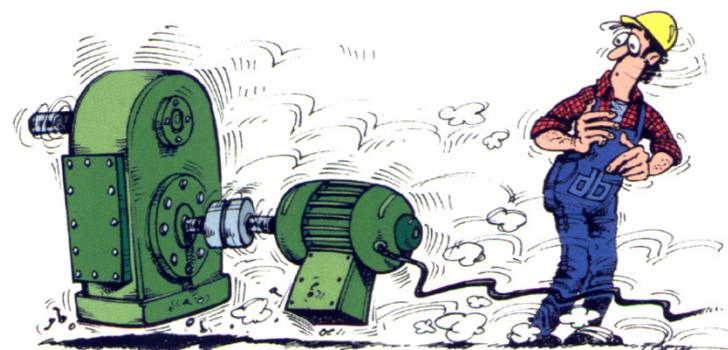




Lo spettro con la trasformata di Fourier del segnale vibratorio è il tipo di analisi più utilizzato per la diagnosi dei problemi meccanici sulle macchine rotanti.

Infatti con questo tipo di analisi è possibile, partendo da una forma d'onda complessa, evidenziare le singole componenti in frequenza del segnale (picchi in frequenza) e verificare se quelle con ampiezza maggiore coincidono con le frequenze di danneggiamento e rottura dei vari componenti della macchina. Ogni tipologia di problema infatti ha una sua **'firma'** in frequenza, ad esempio uno sbilanciamento è normalmente evidenziabile con un picco sullo spettro ad una frequenza pari al numero di giri della macchina. Poiché nella maggior parte dei casi i guasti tipici delle macchine rotanti non hanno sullo spettro valori di frequenza assoluti, ma valori dipendenti dal numero di giri, è fondamentale, per una corretta diagnosi, conoscere il valore degli RPM con la massima precisione.

Parametri tipici per un'analisi di spettro FFT



Parametri tipici per un'analisi di spettro FFT

Info Setup Comuni

Classe Setup: ▼

Quantità:

HP/LP Filter: ▼ - ▼ Hz

Freq: ▼ Hz

No Linie: ▼

Finestra: ▼

Envelope: ▼

Medie: ...

Overlay:

Parametri tipici per un'analisi di spettro FFT

Il setup dei parametri per l'analisi FFT è di fondamentale importanza. I valori rilevati sullo spettro possono cambiare anche di molto se acquisiti con setup differenti. E' importante quindi ricordare che due spettri sono effettivamente confrontabili solo se le misure sono state effettuate con lo stesso setup.

Qui di seguito viene descritto il significato di alcuni dei parametri più importanti:

Freq: In funzione della frequenza del problema che si vuole analizzare si deve selezionare opportunamente la Frequenza Massima.

No Linee: Il numero delle linee è fondamentale per la risoluzione in frequenza della FFT ($\Delta f = \text{Freq} / \text{No linee}$).

Parametri tipici per un'analisi di spettro FFT

Finestra: E' possibile selezionare tutta una serie di tipi di finestre (normalmente viene selezionata la Hanning).

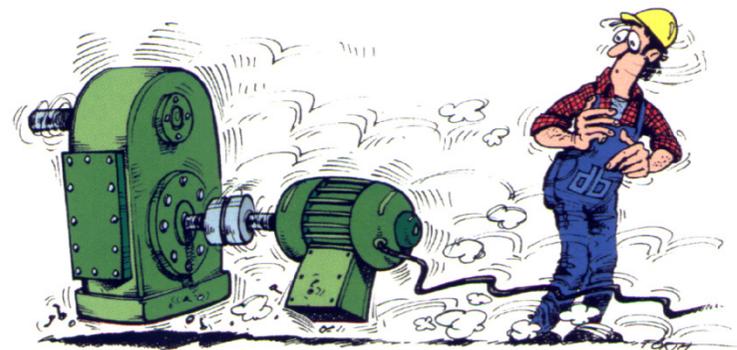
La scelta dell'una piuttosto che l'altra è determinata dal fatto che si preferisca una maggiore precisione in frequenza (**Hanning**) oppure in ampiezza (**Flat Top**) .

Envelope: Quando viene attivato, sul segnale rilevato ad alta frequenza viene applicato un processo di demodulazione. E' utilizzato per l'individuazione dei problemi connessi ai cuscinetti ed agli ingranaggi.

Medie: Il numero di medie è un parametro che incide sull'incertezza della misura legata all'acquisizione di vibrazioni spurie cioè non collegate al problema che vogliamo diagnosticare ma casuali.

Più alto è il numero di medie, più facilmente si possono individuare le armoniche di interesse.

Teorema di Nyquist, Aliasing, Risoluzione, Tempo di acquisizione



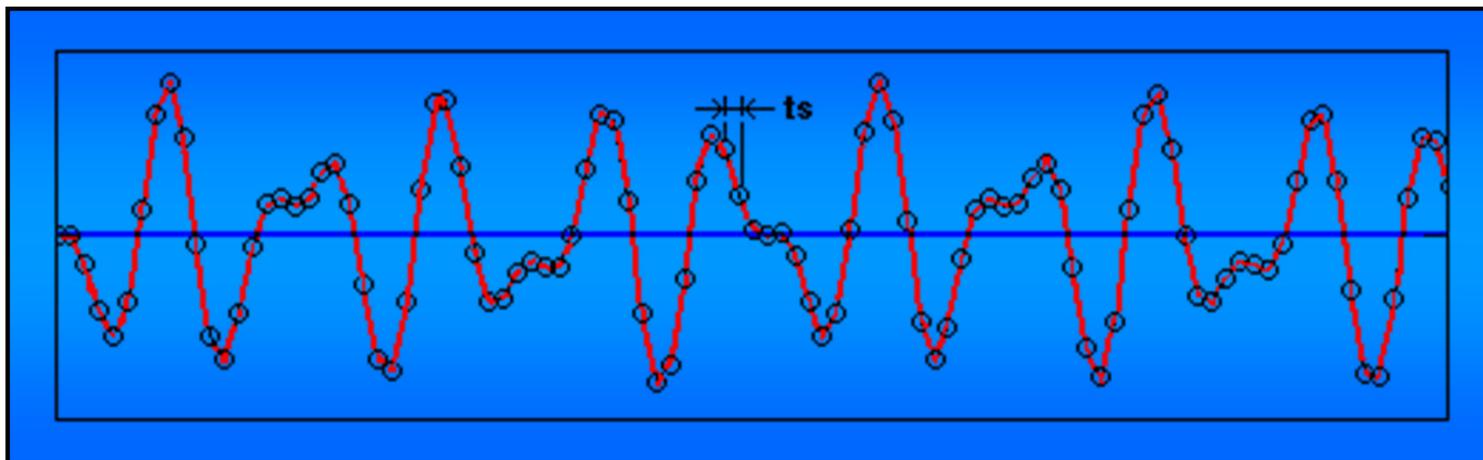
“La frequenza di campionamento scelta deve essere maggiore di almeno due volte della frequenza più alta , contenuta nel segnale, che vogliamo rappresentare nello spettro.”

Periodo di campionamento: T_s = intervallo di tempo tra un campione ed il successivo.

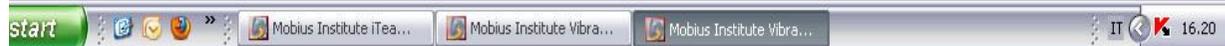
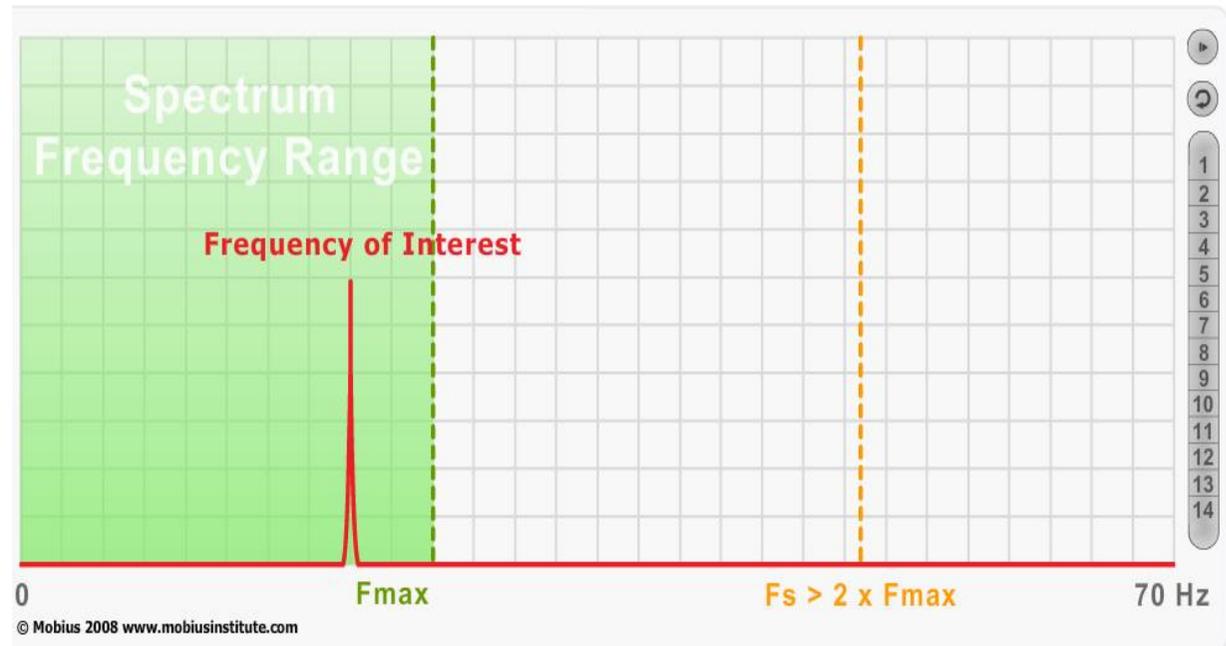
Frequenza di campionamento: F_s ($F_s = 1/T_s$)

Condizione di Nyquist: $F_s > 2 \times F_{max}$

F_{max} = massima frequenza che ci interessa analizzare



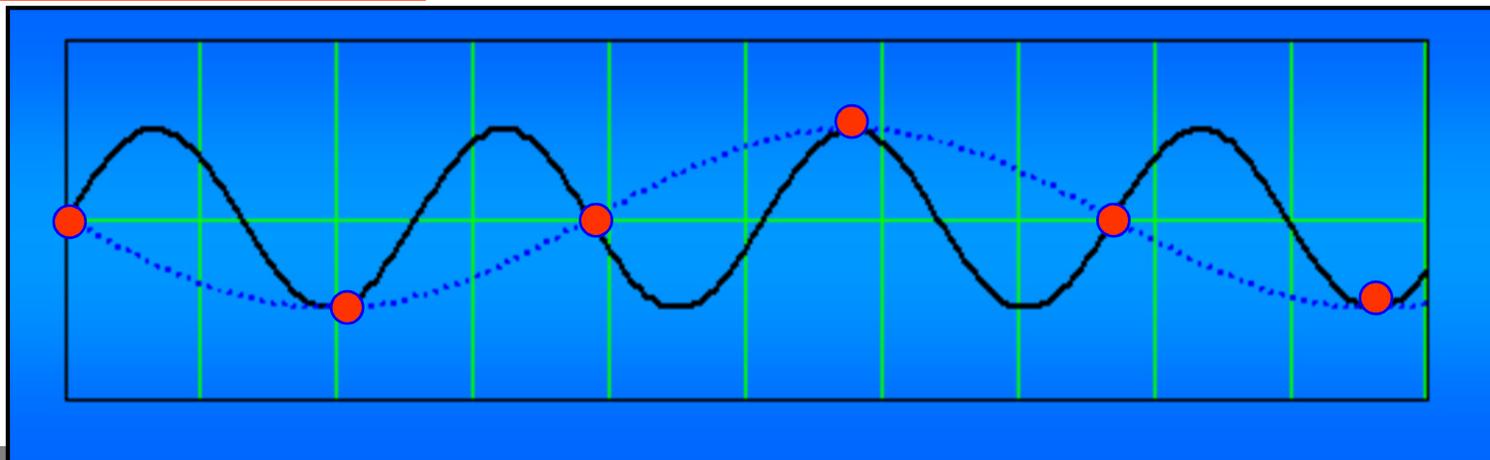
La Fin si trova tra 0 e Fmax, ossia nello «Spectrum Frequency Range» e viene bene individuata da una $F_s > 2 * F_{max}$



Se non si campiona abbastanza rapidamente, si corre il rischio di creare un segnale che non ha corrispondenza nella realtà (Aliasing)

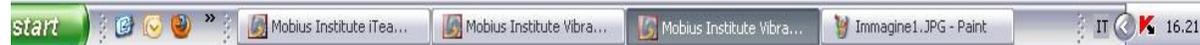
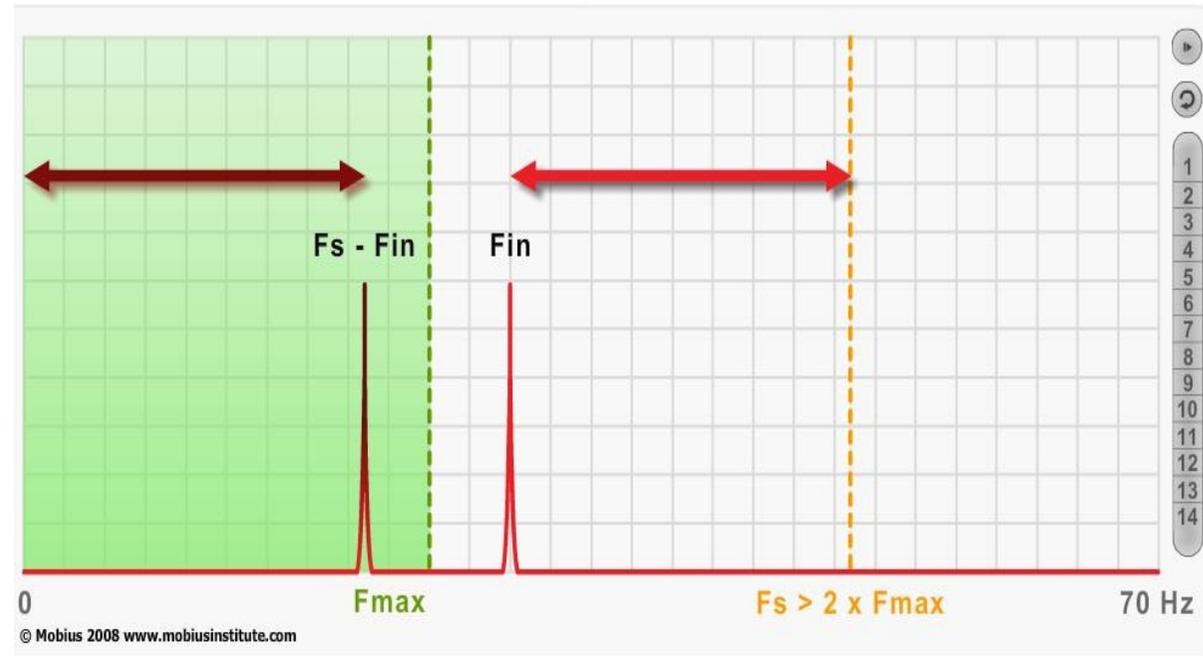
In figura la curva ricostruita ha la giusta ampiezza, ma il periodo errato.

Due segnali sono affetti da “alias” se la differenza tra le loro frequenze cade nel range della frequenza di interesse. La differenza di frequenza è sempre generata dal processo di campionamento.



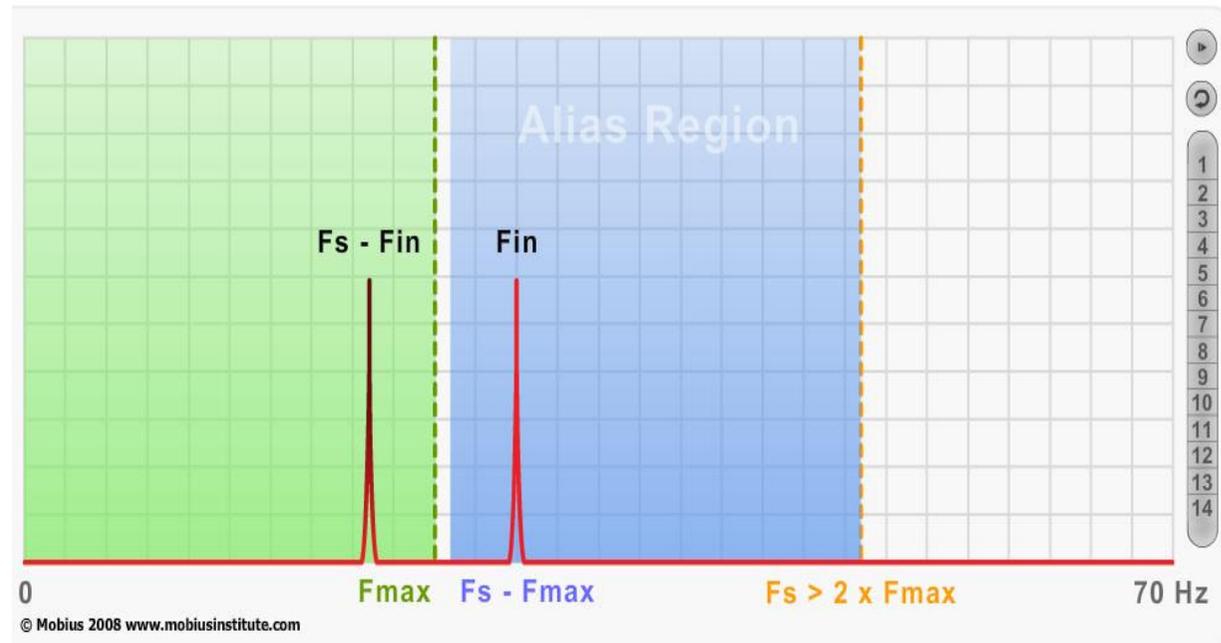
Aliasing

La F_{in} si trova oltre F_{max} ma la differenza tra F_s e F_{in} ricade nel campo tra 0 e F_{max} per cui si genera Aliasing



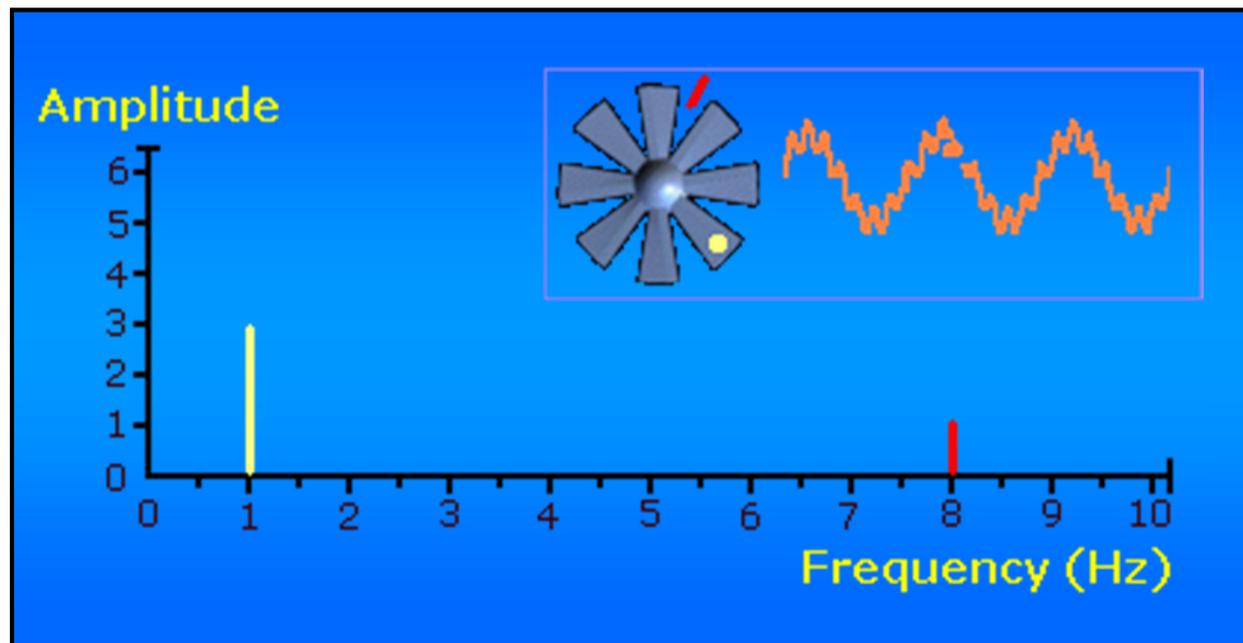
Aliasing

È la stessa immagine della precedente, ma con evidenziata la «ALIAS REGION» che si estende da $(F_s - F_{max})$ a $F_s > 2 * F_{max}$



Esempio

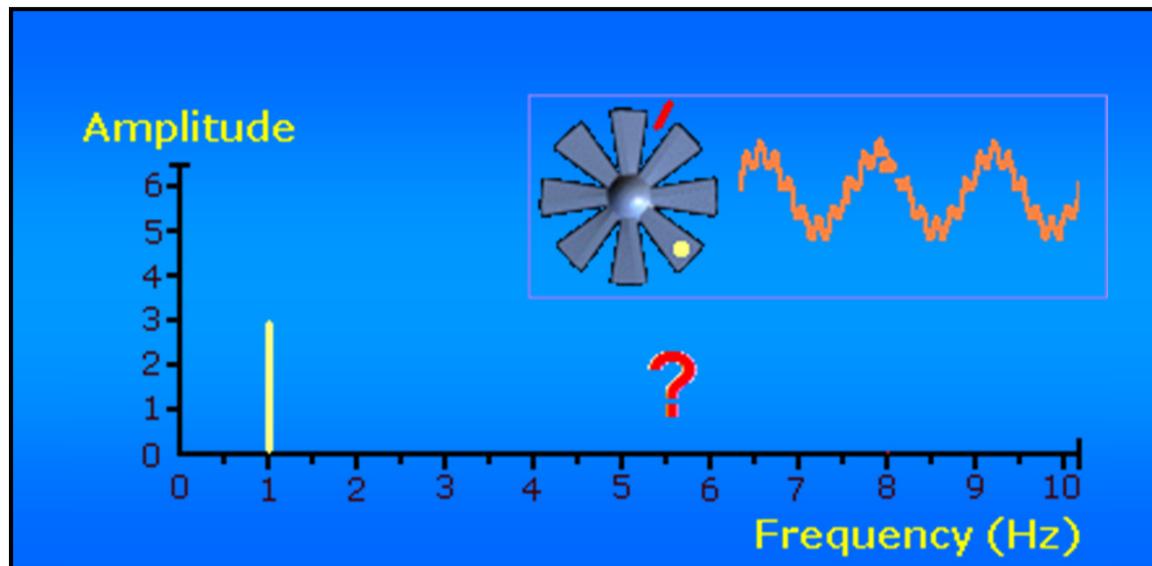
Il ventilatore gira ad 1 Hz, e le palette generano una frequenza di 8 Hz
Se si sceglie una frequenza di campionamento sufficientemente alta, lo spettro visualizzerà picchi a 1 Hz e 8 Hz.



Esempio

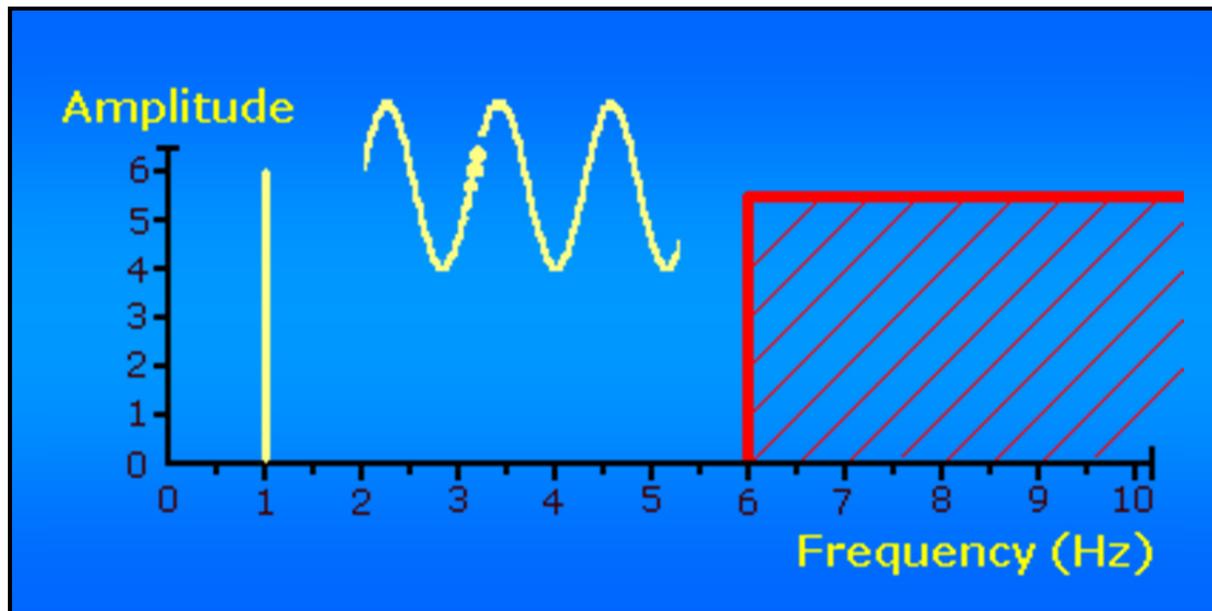
E' sufficiente campionare a più di 16 Hz per far si che il picco a 8 Hz relativo alle palette, sia visibile nello spettro della FFT

Se non sappiamo che il picco a 8 Hz è presente e scegliamo una frequenza di campionamento di soli 3 Hz, il picco di 8 Hz è soggetto ad alias e potrebbe comparire da qualche parte nello spettro.



E' necessario filtrare tutti i segnali con frequenza superiore a quella massima che abbiamo interesse di vedere.

In questo esempio, si è scelto di filtrare al di sopra dei 6 Hz. E' ovvio che la frequenza ad 8 Hz è scomparsa, e non ci sono effetti alias.

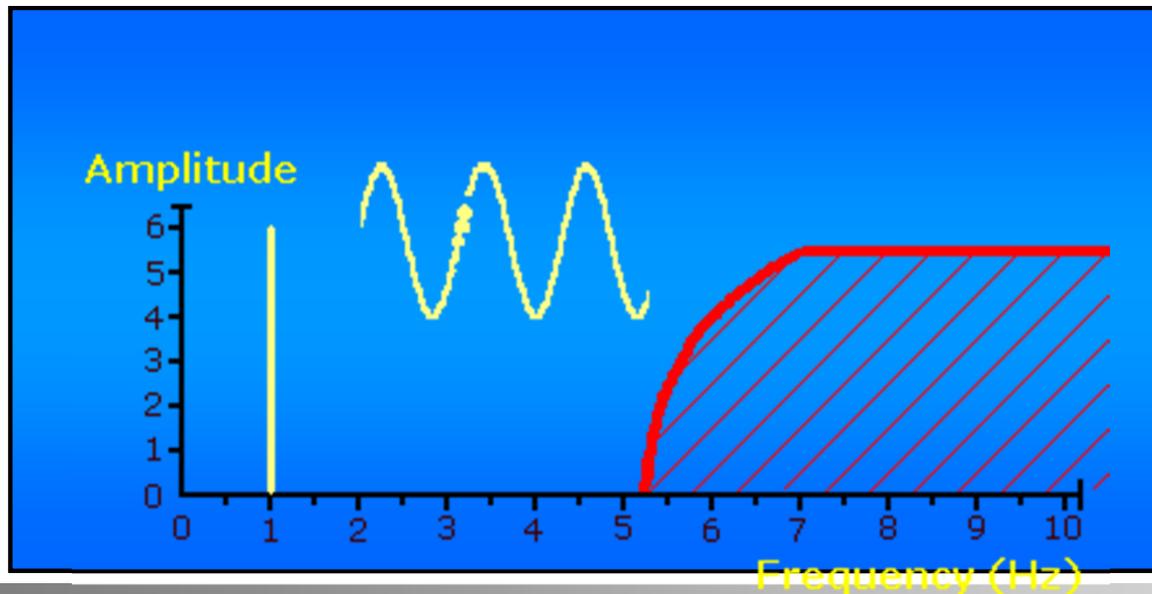


I filtri non sono perfetti

Teoricamente un filtro taglia il segnale al di sopra dei 6 Hz, e conserva tutto al di sotto.

Nella realtà non è così. I filtri attenuano solamente la prima parte del segnale da eliminare (nell'area sotto la curva).

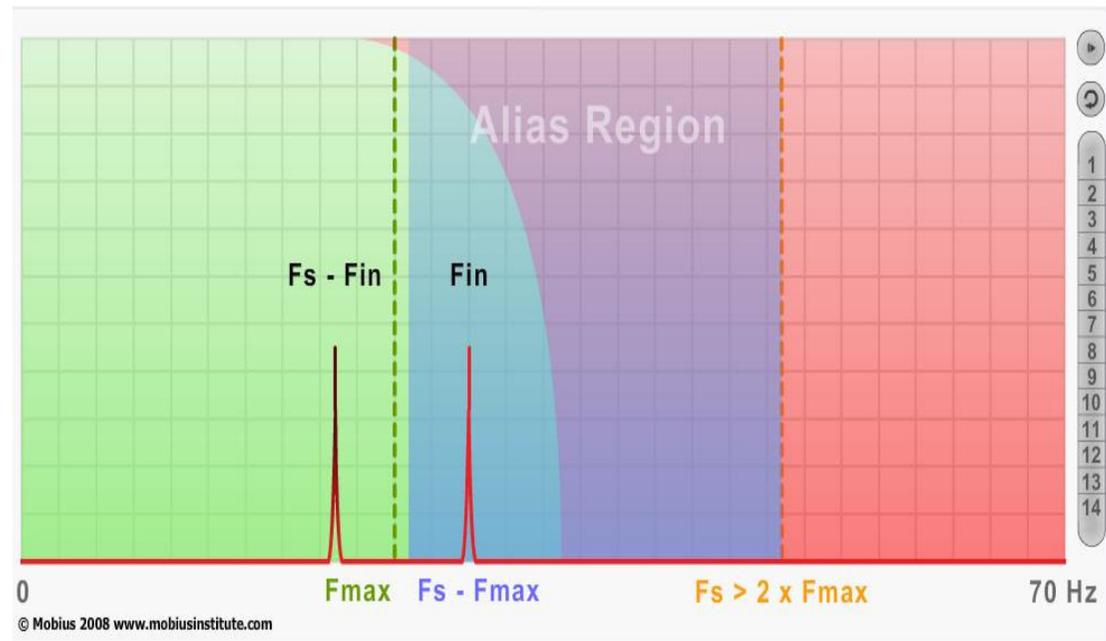
Qualche alta frequenza riesce a passare, anche se attenuata in ampiezza. Per questo motivo lo spettro ne sarà influenzato



Filtri anti-alias

Qui si vede che l'azione del filtro passa basso, con frequenza di taglio pari a F_{max} , «filtro anti-alias», è efficace solo a destra dell'area azzurra, area in cui il filtro non riesce a tagliare del tutto i segnali ma solo ad attenuarli.

Avremo ancora la frequenza dovuta ad Aliasing « $F_s - F_{in}$ » anche se con intensità minore di prima.



Come già detto, con N campioni ricavati dalla forma d'onda originale si può ottenere uno spettro caratterizzato da N/2 lines ugualmente distribuite tra la frequenza minima (0) e la metà della frequenza di campionamento (Fs/2).

Ora che conosciamo il teorema di Nyquist possiamo capire meglio perché da N campioni si ottengono N/2 linee o lines:

$$F_{MAX} = n^{\circ} \text{ lines} * \Delta F = F_s/2 \quad \text{da cui}$$

$$n^{\circ} \text{ lines} = F_{MAX} / \Delta F$$

In realtà F_{MAX} deve essere $< F_s/2$, anche di una quantità infinitesima, ma, trascurando gli infinitesimi, possiamo, ai fini del ragionamento, scrivere « = ».

Ricordiamo che:

T_s = tempo di un campionamento = $1 / F_s = T / N$ ove

chiamiamo «T» la sommatoria di tutti i « T_s », ossia il tempo totale di campionamento e consideriamo che nella FFT si ha:

$$\Delta F = 1/T$$

Allora la «n° lines = $F_{MAX} / \Delta F$ » diventa

$$\begin{aligned} n^\circ \text{ lines} &= F_{MAX} * T = F_{MAX} * N * T_s = F_{MAX} * N / F_s = \\ &= F_{MAX} * N / (2 * F_{MAX}) \end{aligned}$$

$$n^\circ \text{ lines} = N / 2$$

Bisogna evitare fenomeni di aliasing dovuti alla differenza tra f_s e le frequenze contenute nella «ALIAS REGION» (che si estende da $(f_s - f_{max})$ a $f_s > 2 * f_{max}$), ossia essere certi che queste ultime siano tagliate dal **filtro anti-alias**, filtro passa basso con frequenza di taglio pari a f_{max} , il quale però non taglia nettamente la frequenza sopra f_{max} , ma, come detto, lascia passare, anche se attenuata, ancora una parte di segnale.

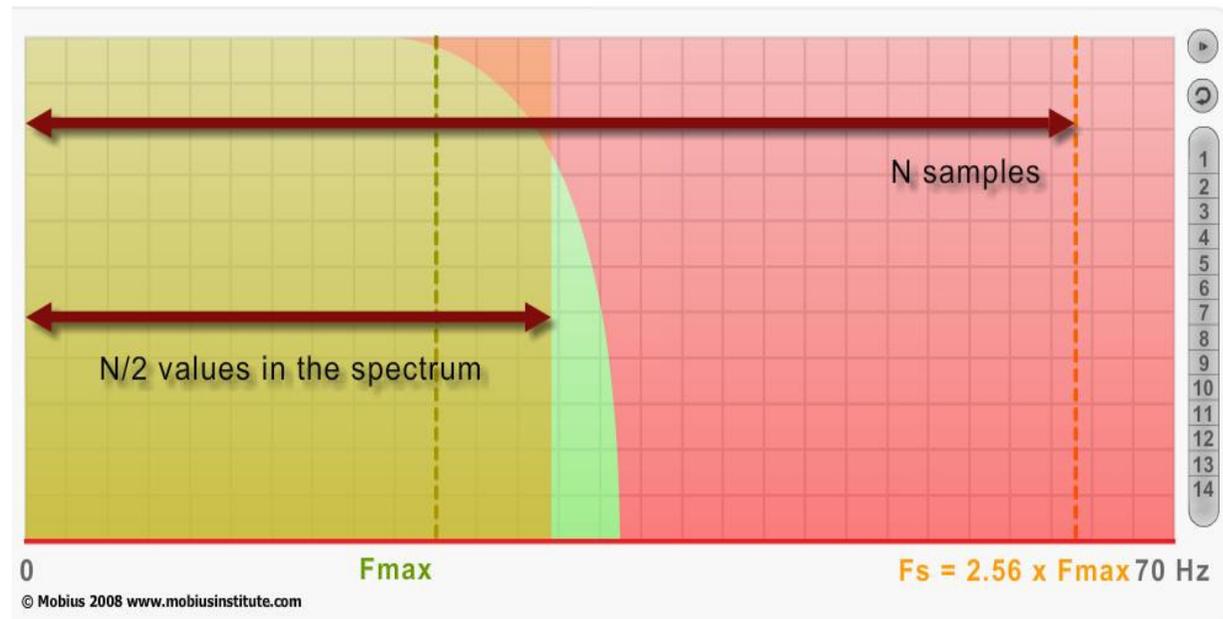
Si è adottata allora una frequenza di campionamento più elevata, non semplicemente maggiore di $2 * f_{max}$ e cioè:

$$f_s = 2,56 * f_{max}.$$

Essa comunque soddisfa il criterio di Nyquist.

I filtri non sono perfetti

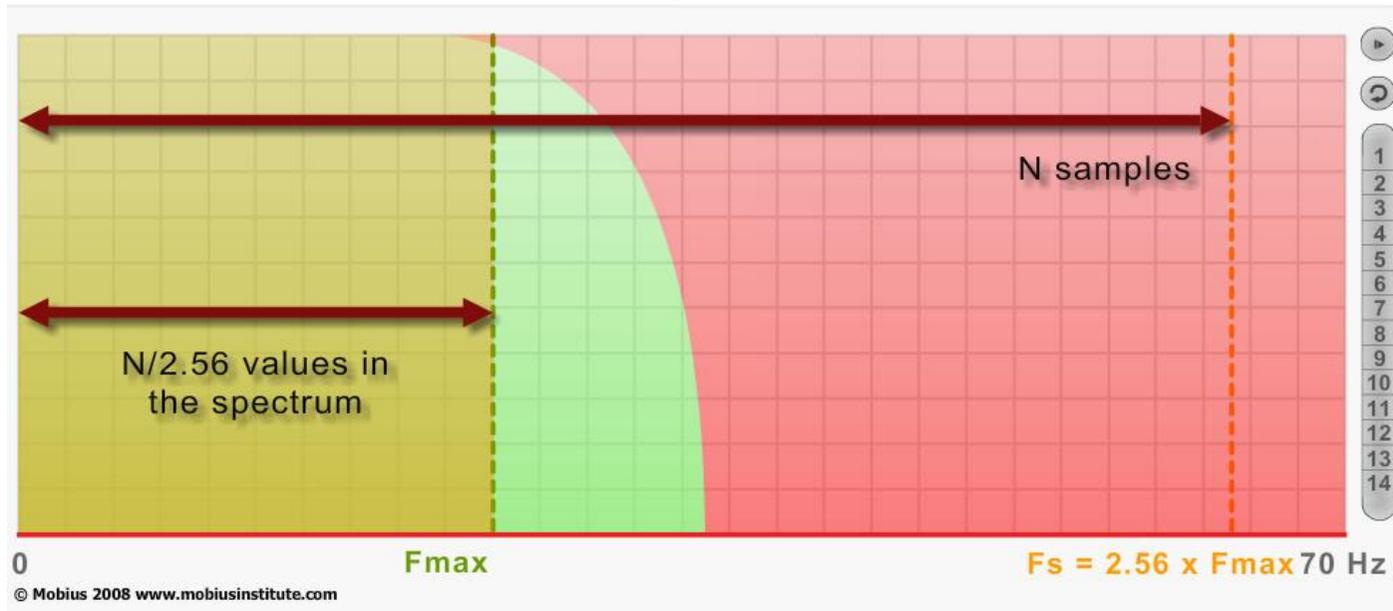
Adottando una $F_s = 2,56 * F_{max}$, tutta la «ALIAS REGION» viene a cadere sicuramente nell'area in cui il filtro anti-alias è pienamente efficace, per cui non esiste più una «ALIAS REGION».



Per eliminare eventuali frequenze presenti nella «zona grigia» del filtro, sopra la F_{max} e comprese tra F_{max} e $F_s/2$, si scartano le lines che cadrebbero in tale intervallo utilizzando solo $N/2,56$ lines da «0» a F_{max} (anziché, come detto prima, $N/2$ lines da «0» a $F_s/2$).

Quindi da N campioni della forma d'onda, con una $F_s = 2,56 * F_{max}$, si ottengono $N/2,56$ lines di spettro FFT tra 0 e F_{max} .

I filtri non sono perfetti



Per evitare l'aliasing:

- ▶ Utilizzare una frequenza di campionamento $F_s = 2.56 F_{max}$
- ▶ Utilizzare un filtro passa basso prima del campionamento con $F(\text{taglio}) = F_{max}$

$$N = 2^8 = 256 \longrightarrow 100 \text{ lines}$$

$$N = 2^9 = 512 \longrightarrow 200 \text{ lines}$$

$$N = 2^{10} = 1024 \longrightarrow 400 \text{ lines}$$

$$N = 2^{11} = 2048 \longrightarrow 800 \text{ lines}$$

$$N = 2^{12} = 4096 \longrightarrow 1600 \text{ lines}$$

$$N = 2^{13} = 8192 \longrightarrow 3200 \text{ lines}$$

La FFT necessita di N campioni, dove $N = 2^i$

La FFT determina uno spettro con $N/2.56$ lines

Oggigiorno i filtri analogici “anti-aliasing” sono usati raramente durante le acquisizioni dati.

E' molto più adoperato il metodo delta-sigma (o sigma-delta)

Quest'ultimo produce un miglior filtraggio. E' possibile ottenere più di 800 lines da 2048 campioni

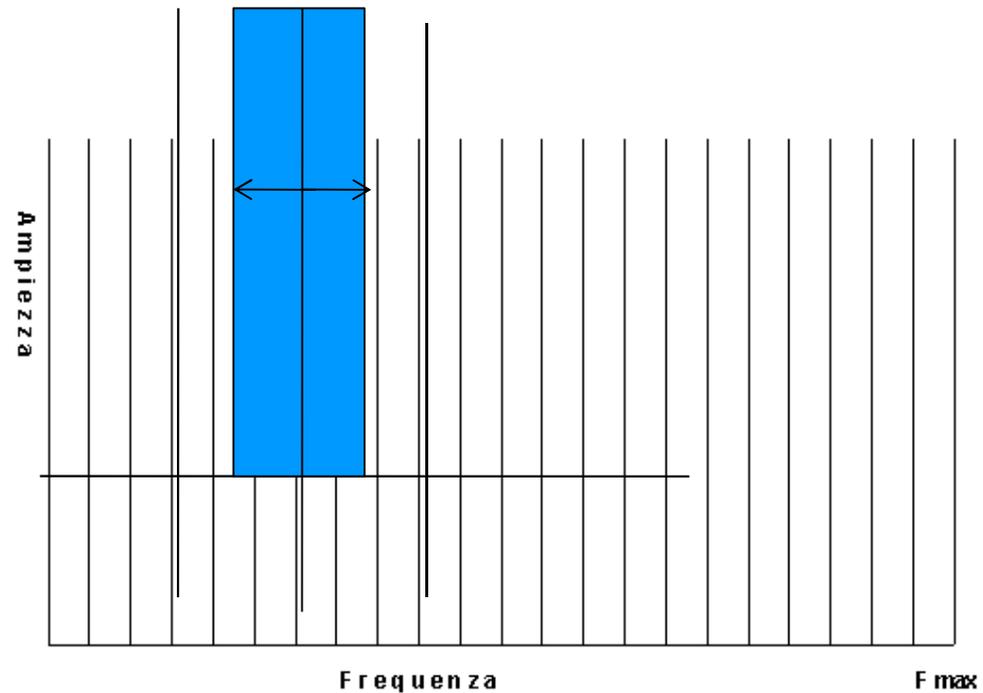
Per convenzione l'industria ha mantenuto lo stesso numero di lines che venivano usate in passato.

Risoluzione

La Risoluzione è intesa come numero di celle o linee usato per calcolare e rappresentare lo spettro di frequenze.

La larghezza di una banda può essere calcolata dividendo la F_{max} dello spettro per il numero di linee di risoluzione.

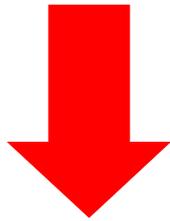
Più alto è il numero di linee migliore è la capacità di distinguere picchi vicini tra loro.



$$\text{BANDWIDTH} = \frac{f_{max} - f_{min}}{N^{\circ} \text{ linee}}$$

AUMENTO DELLA RISOLUZIONE

$$LB = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{N \text{ linee}} \quad [\text{Hz}]$$



AUMENTO TEMPO DI ACQUISIZIONE

$$T = \frac{N \text{ linee}}{f_{\max} - f_{\min}} \quad [\text{s}]$$

Bisogna scegliere un compromesso

$$T = T_s * N = N / F_s = N / (2,56 * F_{MAX}) = \text{linee} / F_{MAX}$$

T = tempo per l'acquisizione forma d'onda

T_s = intervallo di tempo tra ciascun campione

F_s = frequenza di campionamento = numero di campioni al secondo

N = numero di campioni (1024, 2048, 4096 etc.)

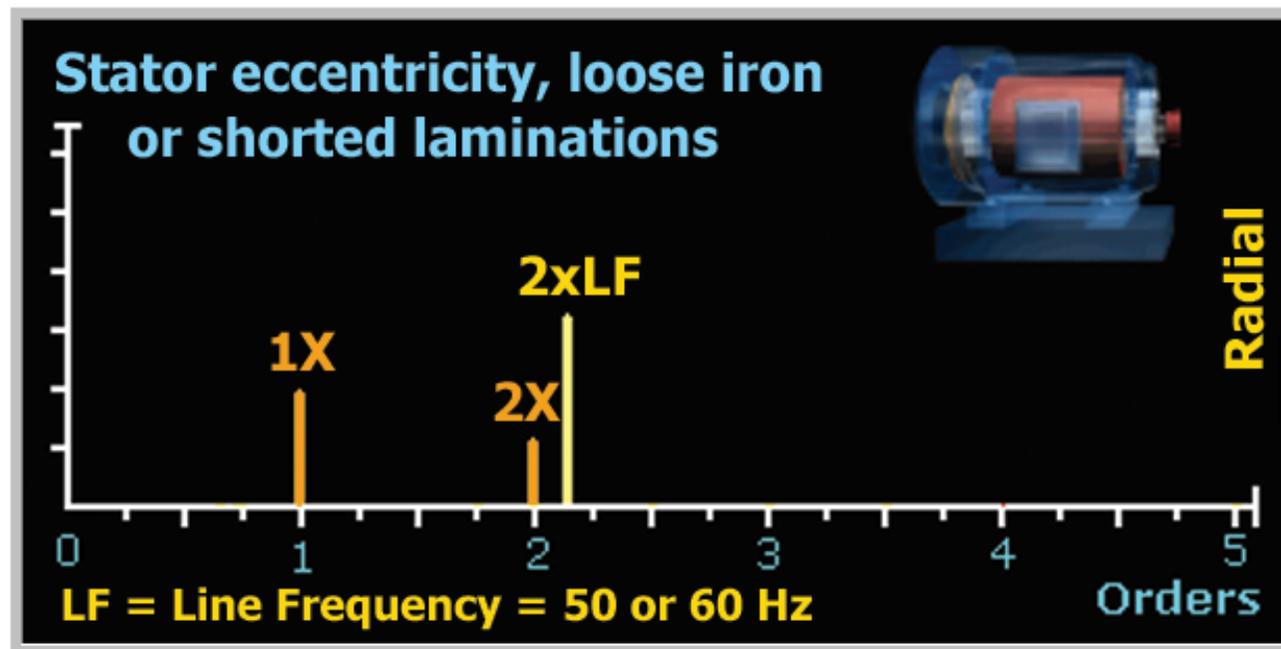
Linee = $N / 2,56$

E' evidente come il tempo di acquisizione sia proporzionale al N° di linee.

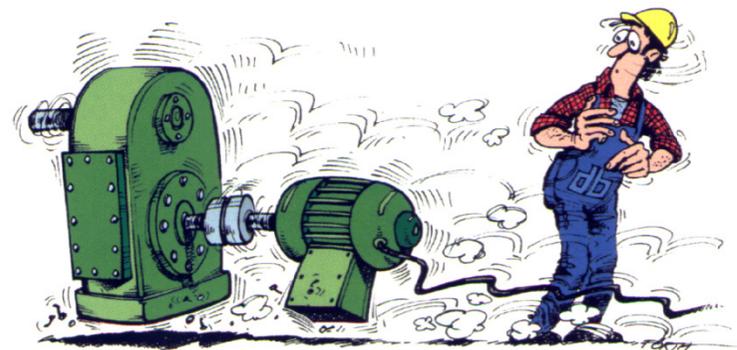
Problemi di risoluzione: Motori elettrici

Problemi allo statore generano alte vibrazioni al doppio della frequenza di rete (100 Hz).

Una non sufficiente risoluzione può generare problemi nel riconoscerla.



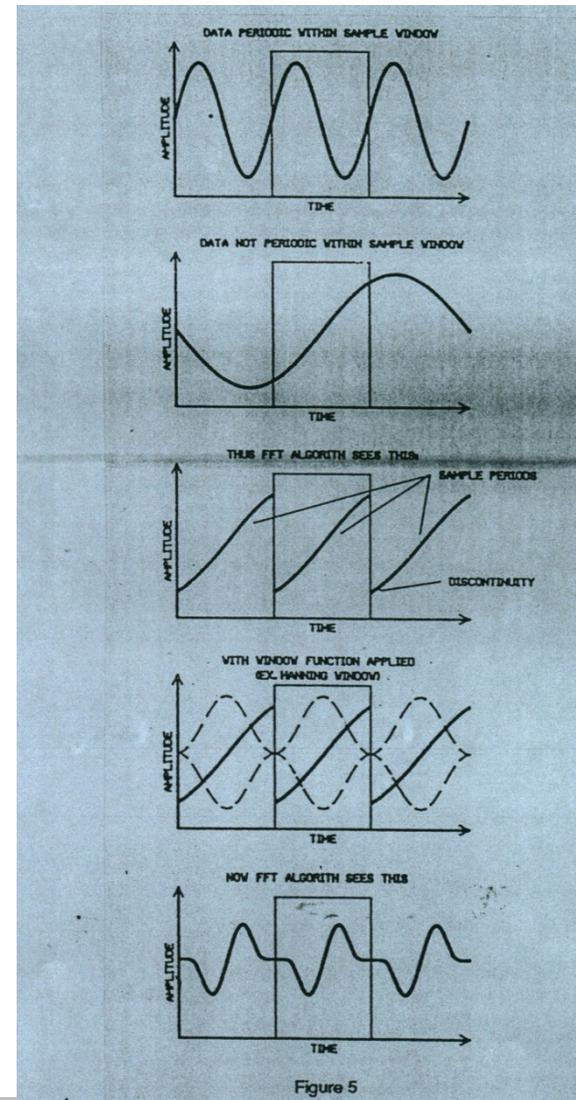
Funzioni Windows, Larghezza di Banda



Funzioni Windows

La funzione “Window” può essere definita come un metodo per riempire le discontinuità tra una campionatura digitale e la seguente.

Se il segnale non viene sottoposto alla funzione window, si ha un errore conosciuto come “leakage”



Tutta la teoria matematica che sta alla base dell'analisi in frequenza con la trasformata di Fourier fu sviluppata nel diciottesimo secolo ed è adatta a segnali continui nel tempo. L'analisi che noi normalmente effettuiamo con i nostri sistemi prevede la memorizzazione di un' 'istantanea' (**time span**) della forma d'onda digitalizzata dall'analizzatore (**time record**), sulla quale viene poi applicata la trasformata di Fourier. Il processo viene reiterato un certo numero di volte effettuando una serie di medie per aumentare l'affidabilità statistica della misura.

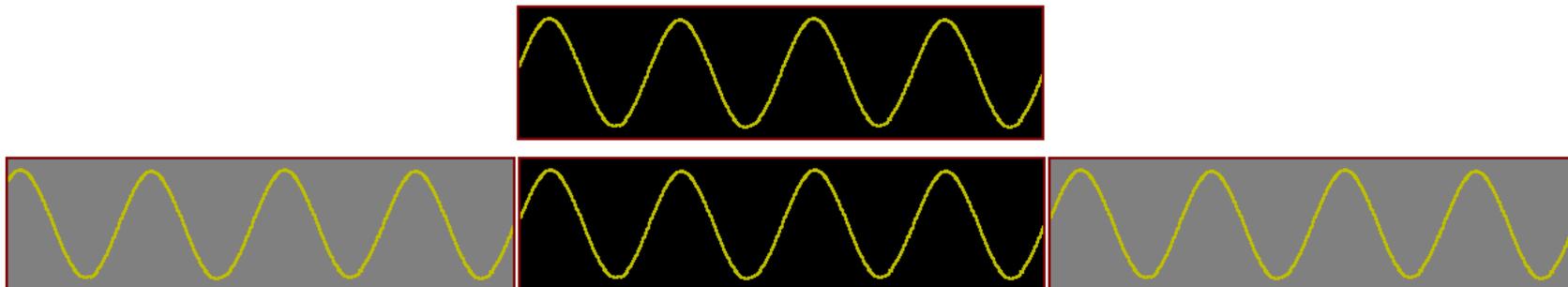
Il problema principale è legato al fatto che le varie 'istantanee' della forma d'onda non sono esattamente continue l'una rispetto all'altra e cioè normalmente l'ultimo valore dell'una non coincide con il primo valore della successiva, si crea cioè un discontinuità nel segnale da analizzare.

Applicando quindi la trasformata di Fourier sulle forme d'onde digitalizzate vengono visualizzati sullo spettro picchi di vibrazione che non sono rappresentativi di problemi effettivi della macchina ma solo il risultato di errori matematici introdotti dall'algoritmo.

Per risolvere il problema gli analizzatori sono stati dotati della funzione "Window" grazie alla quale i valori della forma d'onda digitalizzata vengono moltiplicati per una serie di coefficienti che hanno la caratteristica di portare a zero o a un valore comunque uguale il primo e l'ultimo valore delle varie forme d'onda digitalizzate. Questo stratagemma ripristina la continuità temporale tra le 'istantanee' della forme d'onda.

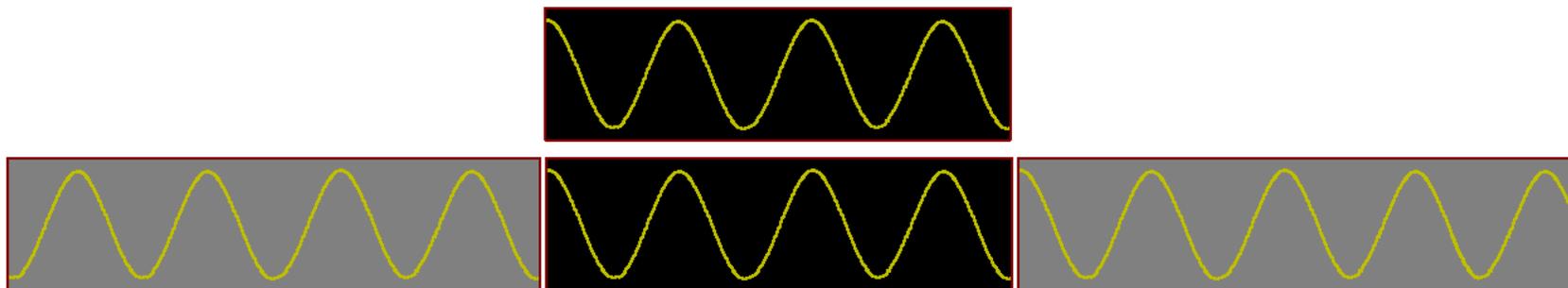
Il calcolo della FFT presuppone di avere a disposizione una forma d'onda infinita

- ▶ Si ipotizza che il segnale prima e dopo l'acquisizione sia identico a quello acquisito
- ▶ In questo esempio è vero:
 - La forma d'onda inizia e finisce a zero
 - Ci sono 4 cicli completi nell'intervallo di acquisizione



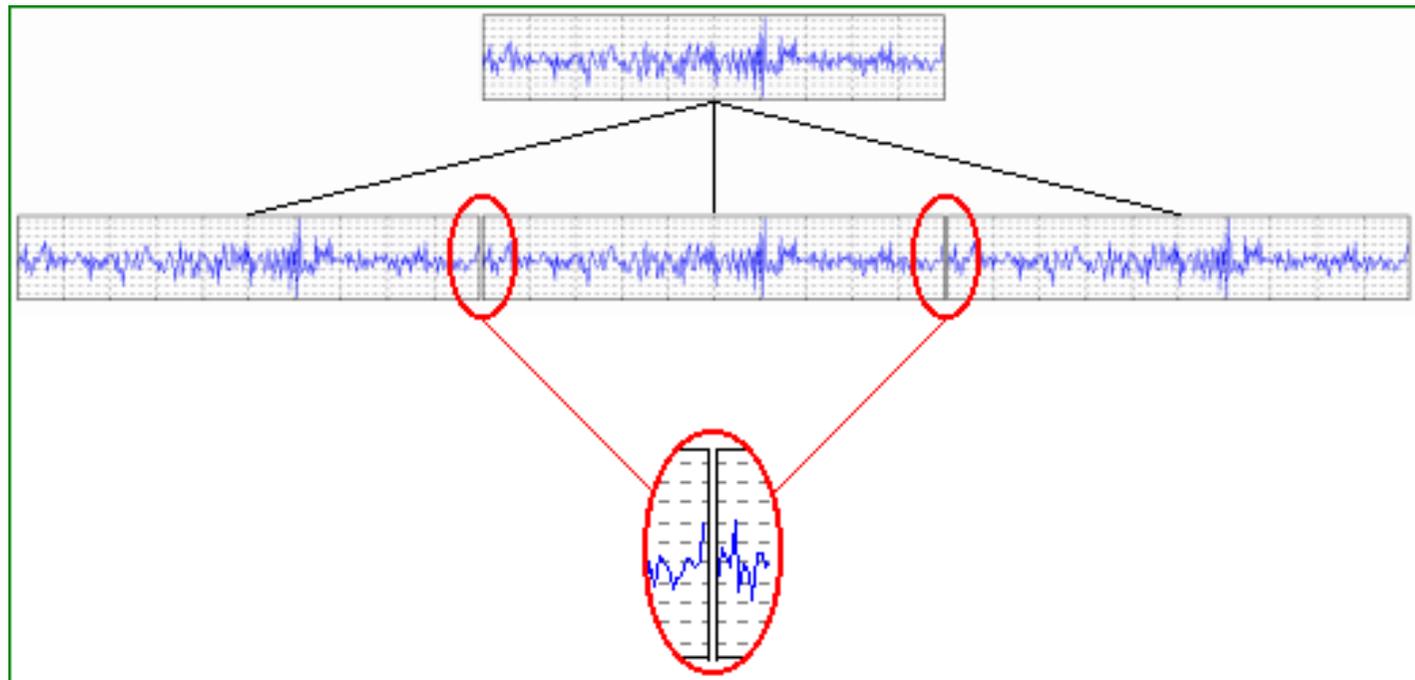
Purtroppo il tempo di acquisizione dati è finito

- ▶ L'informazione contenuta nel segnale prima e dopo raramente è la stessa
- ▶ Esempio:

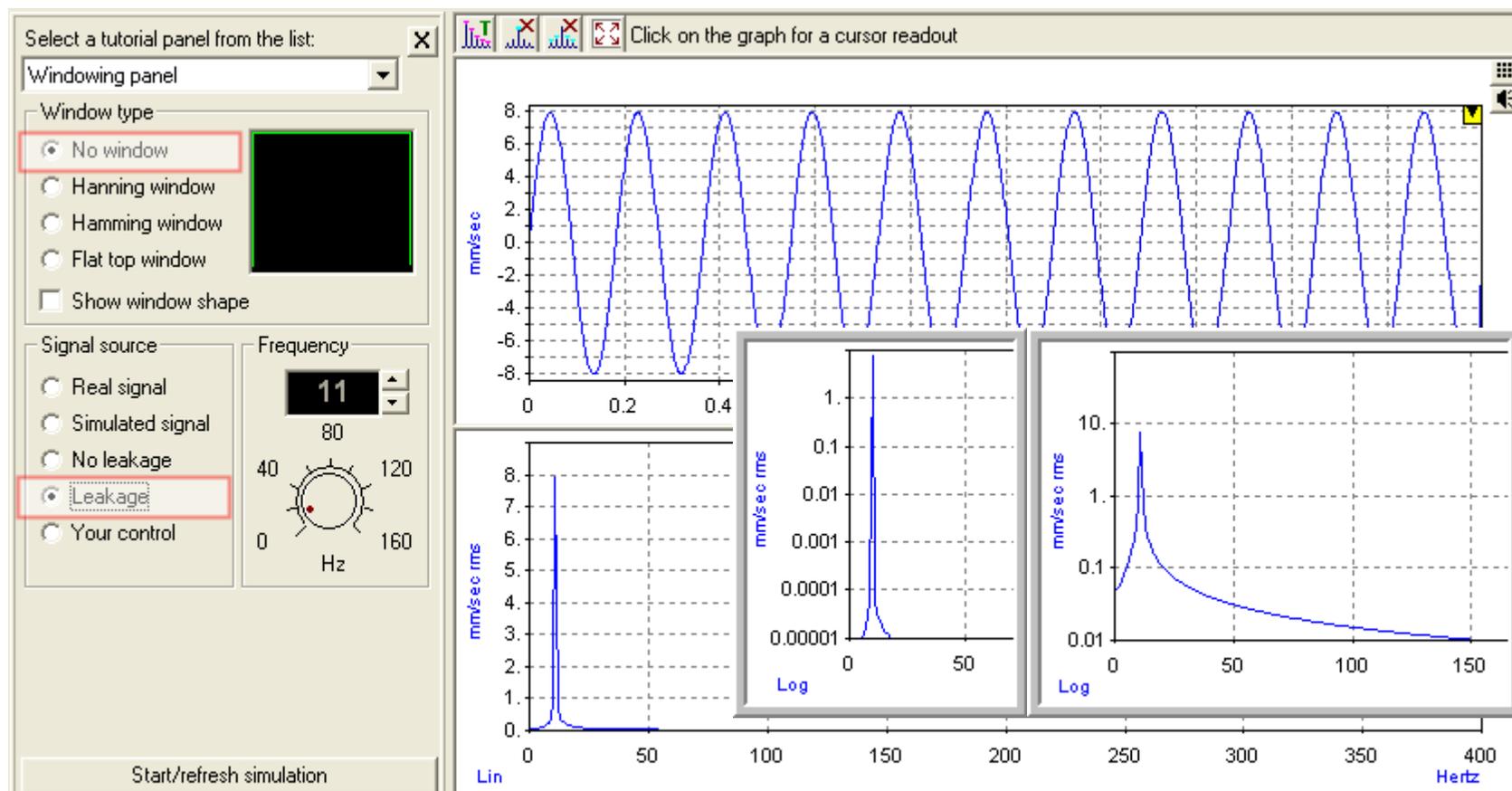


Esempio:

- ▶ Tutti le parti del segnale acquisito non completano il loro ciclo all'interno del record
- ▶ I valori dell'ampiezza all'inizio e alla fine non sono zero e non sono uguali.



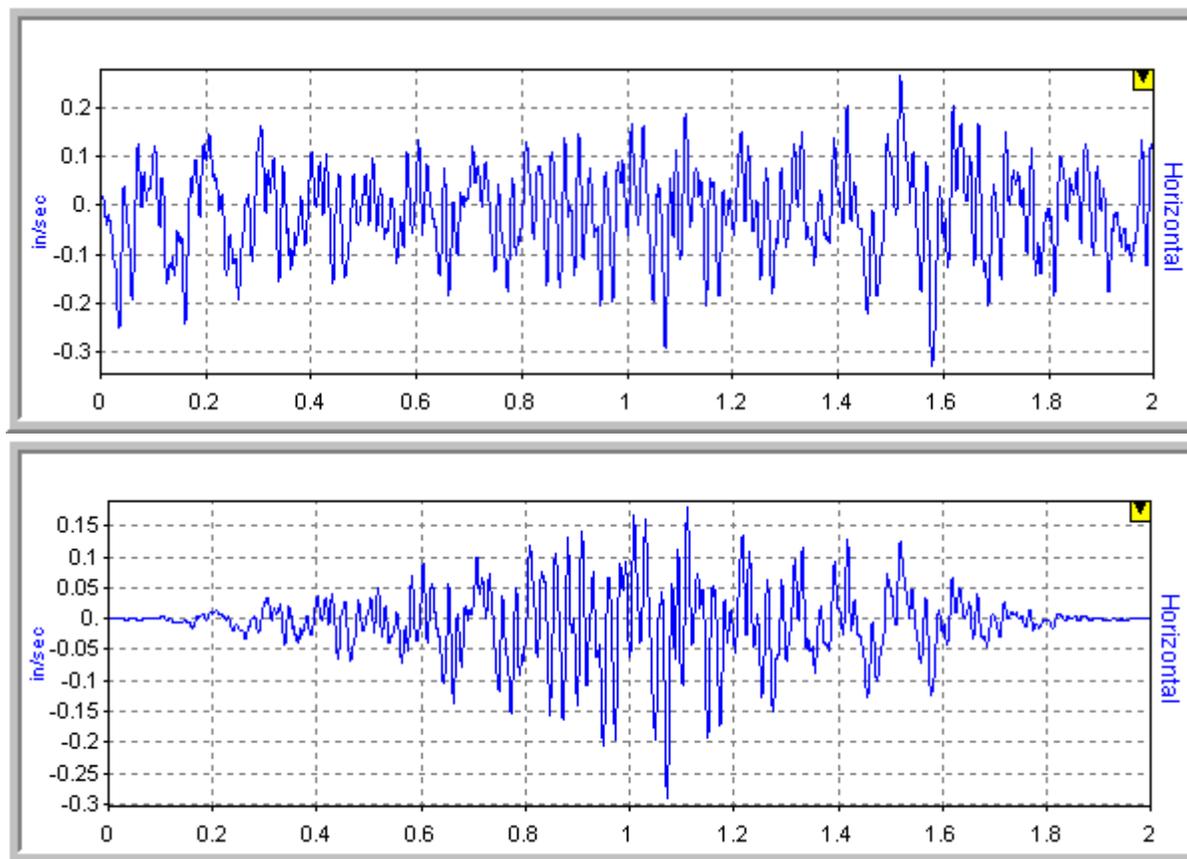
Il picco si è “allargato” a causa del leakage



Soluzione: Finestratura

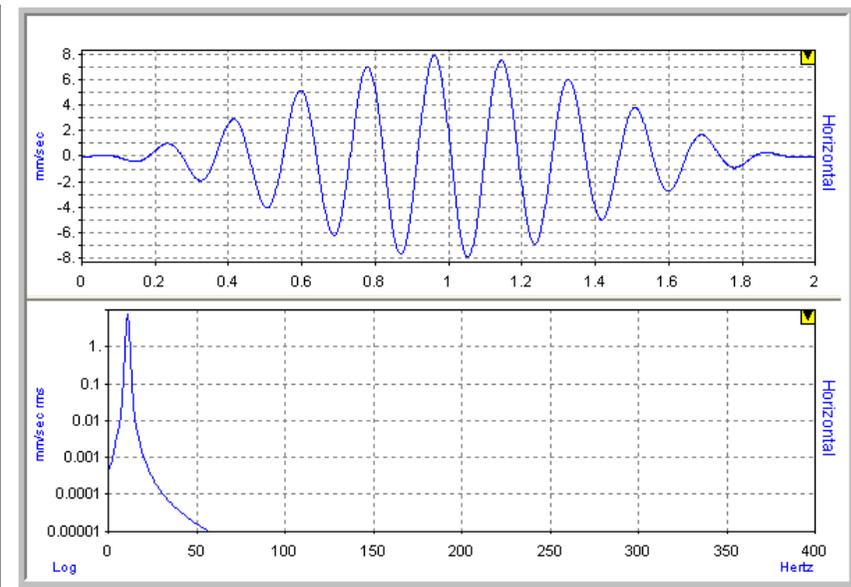
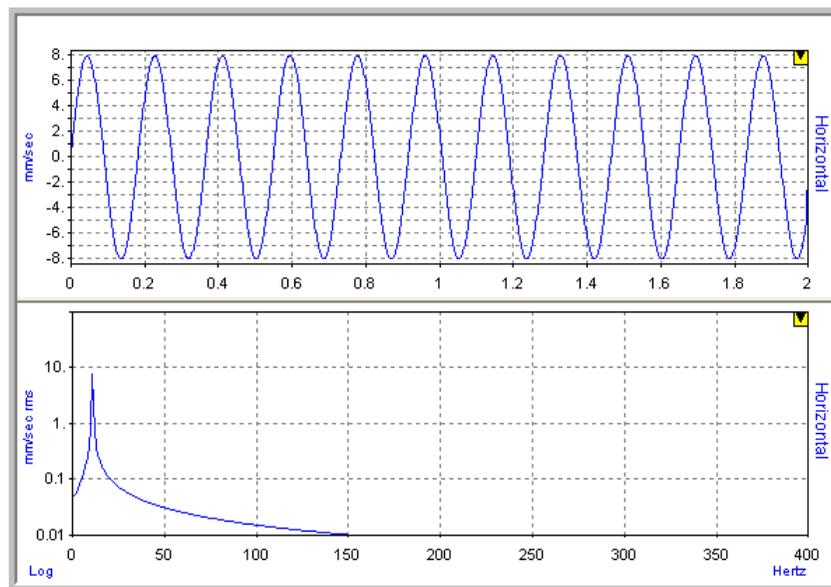
La finestratura cambia l'aspetto della forma d'onda

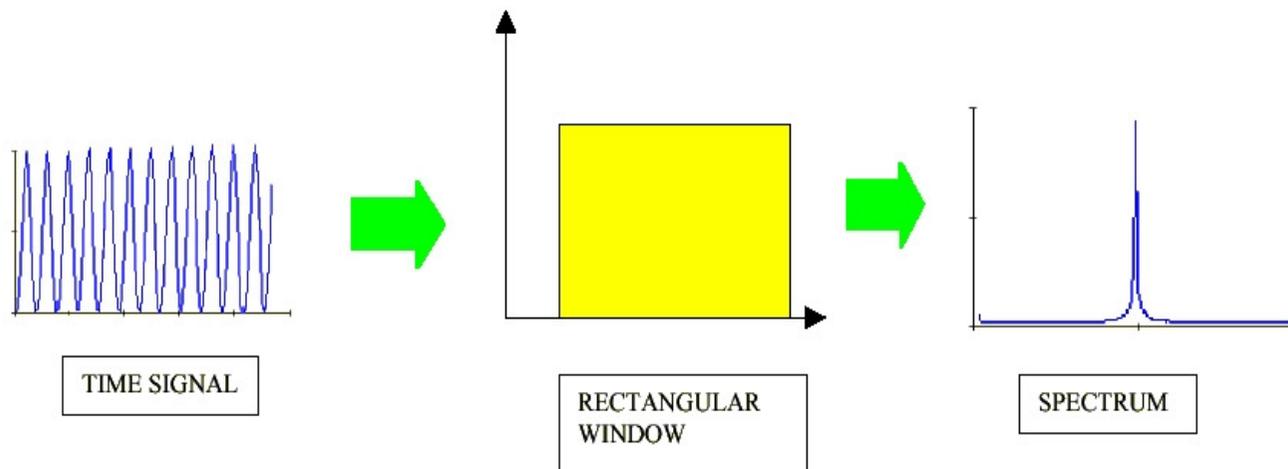
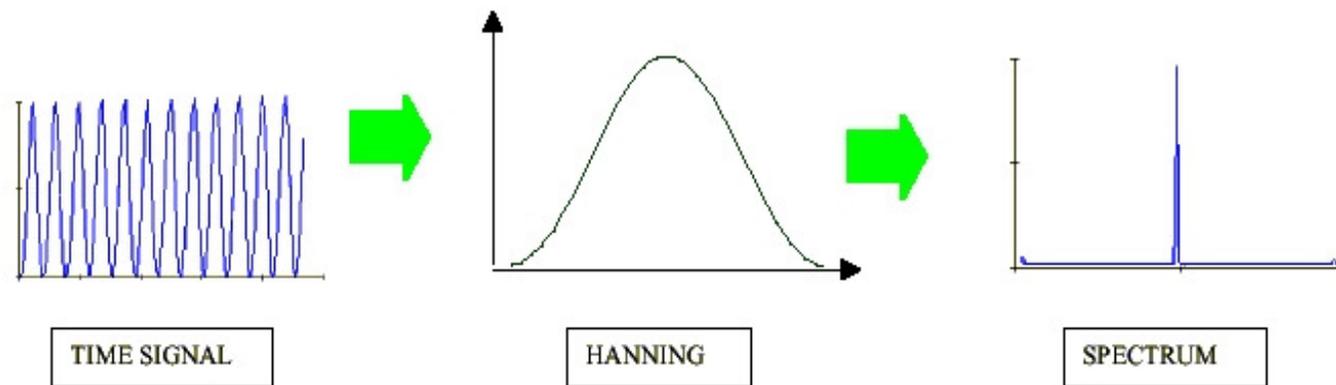
- ▶ L'inizio e la fine adesso hanno valore = a zero



La finestatura più usata è la *Hanning*

- ▶ E' possibile vedere come cambia il segnale prima e dopo l'utilizzo di questo tipo di finestatura.





Con la funzione Window la forma d'onda viene comunque modificata e quindi si introduce una certa imprecisione nella valutazione dell'ampiezza dei picchi di vibrazione, garantendo però una maggiore precisione in frequenza o viceversa. Per questo motivo esiste tutta una serie di funzioni Windows, con coefficienti di pesatura differenti, che sono in grado di dare maggiore precisione in ampiezza a discapito della frequenza e viceversa. In generale la window più utilizzata è quella di Hanning che garantisce un buona precisione in frequenza ed una discreta precisione in ampiezza. Nel caso si voglia un'ottima precisione in ampiezza (però con una bassa precisione in frequenza) la window più adatta è la Flat Top.

Tipo di finestra	Fattore di scala	Noise equivalent power bandwidth = Window Factor	Errore di ampiezza Caso peggiore (dB)
Uniforme = no window	1,00	1,00	3,92
Hanning	0,50	1,50	1,42
Hamming	0,54	1,36	1,75
Flat top	0,22	3,77	<0,01

Il Fattore di scala è in genere incluso automaticamente nel calcolo dal Software del Data Collector

L'Errore di Ampiezza ci mostra come per questa grandezza la migliore sia la Flat Top e la peggiore la Uniforme

Abbiamo visto alla slide **74** una prima definizione di Larghezza di Banda di una linea o striscia:

Bandwidth = Frequenza di fondo scala / N° di linee

E' più corretto chiamarla : **Risoluzione**

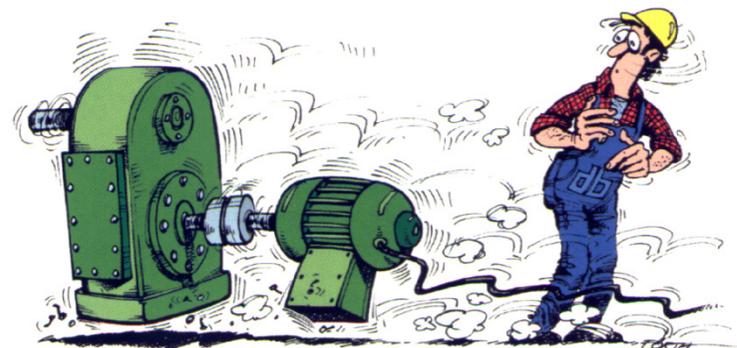
Risoluzione = Frequenza max / N° di linee

Nel nostro processo di “detection” attraverso FFT e lo Spettro in frequenza abbiamo visto la necessità di passare attraverso le funzioni “Window” per cui la effettiva Bandwidth di indagine diventa:

Larghezza di Banda = Risoluzione * Window factor

vedi colonna 3 della tabella alla slide **90**.

Frequenze , Linee spettrali



Da quanto sopra deriva anche:

Frequenza di separazione $\geq 2 * \text{Larghezza di Banda} =$

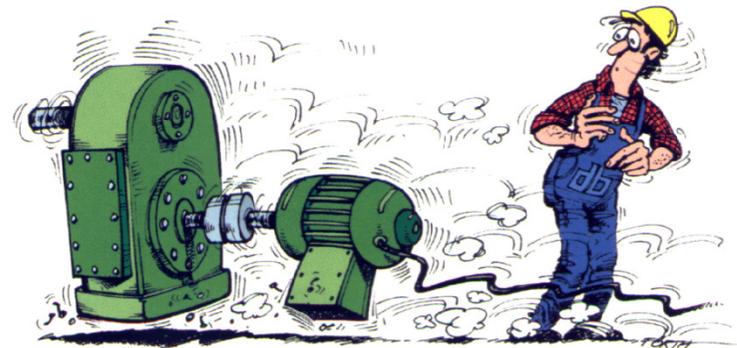
$= 2 * \text{Risoluzione} * \text{Window factor} =$

$= 2 * F_{\text{max}} * \text{Window factor} / N^{\circ} \text{ di linee}$

Linee spettrali richieste $\geq 2 * \text{Window factor} * F_{\text{max}} /$
Frequenza di separazione

Accuratezza della frequenza (al picco) $= \pm (1/2) * \text{Risoluzione}$
 $* \text{Window factor}$

Averaging, ritardo, sovrapposizione



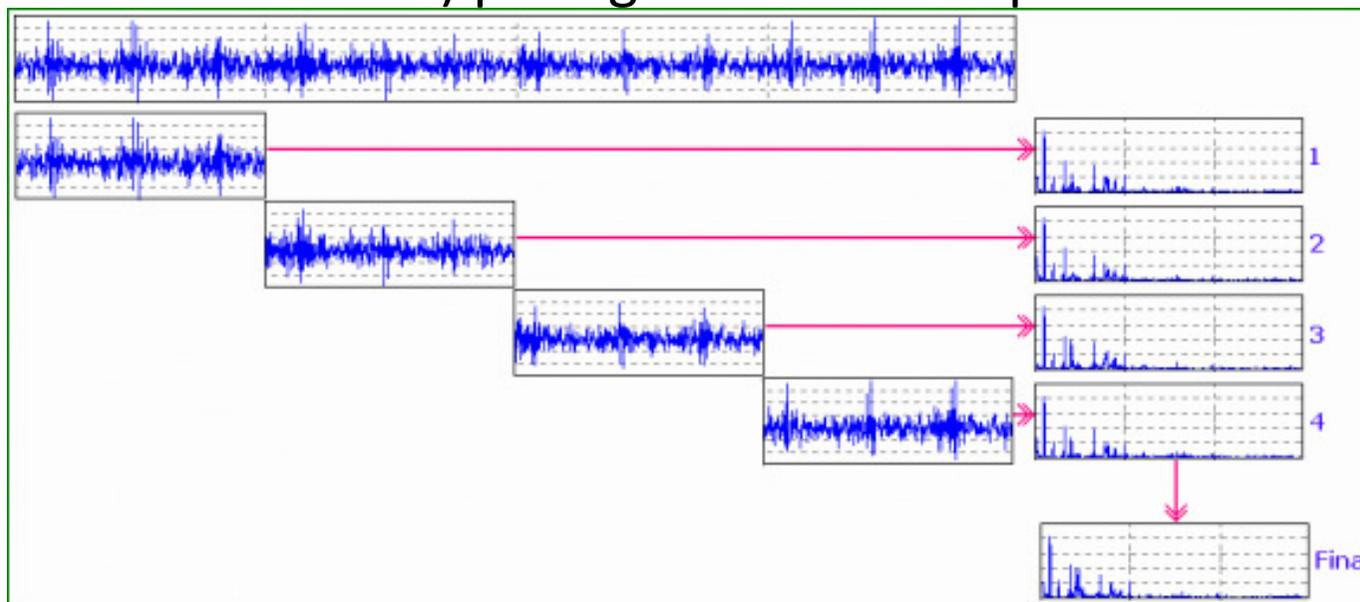
Il valore delle vibrazioni non è stabile ma fluttua

- ▶ E' sempre presente del rumore proveniente sia dall'interno della macchina che dall'esterno
- ▶ Le variazioni dovute alle rotazioni variano di ciclo in ciclo

E' necessario ridurre l'impatto del rumore e della fluttuazione

- ▶ E' necessario mantenere una buona ripetibilità
 - Due misure acquisite a 5 minuti di differenza devono essere molto simili

“ Mediare ” significa effettuare una media lineare (o sul valore efficace) per ogni linea dello spettro



Tipi di media - Ritardo

LINEARE

La più usata

PEAK HOLD

Per catturare i transienti

ESPONENZIALE

Utile quando si osservano situazioni che cambiano in modo lento rispetto al tempo di campionamento

RITARDO:

STATICO

Lo spettro viene visualizzato a fine campionamento

DINAMICO

Lo spettro si aggiorna ad ogni lettura



Il processo di media è indispensabile per avere un buona affidabilità dei dati acquisiti. In generale più alto è il numero delle medie e maggiore è la garanzia di bontà dei risultati, anche se maggiore è il tempo necessario per effettuare la misura.

Esistono tipologie differenti di medie da utilizzare a seconda dell'applicazione:

LINEARE è la media classica dove viene definito il numero di campioni ed ognuno ha lo stesso peso all'interno del processo di media. Deve essere utilizzata quando si analizzano fenomeni stazionari e cioè ad esempio rilievi fatti su macchine a giri costanti. E' la più usata.

PEAK HOLD memorizza, frequenza per frequenza, i valori più elevati degli spettri inseriti nella media. Si usa per l'analisi di fenomeni transitori.

ESPONENTIAL in questo tipo media il peso dei singoli campioni all'interno del processo segue l'andamento di una curva esponenziale. Questo significa che i valori dell'ultimo spettro acquisito hanno un peso molto più elevato rispetto a quelli del primo. Si usa per l'analisi di fenomeni transitori dove si voglia tener conto dell'evoluzione nel tempo del fenomeno stesso.

Con la media si riducono il rumore e le fluttuazioni nelle vibrazioni, ma il rumore non si elimina.

Di solito si applicano 4 medie

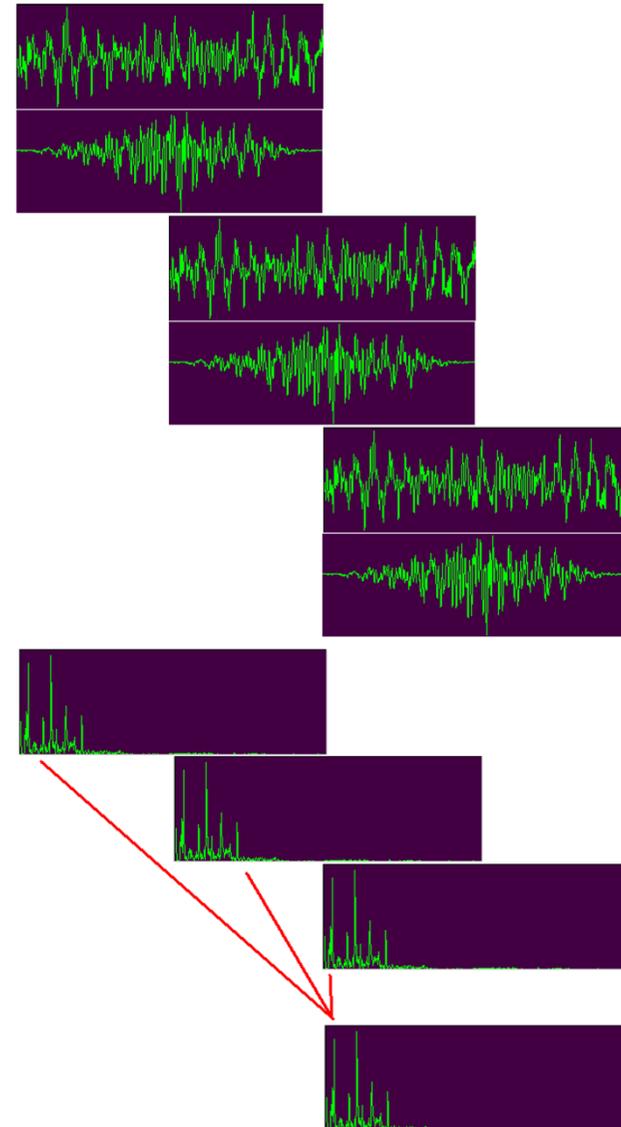
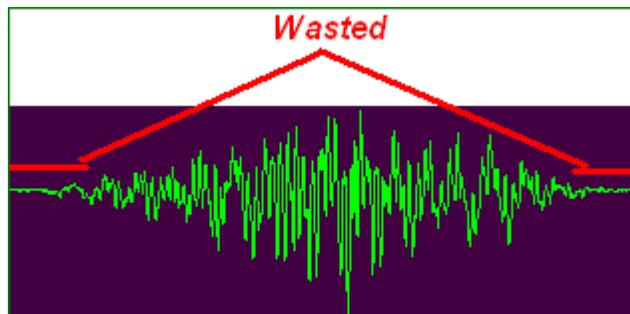
In molte applicazioni sono richieste più medie.

La media nello spettro non rimuove il rumore

Con la finestatura parte dei dati viene “sprecata”

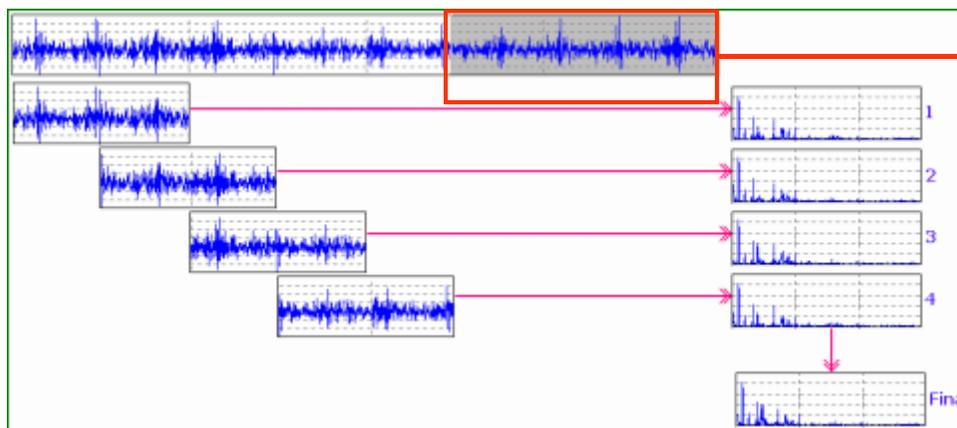
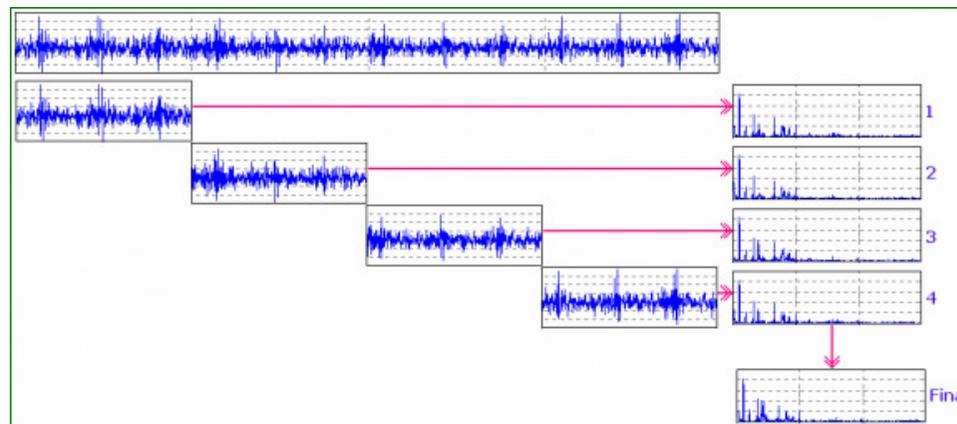
Ciò ci permette di sovrapporre gli intervalli di acquisizione per risparmiare tempo e soprattutto per non perdere parti del segnale.

(overlap)



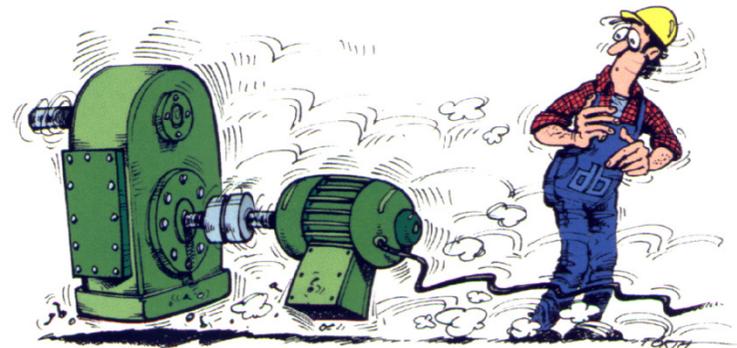
Sovrapposizione

In questo esempio si ha una sovrapposizione del 50 %



Tempo risparmiato

Time Synchronous Averaging



Tecnica della media sincronizzata: TSA (Time Synchronous Averaging)



Viene effettuata una media nel dominio del tempo

- ▶ Tiene conto della media temporale e di quella digitale

La tecnica TSA riduce il livello del rumore

- ▶ Essa può rivelare segnali a bassa ampiezza

Tecnica della media sincronizzata : TSA

L'inizio dei "time records" deve essere sincronizzato

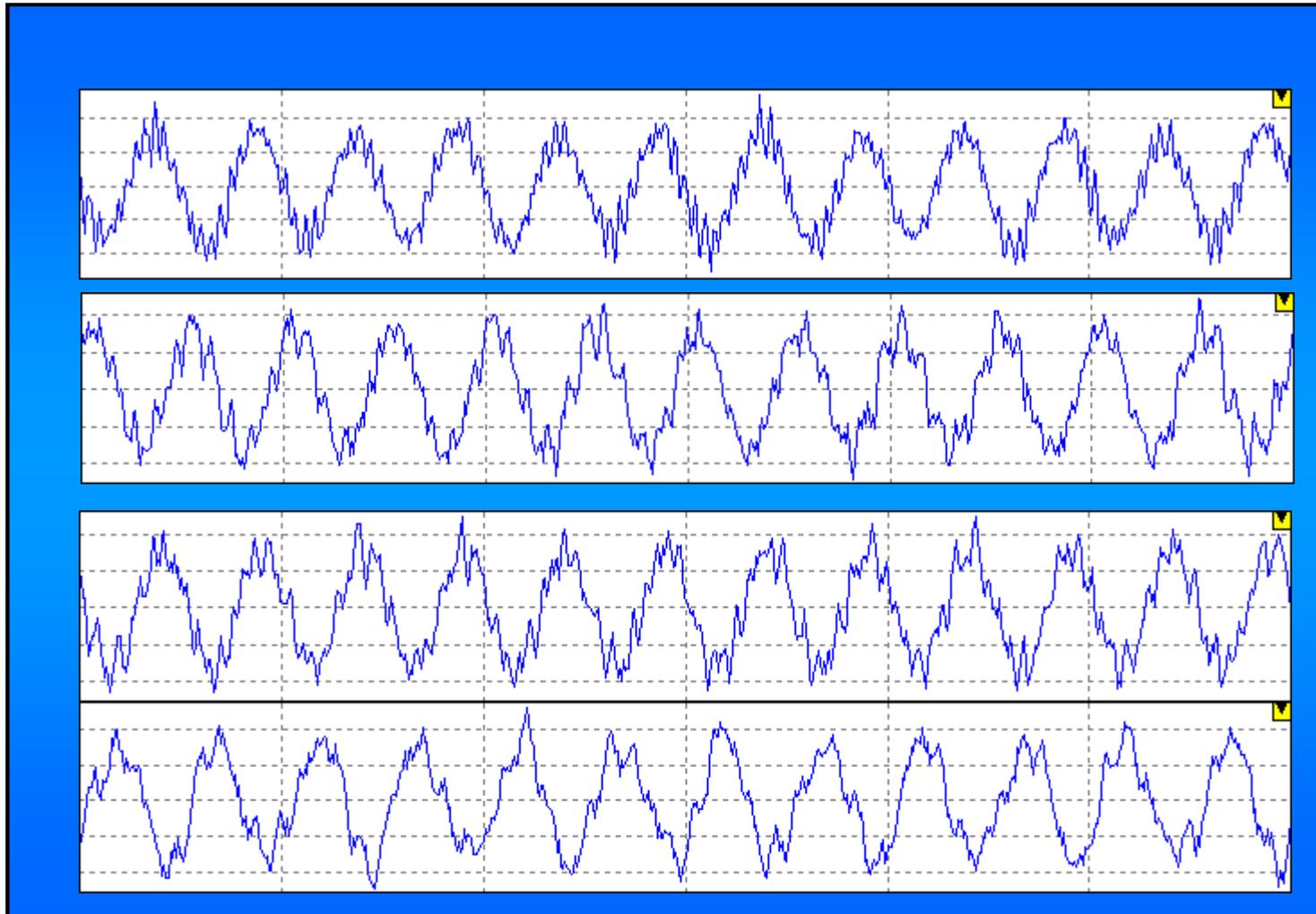
E' possibile utilizzare un trigger per ogni acquisizione

- ▶ Sono spesso usati dei contagiri



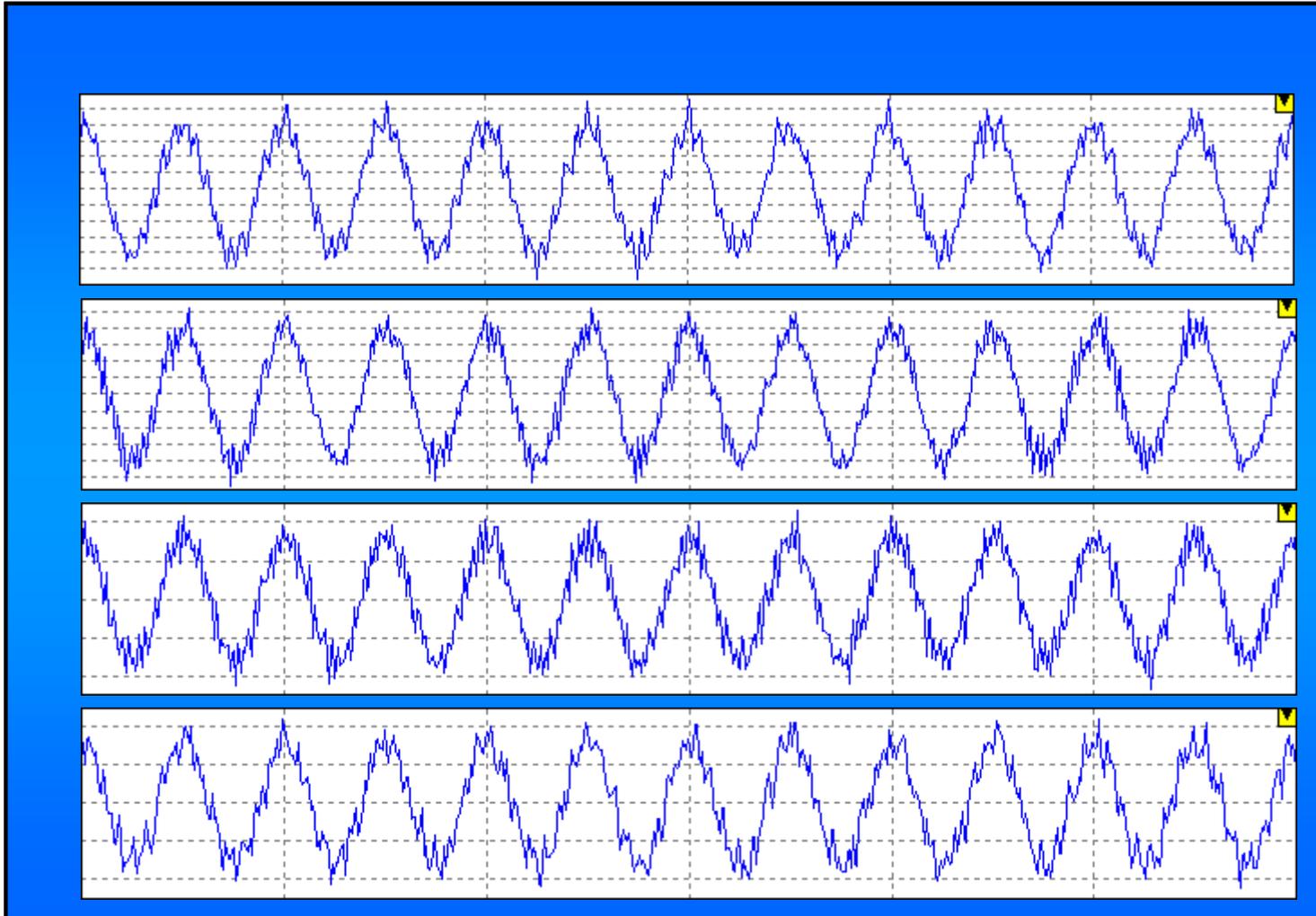
Tecnica della media sincronizzata : TSA

Dopo avere effettuato le medie delle forme d'onda non sincronizzate, queste si cancellano l'una con l'altra

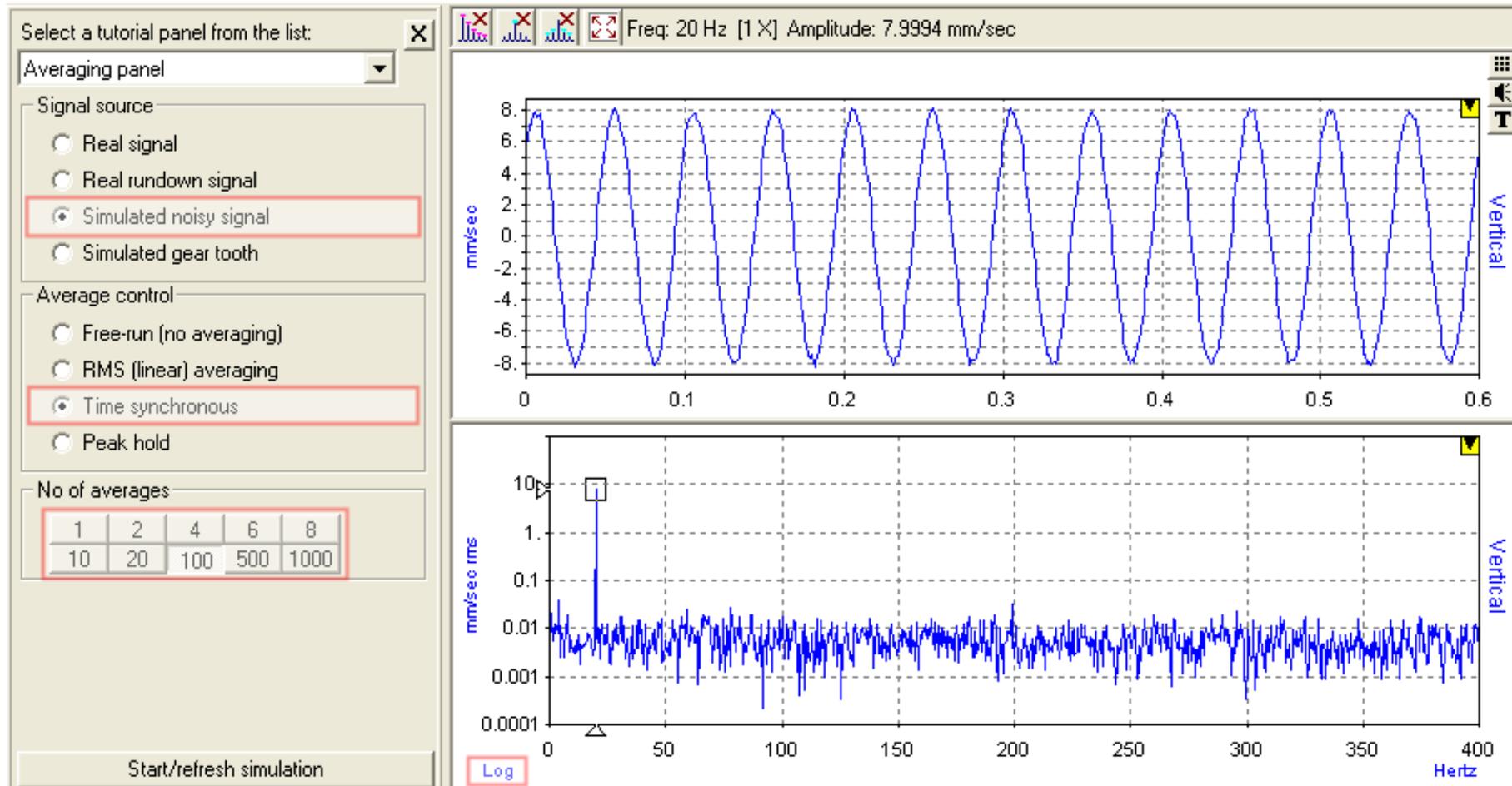


Tecnica della media sincronizzata : TSA

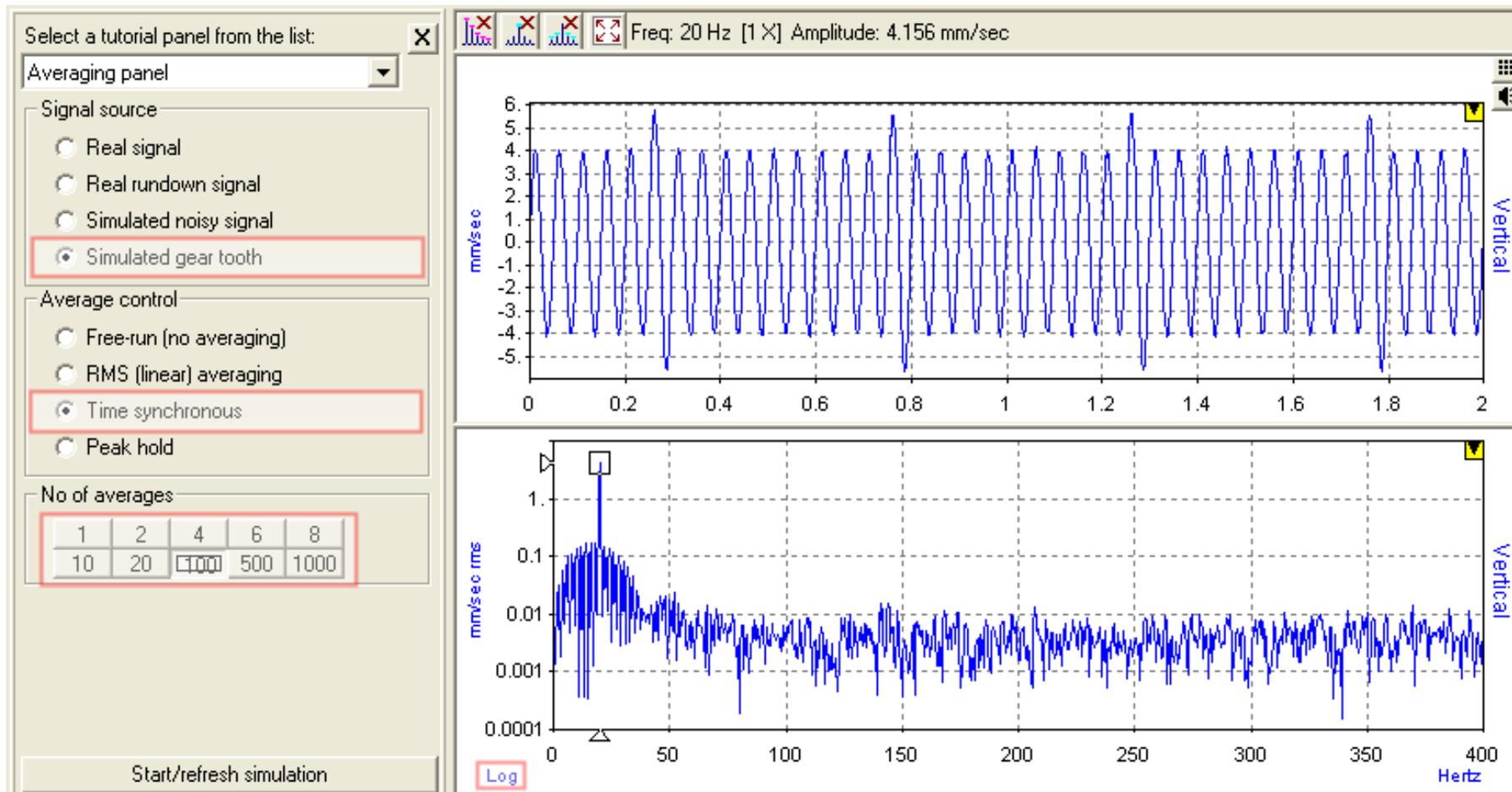
Queste forme d'onda sono sincronizzate e possono essere mediate



Tecnica della media sincronizzata: TSA



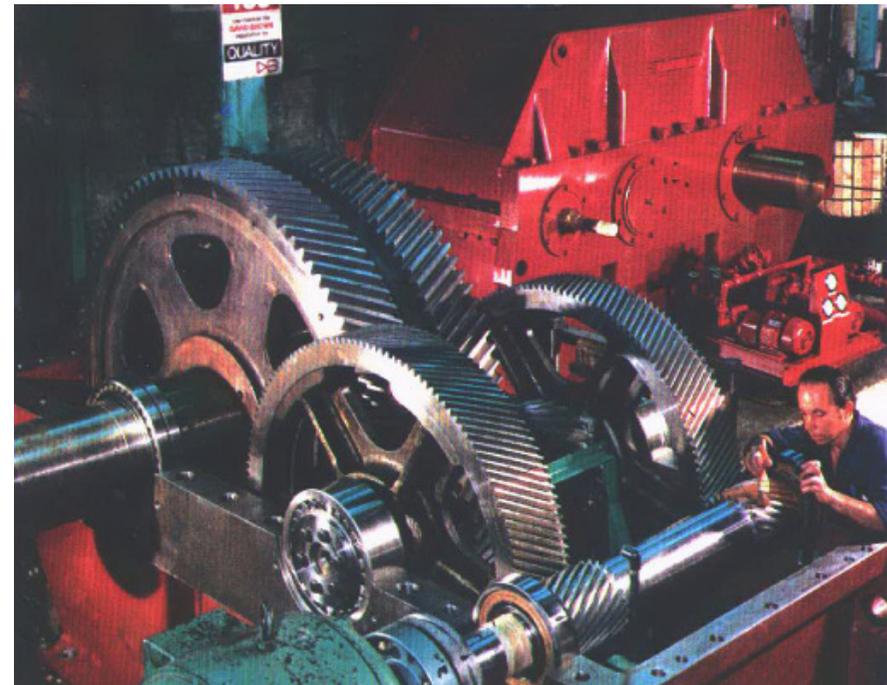
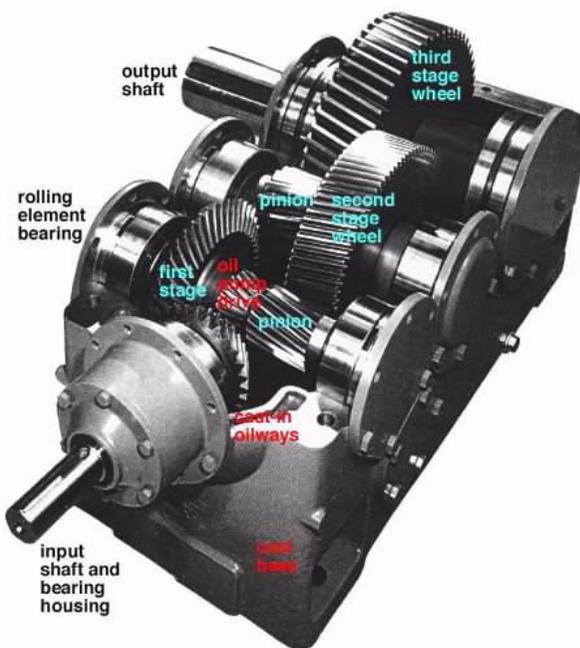
Simulazione di un danno alla scatola ingranaggi



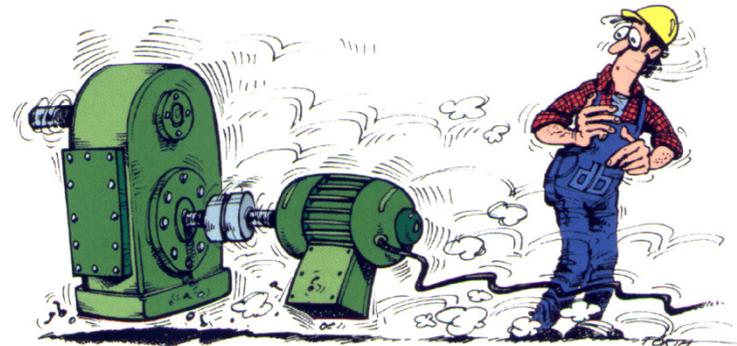
Tecnica della media sincronizzata : TSA

La tecnica TSA è ideale nelle difficili analisi per le scatole degli ingranaggi.

La richiesta di un contagiri, e di tanto tempo per l'acquisizione dati fa capire il suo sporadico utilizzo.



Modulazione

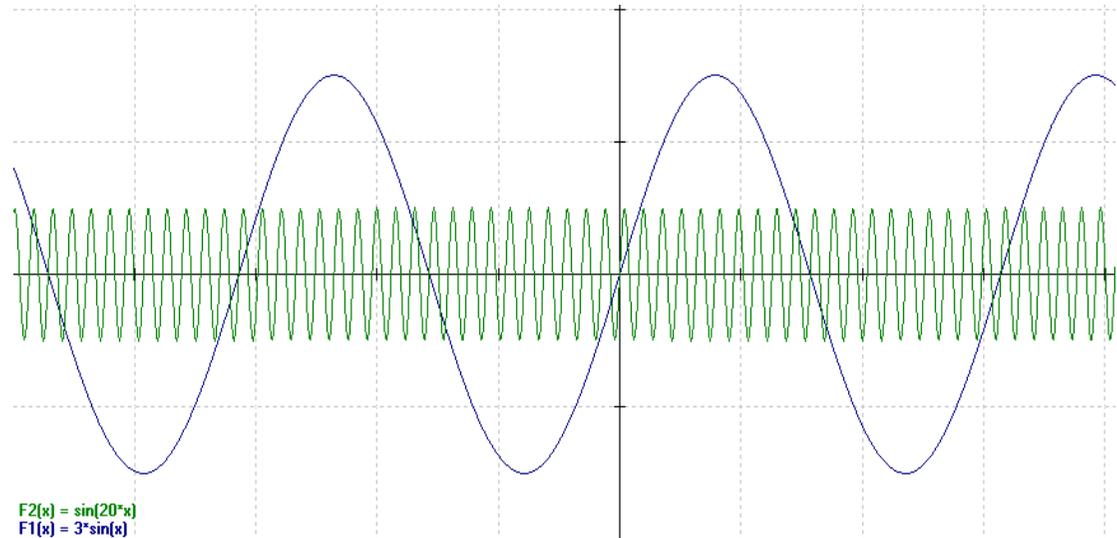


Nella slide seguente sono indicate due forme d'onda con frequenza ed ampiezza differente (grafico in alto a destra).

La forma d'onda con frequenza più elevata è detta **portante**, quella con frequenza più bassa **modulante**.

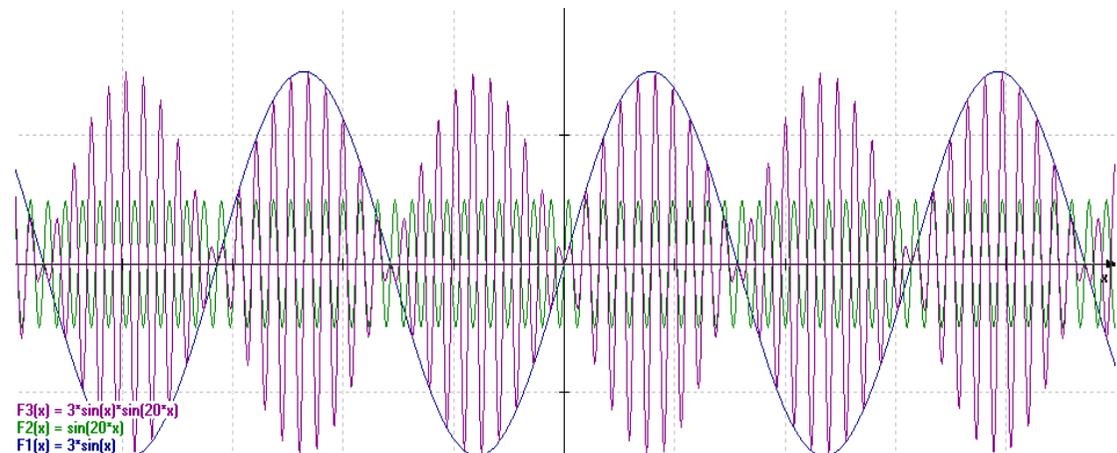
Una combinazione non lineare fra la modulante e la portante, in questo caso un prodotto, genera la modulazione di Ampiezza in cui l'onda con frequenza più bassa (modulante) amplifica e riduce, secondo il proprio andamento, l'ampiezza di quella con frequenza più alta (portante).

Combinazione fra di loro di 2 segnali a frequenze diverse da cui si ottengono altre frequenze, diverse, ma variamente correlate con quelle di partenza .

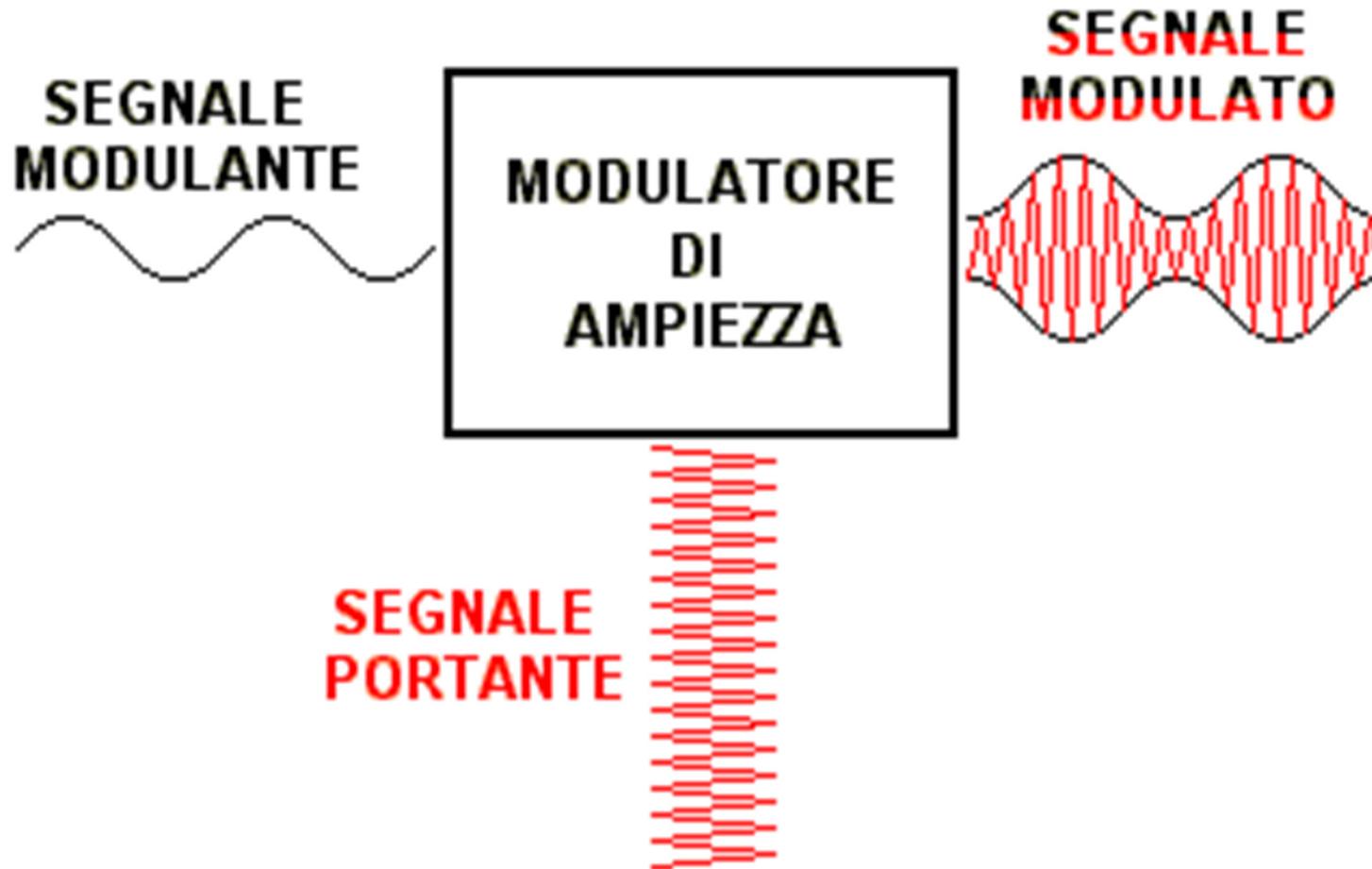


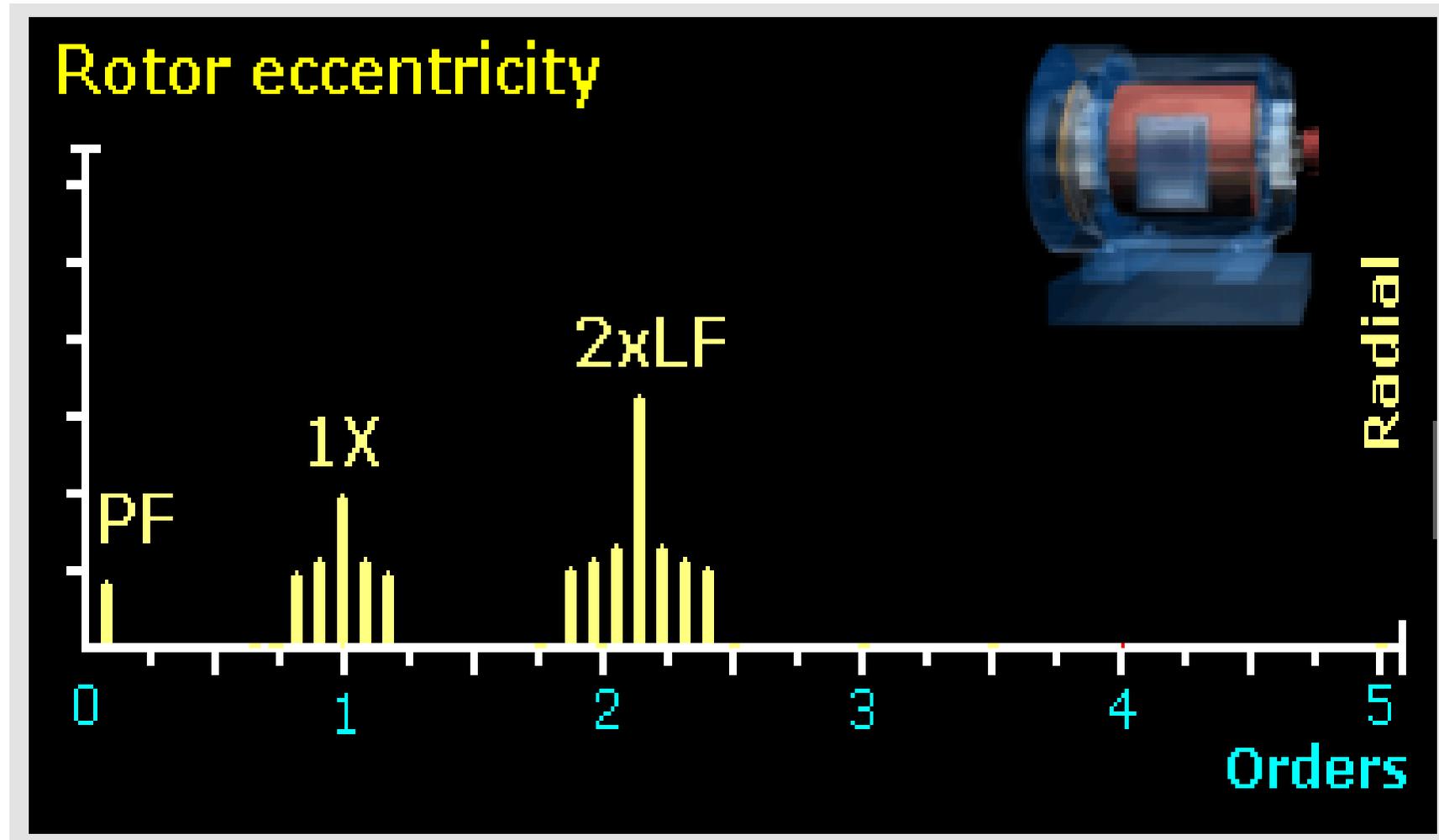
Si manifesta come:

- **Modulazione di Ampiezza**
(fig. accanto)
- **Modulazione d'Angolo, di Frequenza o di Fase.**
(vedi avanti)



Modulazione di ampiezza



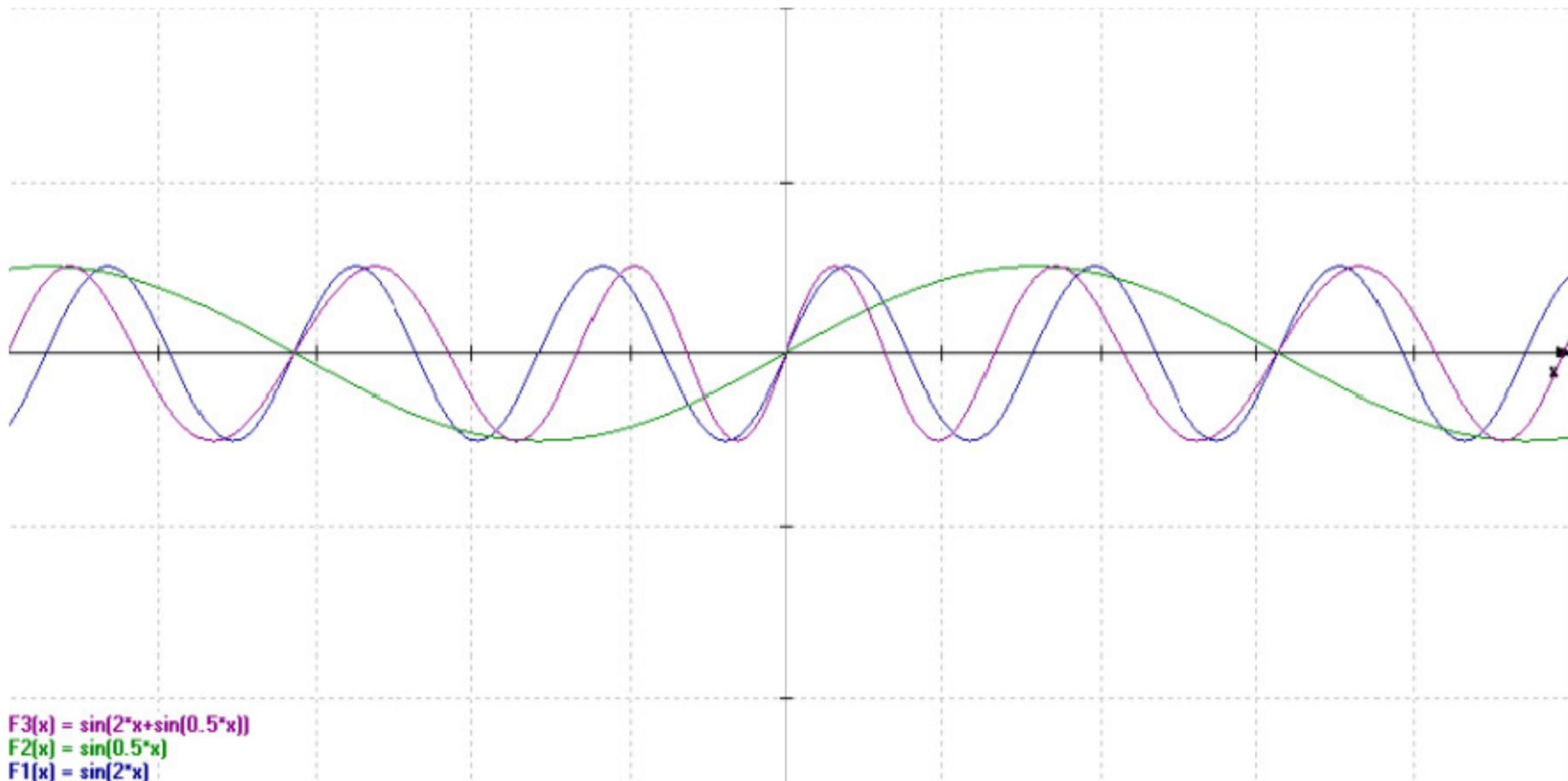


Quando si passa alla fase di diagnosi e quindi da forma d'onda (dominio del tempo) a spettro in frequenza, i due segnali protagonisti della modulazione d'ampiezza, in cui quello a frequenza minore (Modulante) modula in ampiezza quello a frequenza superiore (Portante), **generano, oltre ai due picchi corrispondenti alle frequenze delle singole forme d'onda, anche due picchi o "Bande laterali" di intensità inferiore alla portante e con frequenza pari alla somma ed alla differenza tra le frequenze della portante e della modulante.** In alcuni casi, come quelli presentati nella slide, le bande laterali non sono semplicemente 2 picchi ma una serie di picchi con frequenza pari alla somma ed alla differenza tra la portante ed 1 volta , 2 volte, 3 volte, ... la modulante.

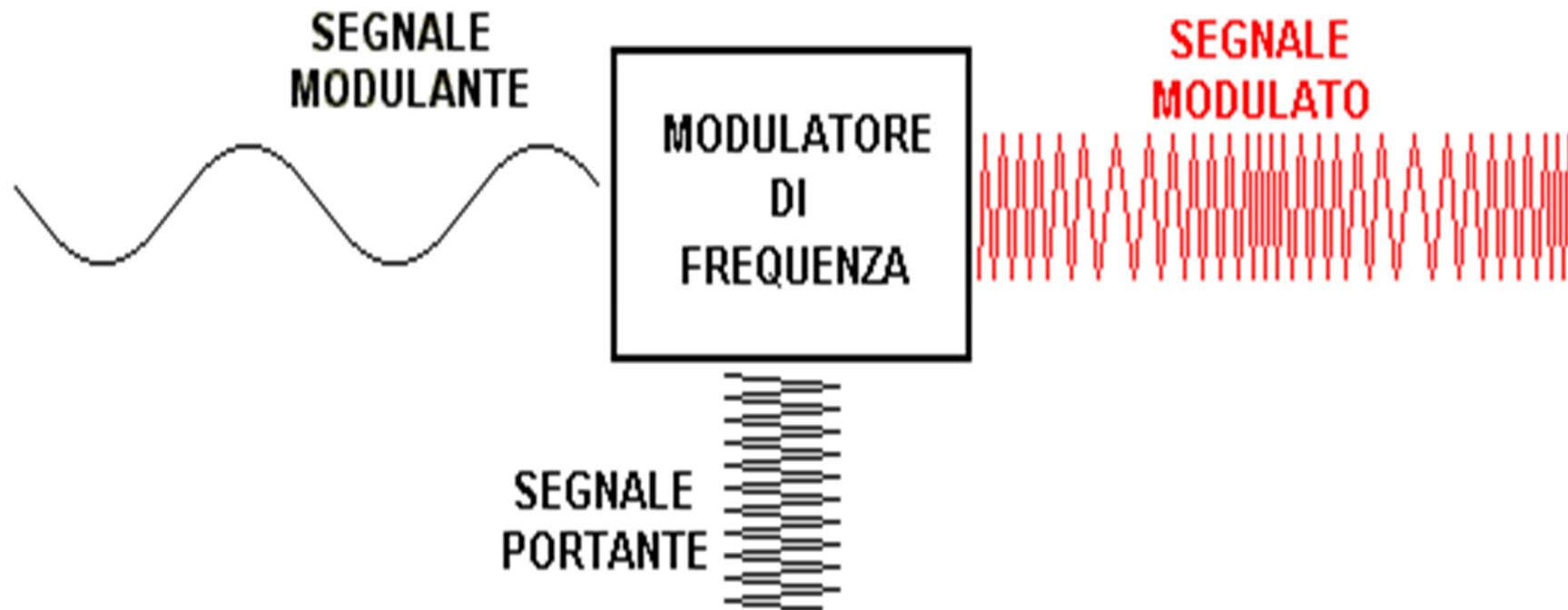
Il fenomeno della **modulazione** si riscontra ad esempio sui motori elettrici quando insorgono guasti sul rotore, sugli ingranaggi e sui cuscinetti.

Modulazione d'angolo equivale a :

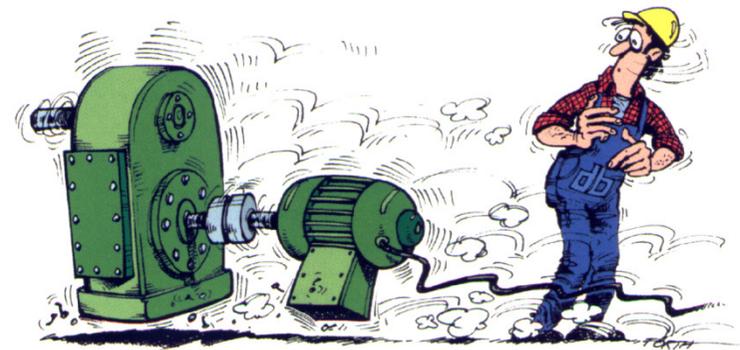
- ▶ Modulazione di Frequenza
- ▶ Modulazione di Fase



Modulazione di angolo



Battimento



Il Battimento è un fenomeno molto comune, soprattutto nel campo acustico, e si verifica quando 2 frequenze, abbastanza vicine tra di loro, si sviluppano all'interno di un **«mezzo» dotato di risposta lineare**.

Avviene che le semionde positive e negative delle 2 onde, che hanno, ripetiamo, le rispettive frequenze abbastanza vicine, si sommano e si sottraggono nel tempo con una frequenza pari alla differenza delle 2 frequenze originali.

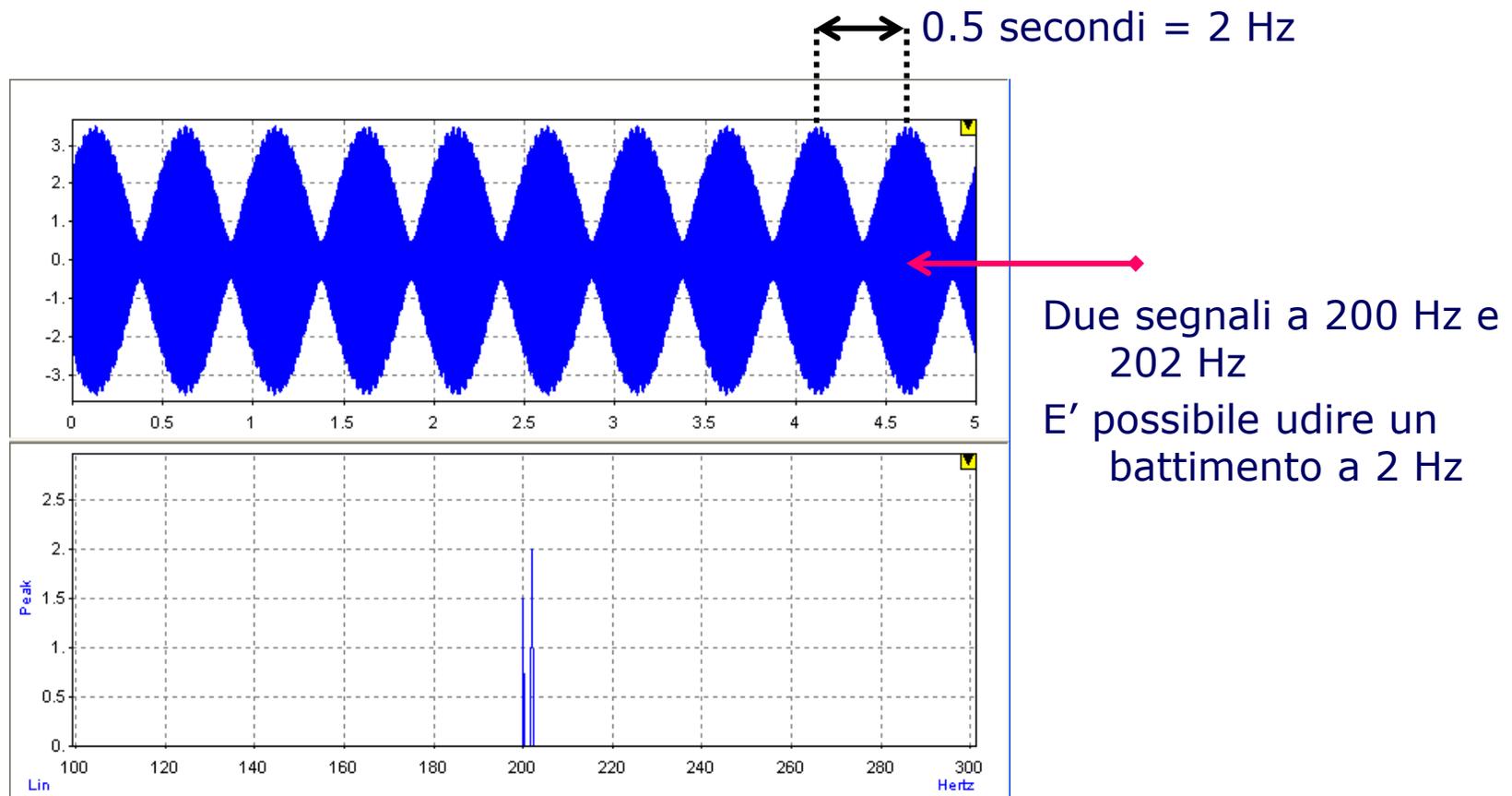
Se le intensità delle due onde vibrazionali è identica si arriva al raddoppio ed all'azzeramento della stessa, con la frequenza corrispondente alla differenza delle 2 originali, altrimenti si ha semplicemente la somma e la differenza delle intensità.

La slide seguente chiarisce i concetti esposti,

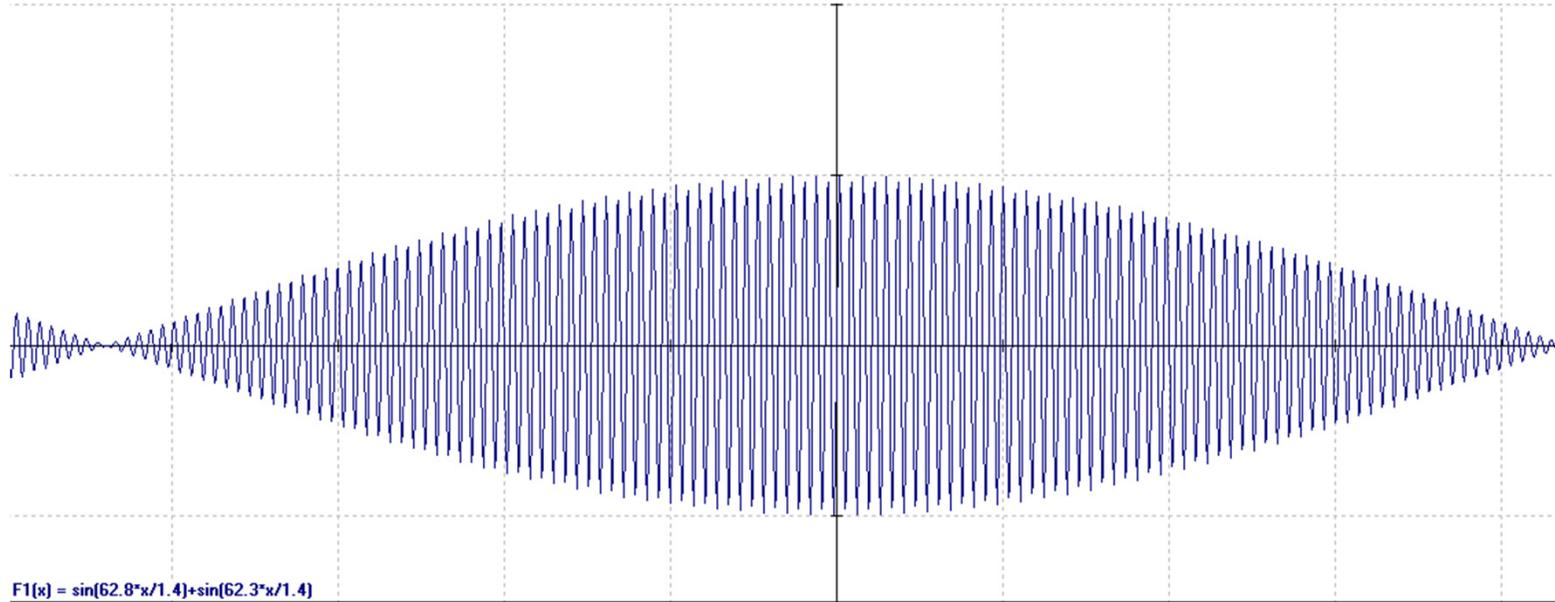
“Battimento”

Due segnali con frequenza molto vicina

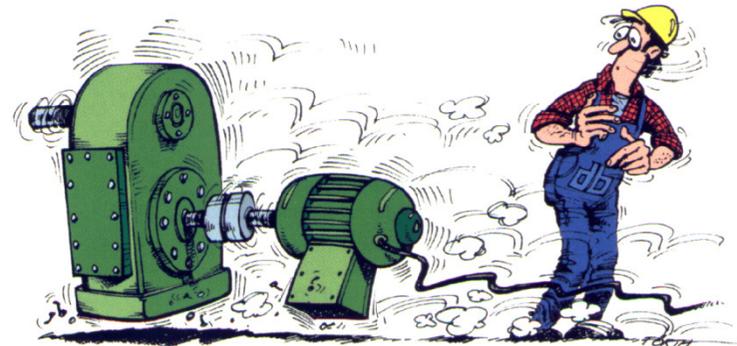
I segnali si sommano e si sottraggono con una frequenza pari alla differenza delle frequenze originali.



Battimento



Analisi della forma d'onda



Quando utilizzare la forma d'onda

La forma d'onda può essere utilizzata in maniera efficace per accrescere le informazioni fornite dallo spettro nei seguenti casi:

- applicazioni a bassa velocità (meno di 100 RPM);
- indicazione dell'ampiezza reale della vibrazione in presenza di impatti, come nel caso della valutazione della severità del difetto in un cuscinetto ad elementi volventi;
- riduttori;
- macchine con cuscinetti a strisciamento con proximity probes (analisi orbitale);
- allentamento;
- strisciamenti;
- battimenti.

Quando non utilizzare la forma d'onda

L'analisi della forma d'onda può essere applicata a qualunque problema di vibrazione. In alcune situazioni i dati spettrali e di fase forniscono una migliore indicazione sulla causa del problema senza la complessità dell'analisi temporale. Esempi:

- squilibrio su macchine con velocità normale;
- disallineamento su macchine con velocità normale.

Setup per l'acquisizione della forma d'onda

La chiave per un'analisi di successo della forma d'onda risiede nel setup dello strumento.

Quando si imposta il setup sullo strumento devono essere considerati i seguenti punti:

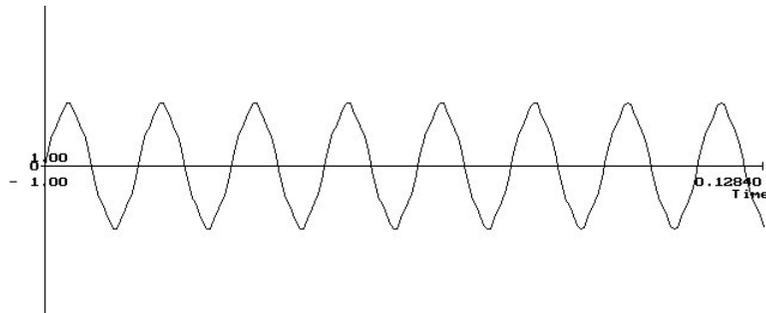
- grandezza di misura (spostamento, velocità, accelerazione);
- tempo di campionamento (T)
- F_{\max} ;
- N. di campioni.

Grandezza di misura (spostamento, velocità, accelerazione)

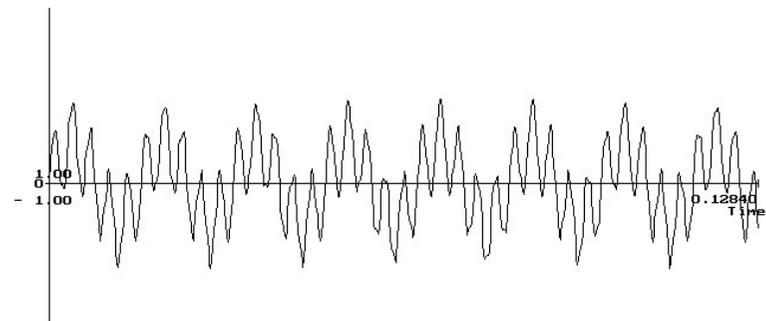
L'unità di misura per l'ampiezza deve essere scelta sulla base delle frequenze d'interesse.

La figura seguente illustra come la selezione dell'unità di misura influenzi i dati visualizzati.

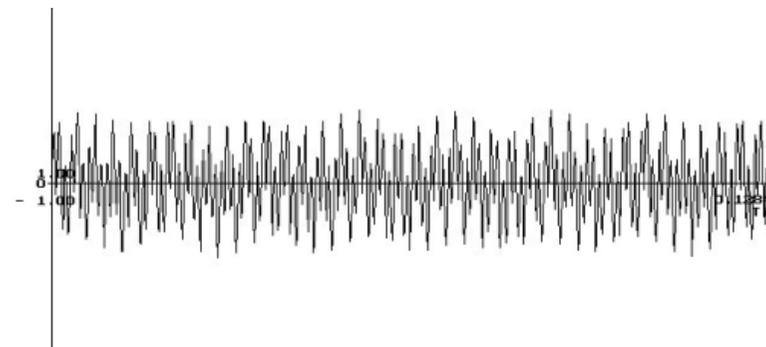
Ciascuna forma d'onda contiene 3 distinte componenti in frequenza di 60Hz, 300Hz, and 950 Hz.



Questi dati sono stati acquisiti utilizzando lo spostamento. Notare come la componente a 60 Hz risulti accentuata.



Gli stessi dati sono ora visualizzati in velocità. Notare come la componente a 300 Hz è più evidente.



Gli stessi dati sono ora visualizzati in accelerazione. Notare come la componente a bassa frequenza ed elevata ampiezza risulta attenuata, mentre la componente ad alta frequenza risulta amplificata.

Tempo di campionamento

Per la maggior parte delle analisi lo strumento dovrebbe essere settato in modo tale da visualizzare **6-10 rotazioni dell'albero**. Il tempo totale di campionamento desiderato può essere calcolato con la formula seguente:

$$T[s] = \frac{60 \cdot N. di rotazioni}{RPM}$$

La tabella seguente illustra comuni tempi di campionamento in s, in funzione degli RPM della macchina:

Machine RPM	Time period for 6 revolutions (secs.)	Time period for 10 revolutions (secs.)
3600	0.1	0.167
1800	0.2	0.333
1200	0.3	0.5
900	0.4	0.667
300	1.2	2.0
100	3.6	6.0

Alcuni strumenti non permettono l'impostazione del tempo di acquisizione quando si acquisisce la forma d'onda.

F_{max} e N° di campioni

F_{max}

Con alcuni strumenti è necessario impostare una F_{max} equivalente. La F_{max} equivalente può essere calcolata con la seguente formula.

$$F_{max}[CPM] = \frac{LOR}{T} = \frac{LOR \cdot RPM}{\# \text{ di rotazioni}}$$

La tabella seguente illustra l'impostazione della F_{max} per 1600 linee di risoluzione in funzione degli RPM della macchina.

Machine RPM	F _{MAX} for 6 revolutions	F _{MAX} for 10 revolutions
3600	960kCPM	576kCPM
1800	480kCPM	288kCPM
1200	320kCPM	192kCPM
900	240kCPM	144kCPM
300	80kCPM	48kCPM
100	26kCPM	16kCPM

N. di campioni

Per l'analisi della forma d'onda è consigliabile utilizzare **1600 LOR** (4096 campioni). Questo assicura che i dati acquisiti abbiano sufficiente accuratezza e che gli eventi chiave vengano catturati.

Se utilizziamo gli Hz come unità di misura, al posto dei CPM, le equazioni precedenti diventano:

$$T[s] = \frac{N^\circ \text{ di rotazioni}}{\text{velocità in Hz}}$$

$$F_{\max} = \frac{LOR}{T} = \frac{LOR \cdot \text{vel in Hz}}{N^\circ \text{ di rotazioni}}$$

Una buona pratica è quella di utilizzare almeno 10 campionamenti per l'evento che vogliamo esaminare nel contesto del segnale vibrazionale.

F_{\max} e N° di campioni

Se ad esempio ci interessa esaminare la frequenza di ingranamento (mesh) di una ruota dentata, frequenza che, come noto, è data dal prodotto della frequenza di rotazione per il numero di denti della ruota, procediamo così:

Freq. di rotazione : 30 Hz

N° di denti : 45

Freq. di mesh : $30 \times 45 = 1350$ Hz

Freq. di campionamento : $1350 \times 10 = 13500$ Hz

F_{\max} : $13500 / 2,56 = 5273$ Hz

In pratica, siccome $10 / 2,56 \approx 4$, impostiamo la

$F_{\max} = 4 \times F_{\text{che interessa}} = 4 \times 1350 = 5400$ Hz scegliendo sullo strumento una $F_{\max} \geq$ a quella calcolata.

Info Setup Comuni

Classe Setup: Forma d'onda:

Quantità:

Filtro HP/TP : - Hz

Tempo di : [ms] Forma d'onda F max : [Hz]

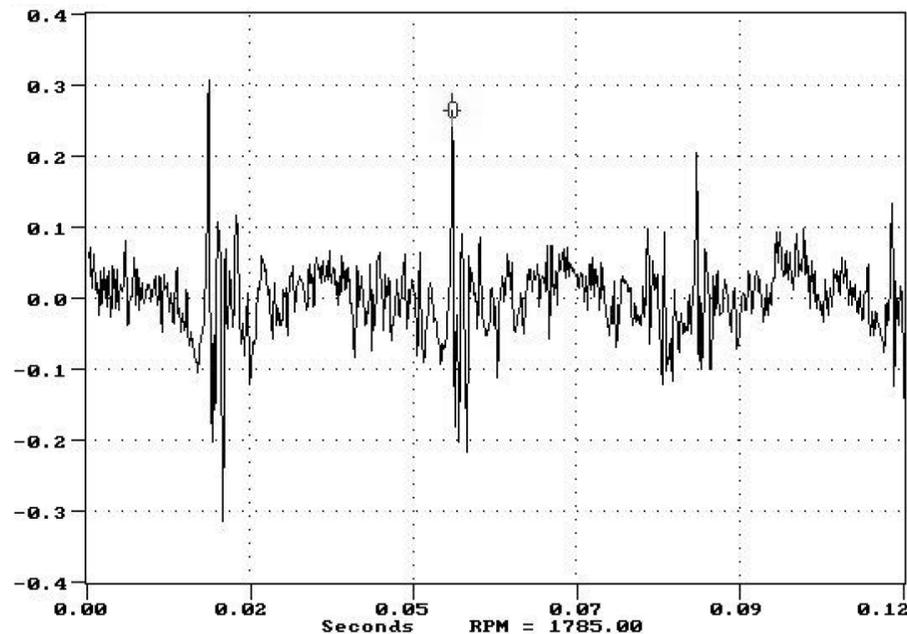
Campioni :

Freq. di camp. :

Modalità RPM:

Range Mis. :

Nella maggior parte delle situazioni le forme d'onda si utilizzano al meglio applicando la tecnica del riconoscimento degli schemi e, se necessario, calcolando le componenti in frequenza dei principali eventi vibratori.



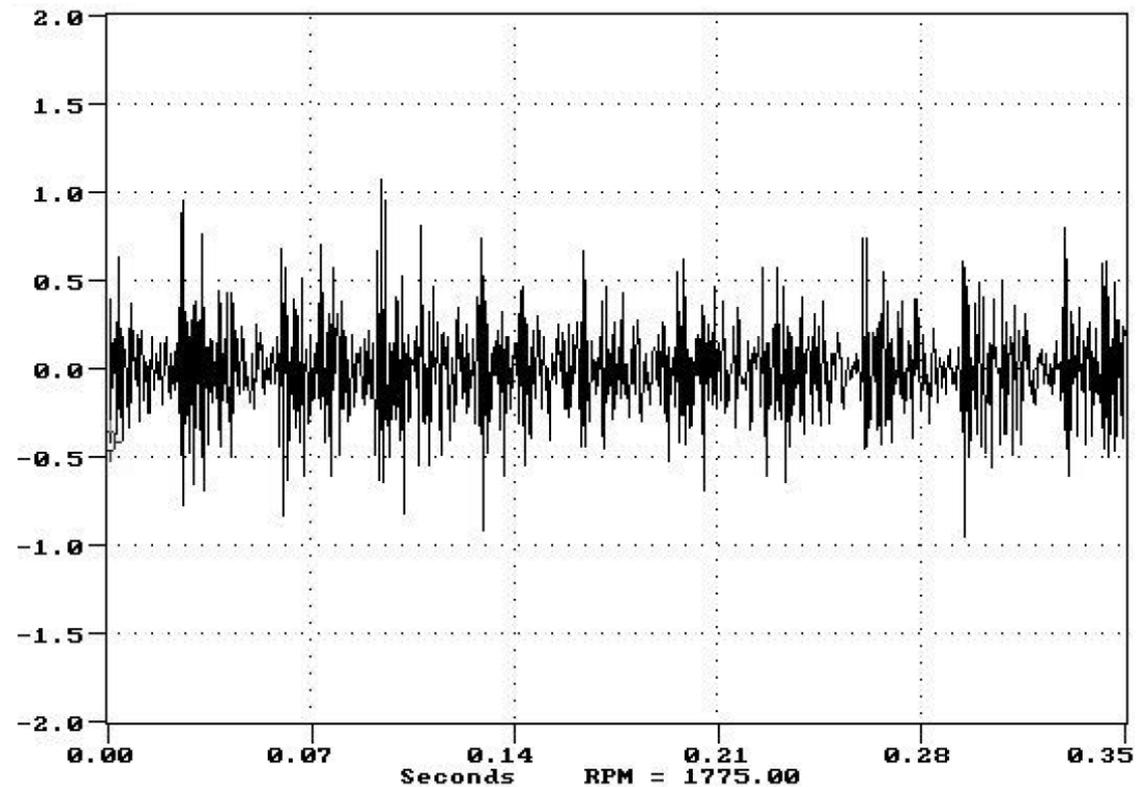
La forma d'onda è stata acquisita su una pompa da 1785 RPM. L'intervallo di tempo fra gli impatti è 0.0337 s. Quindi, la relativa frequenza è:

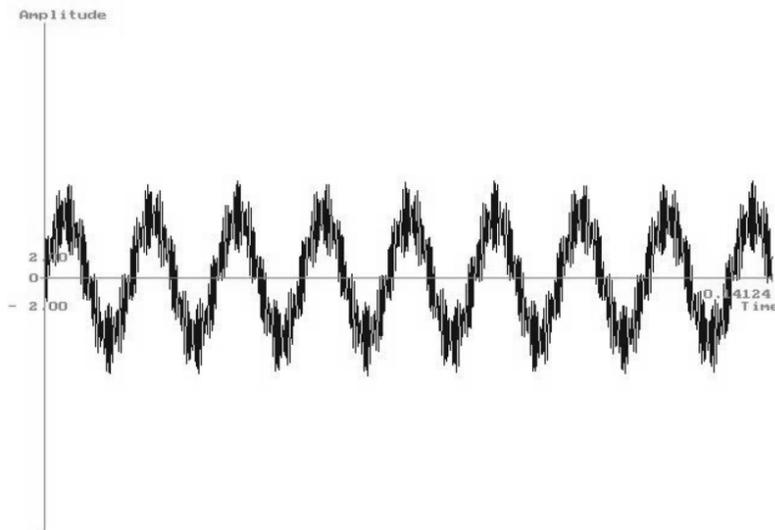
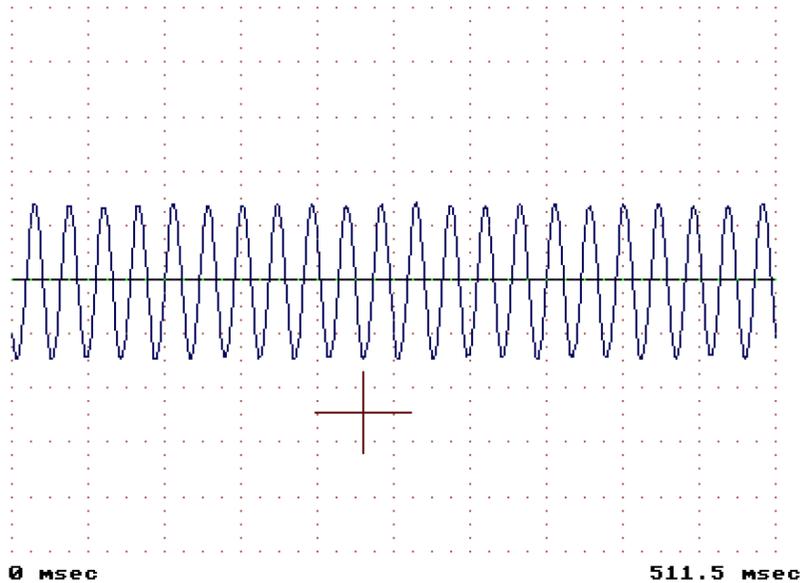
$$f = 1/p = 1 / 0.0337 = 29.67 \text{ Hz} = 1780 \text{ CPM}$$

Questo indica che gli impatti si stanno verificando a 1 x RPM.

Interpretazione della forma d'onda

Nella maggior parte delle situazioni l'aspetto della forma d'onda è molto complesso e quindi la determinazione delle componenti in frequenza utilizzando questo metodo risulta estremamente difficile, e quindi non raccomandabile.

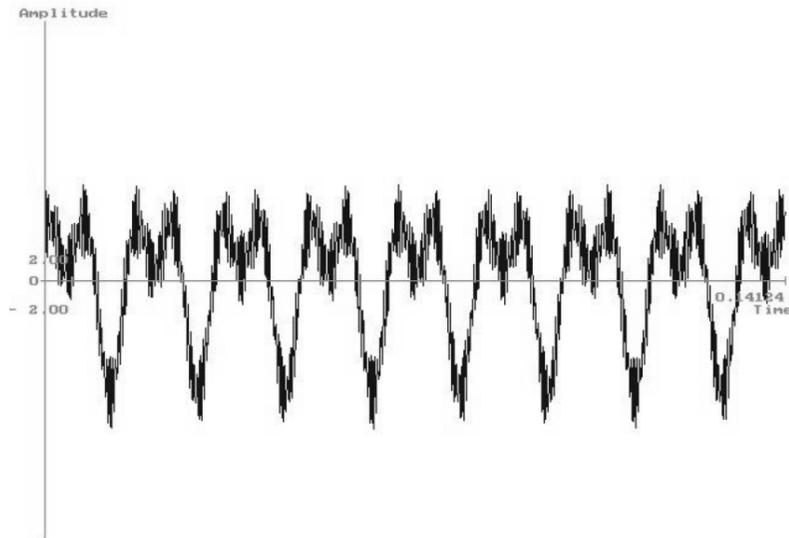




Sbilanciamento

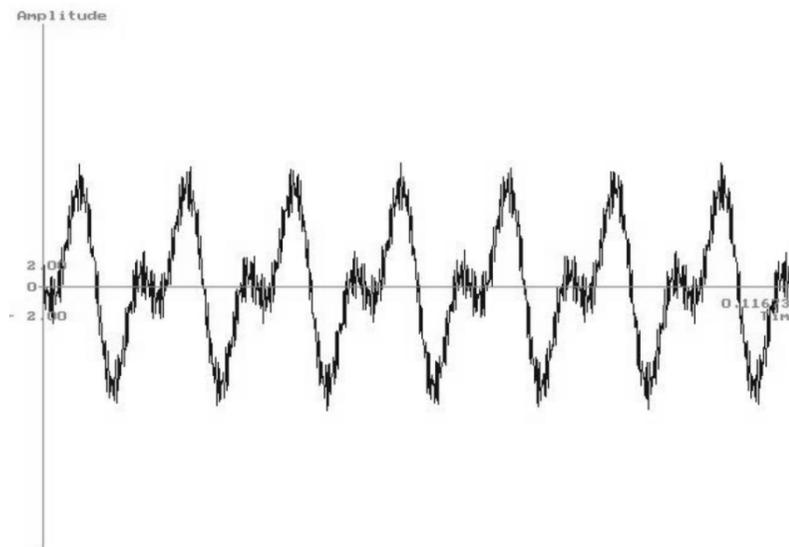
La classica forma d'onda sinusoidale è raramente visualizzata in accelerazione, in quanto l'accelerazione enfatizza le componenti a più alta frequenza, che sono quasi sempre presenti nel segnale di vibrazione, e attenua le componenti a più bassa frequenza.

Questa forma d'onda è più rappresentativa della vibrazione sinusoidale quando visualizzata in accelerazione. Notare le componenti ad alta frequenza sovrapposte alla componente a bassa frequenza.



Disallineamento

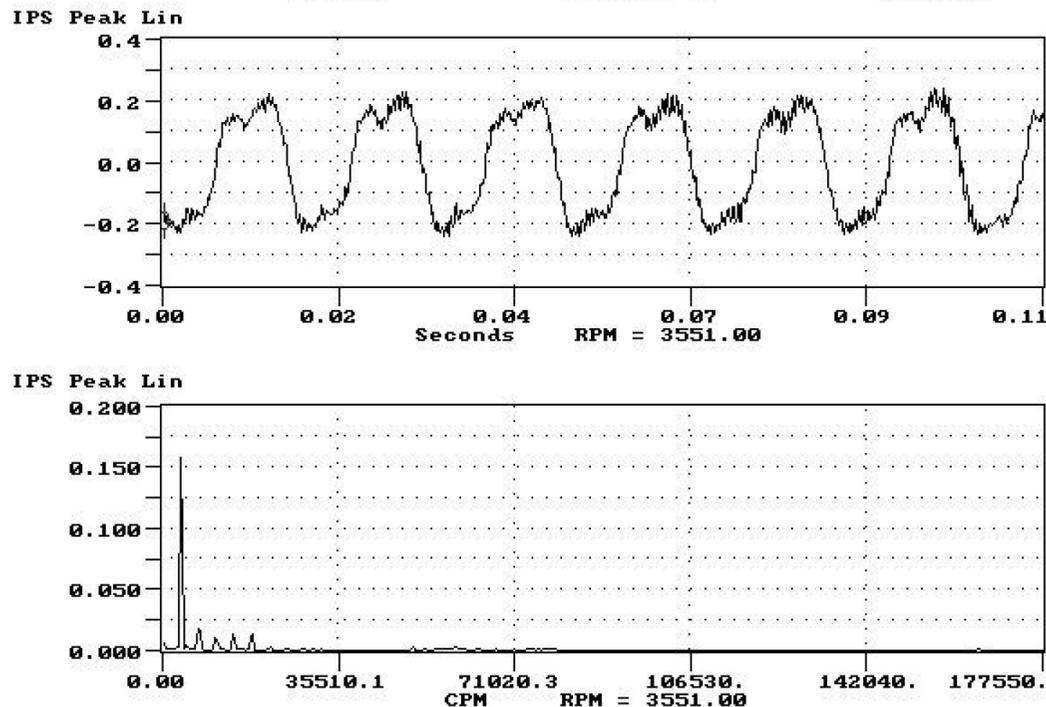
Nonostante i classici sintomi del disallineamento nella forma d'onda siano le configurazioni a M e W, questi sintomi non sono del tutto affidabili. La fase relativa tra le componenti 1X e la 2X determina la configurazione finale della forma d'onda.



La figura precedente illustra la classica forma d'onda in caso di disallineamento. Nella figura accanto la fase relativa tra la 1X e la 2X è stata variata di 90° e questo ha come risultato un differente andamento della forma d'onda.

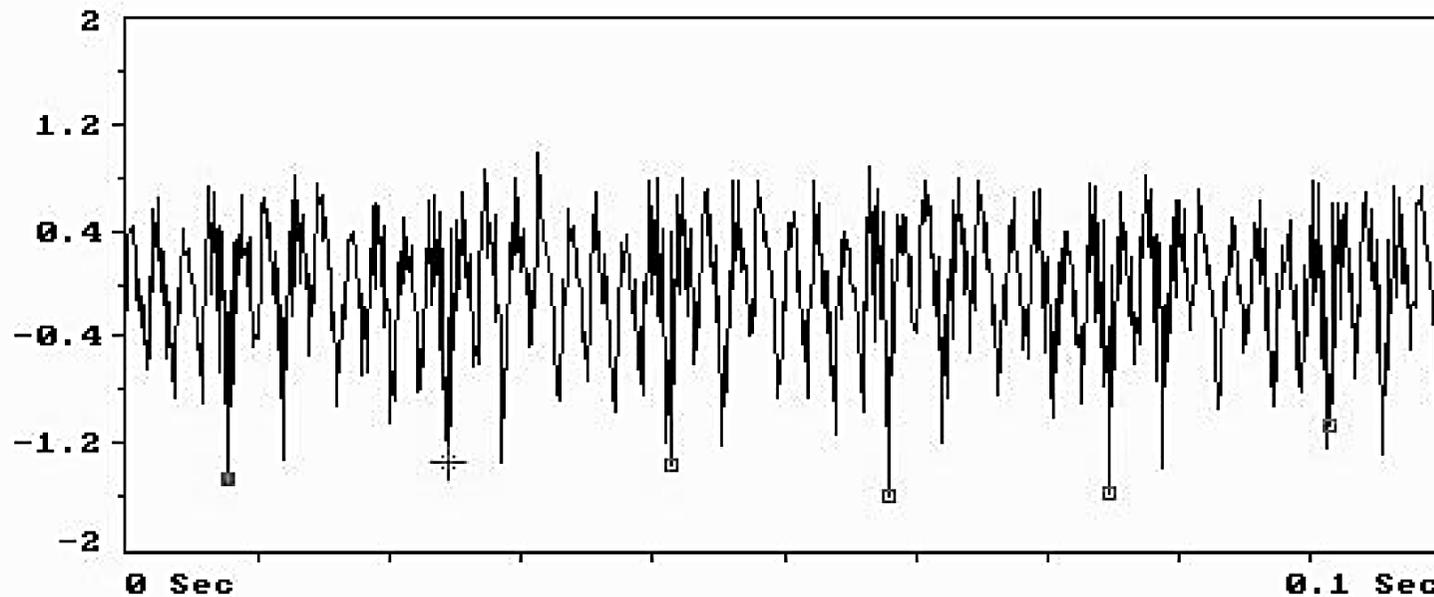
Simmetria dell'ampiezza

Quando si osserva una forma d'onda è importante verificarne la simmetria rispetto all'asse y. Dati simmetrici indicano che il movimento della macchina è uguale su ciascun lato della posizione centrale. Una forma d'onda non simmetrica indica che il movimento è forzato in una direzione, probabilmente a causa di disallineamento o strisciamento.



Questa forma d'onda è simmetrica sopra e sotto la linea dello zero.

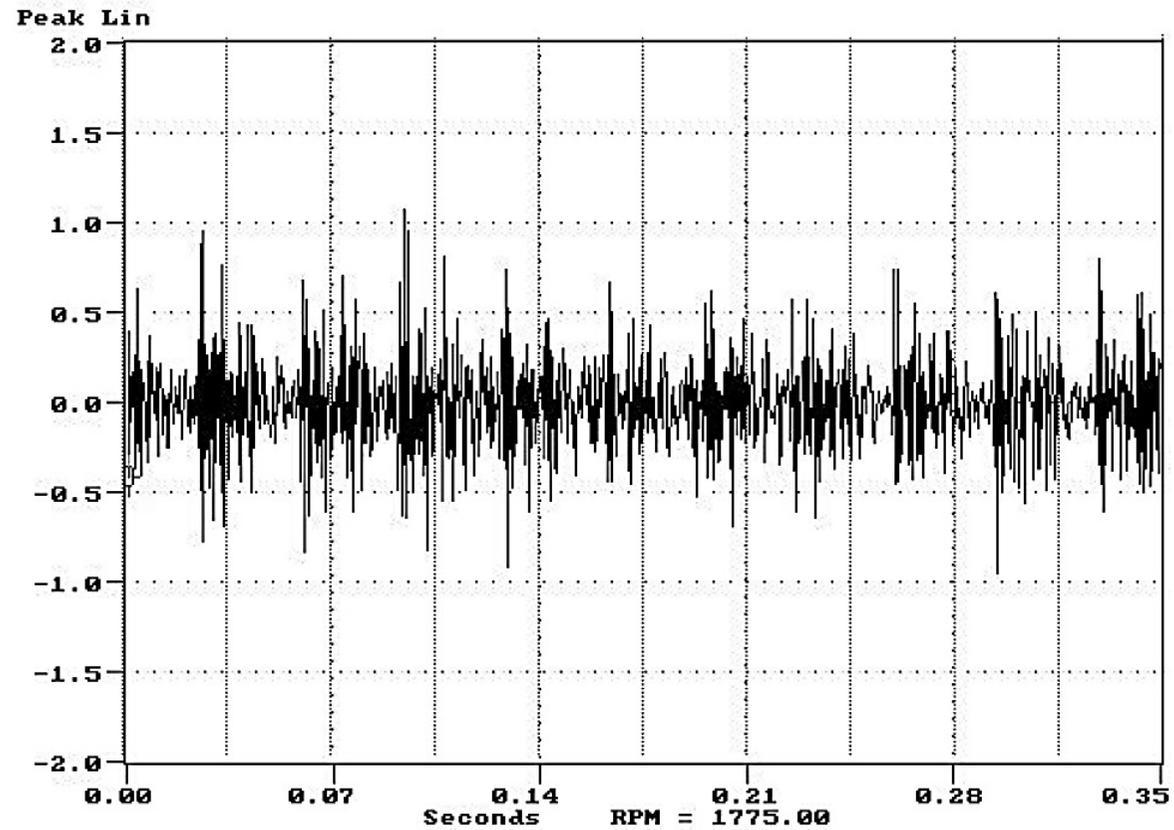
La seguente forma d'onda non è simmetrica sopra e sotto la linea dello zero. Le ampiezze al di sotto di tale linea sono significativamente più alte di quelle al di sopra della linea. In questo caso, la causa era una condizione di disallineamento. I marcatori sul grafico indicano la 1 x RPM.



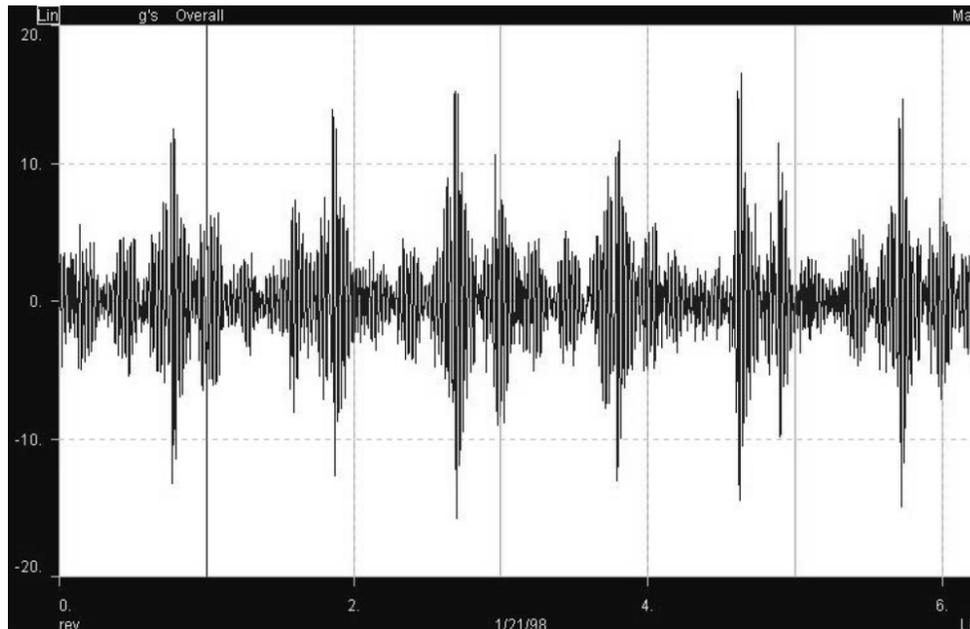
Si nota che la forma d'onda, anche se complessa, è ripetitiva con frequenza 1 x RPM. Questo indica che la vibrazione è sincrona con la frequenza di rotazione.

Simmetria sull'asse del tempo

La forma d'onda seguente indica uno schema non ripetitivo, caratteristico di una vibrazione non sincrona.

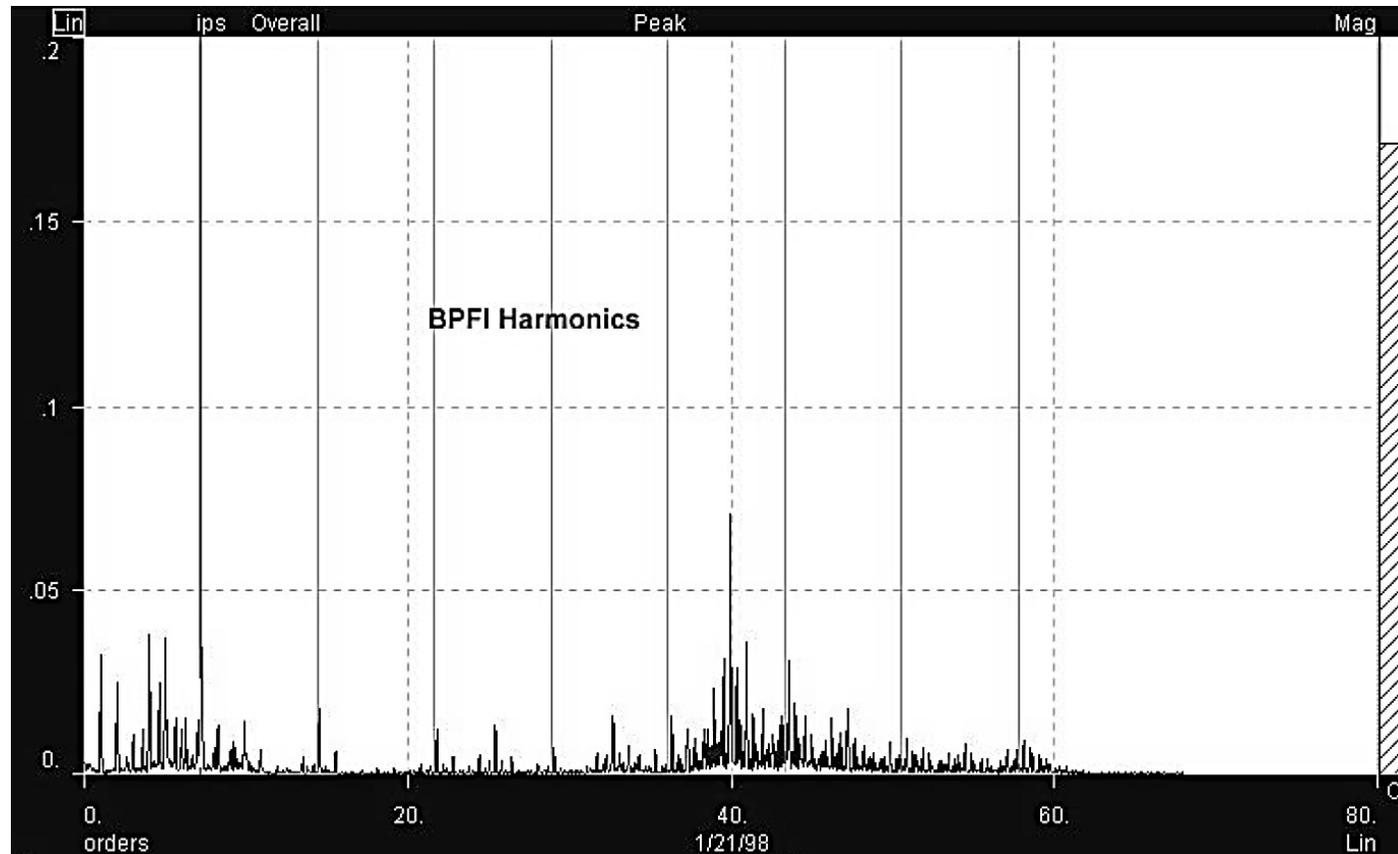


Ad un primo sguardo questa forma d'onda sembra presentare degli impatti intervallati in modo regolare.



(15g pk @BPMI = 2.13 ips)

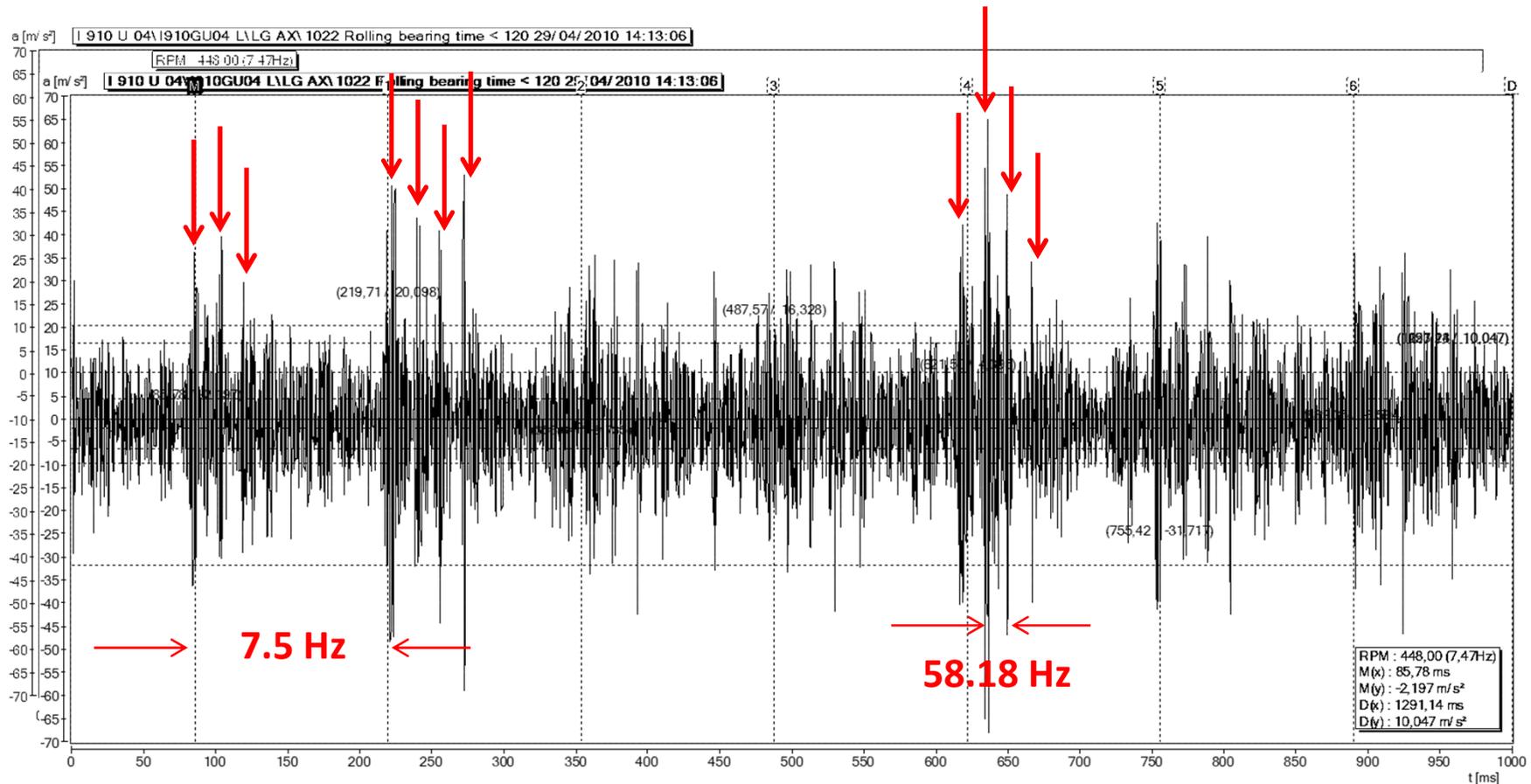
Utilizzando i marcatori alla frequenza 1 x RPM gli impatti maggiori avvengono approssimativamente nella stessa parte della rotazione. Tuttavia, un'osservazione più attenta rivela che la frequenza degli impatti non è esattamente sincrona con la frequenza di rotazione. In questo caso il problema era un grosso difetto sulla pista interna di un cuscinetto. La variazione dell'ampiezza degli impatti è dovuta al fatto che il difetto entra ed esce dalla zona di carico.



Questo è lo spettro FFT acquisito dalla macchina di cui sopra. Notare l'ampiezza alla **BPFI @ 0.05 ips!**

Caso pratico 1: difetto pista interna

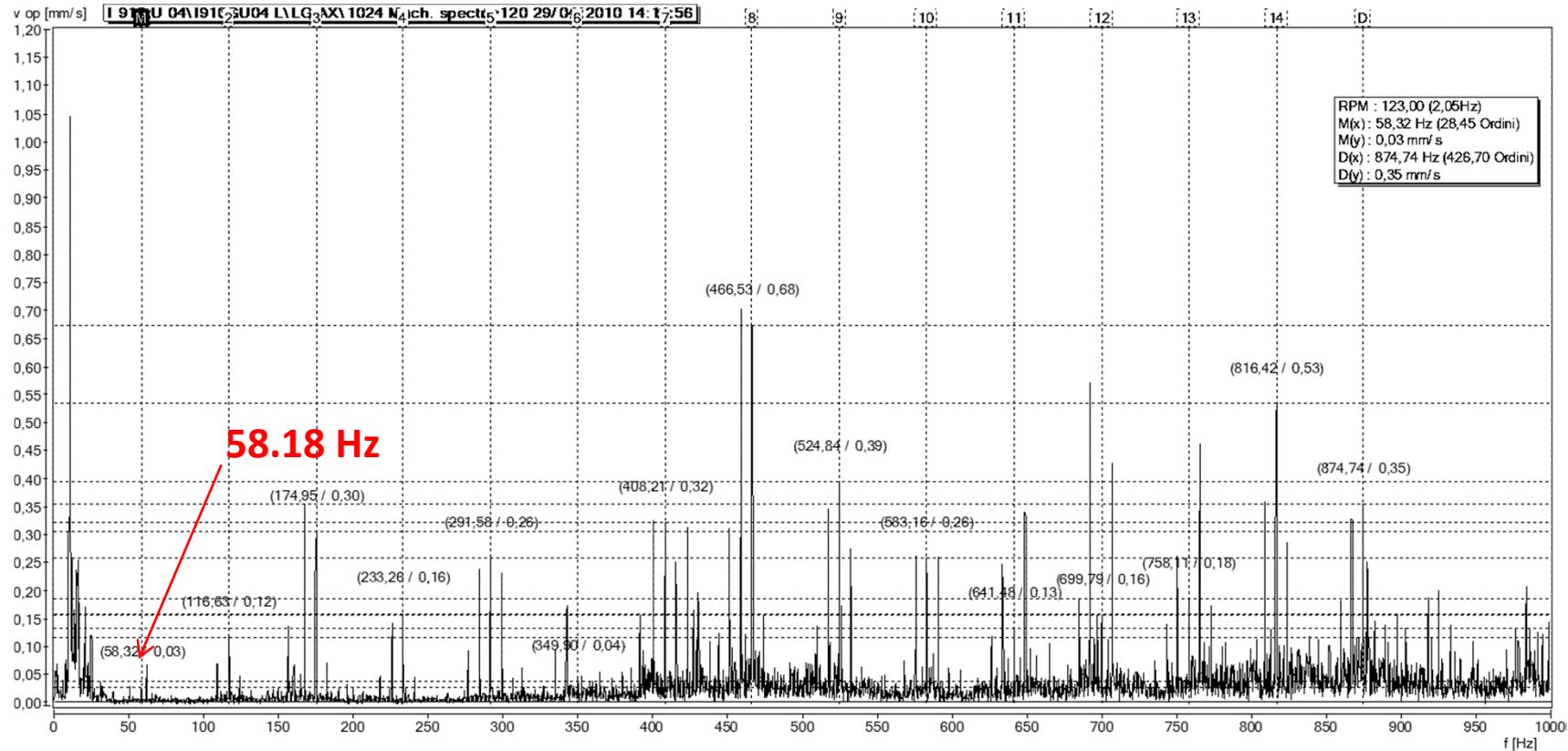
Cuscinetto SKF 318 NJEC - Riduttore Flender SZNK 1320



Forma d'onda 10-1000 Hz – 12800 campioni

Caso pratico 1: difetto pista interna

Cuscinetto SKF 318 NJEC - Riduttore Flender SZNK 1320



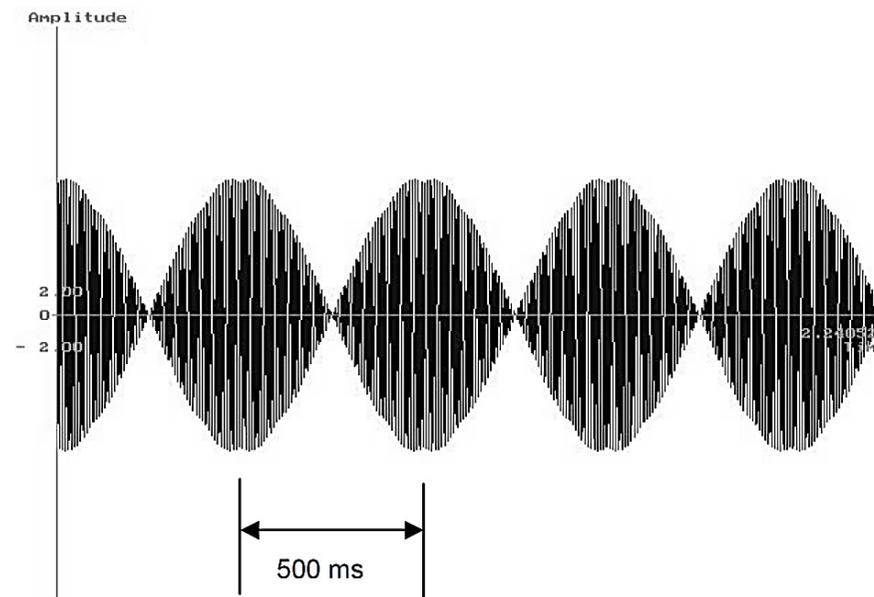
Spettro a bassa frequenza 10 - 1000 Hz

Si osservano le armoniche della 58.18 Hz con bande laterali alla frequenza di rotazione di 7.5 Hz.

Analisi della forma d'onda: battimenti e modulazione

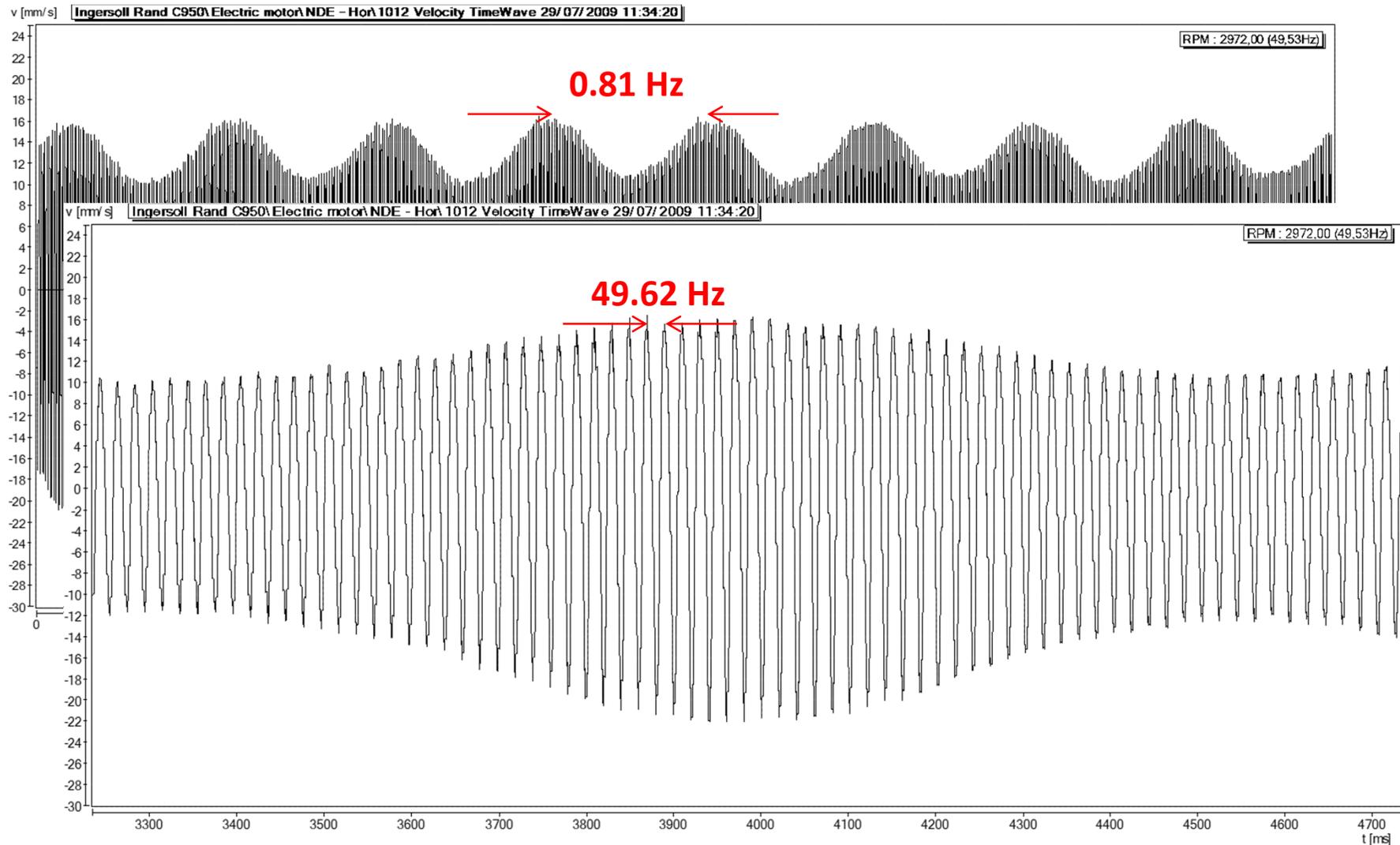
Battimenti ed effetti di modulazione

Un'altra eccellente applicazione per la forma d'onda è l'osservazione di frequenze di battimento e degli effetti di modulazione. Spesso questi fenomeni sono udibili. Il tempo di acquisizione dovrebbe essere impostato in modo tale da catturare 4-5 cicli del battimento.

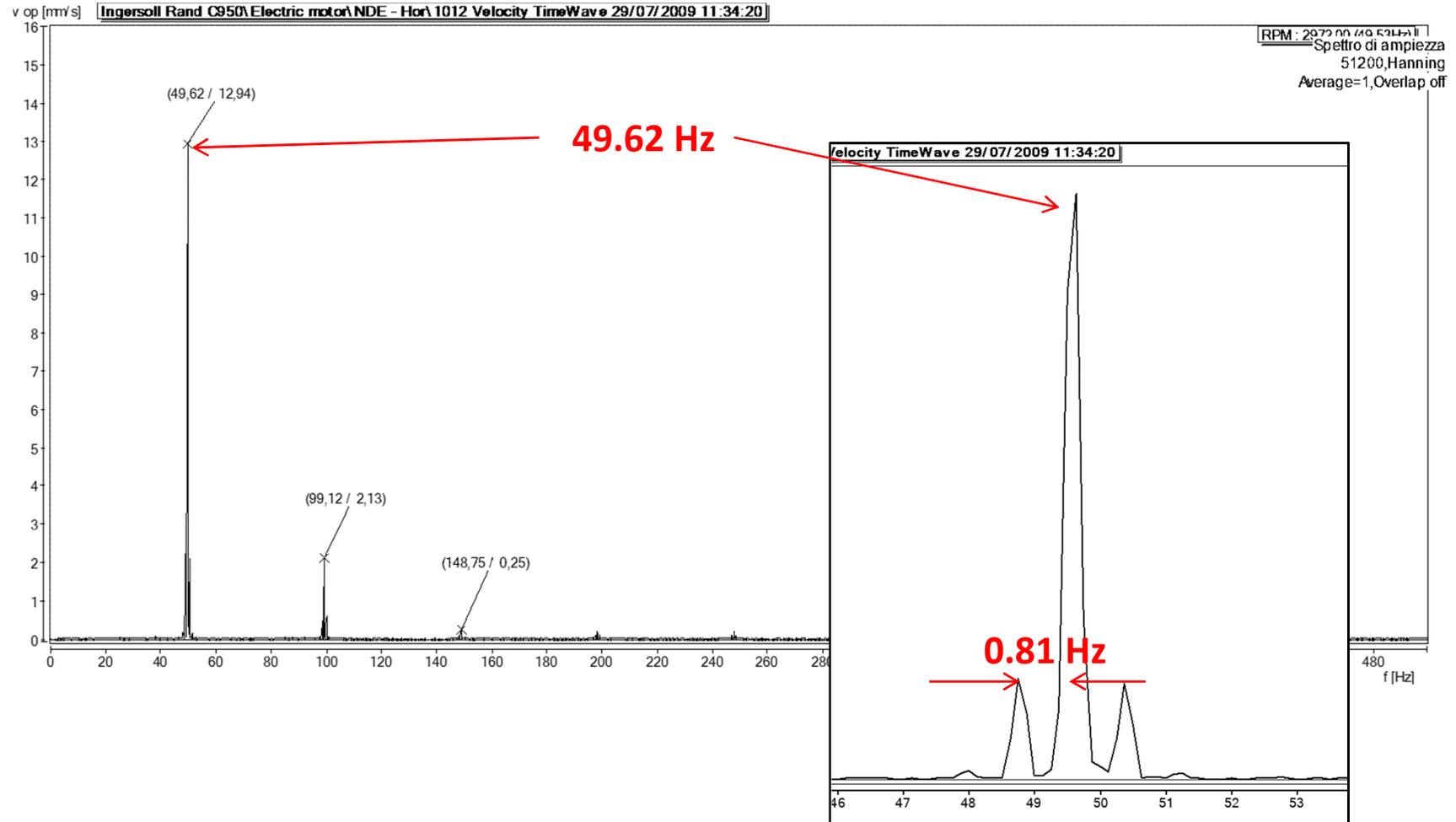


Il periodo del battimento della forma d'onda di figura è 0.5 s. La corrispondente frequenza risulta pari a 120 CPM. Questa rappresenta la differenza tra le frequenze delle due sorgenti che generano il fenomeno. In questo caso il battimento era generato dall'interazione tra la sorgente a 2 x RPM e quella a 2 x FL in un motore asincrono.

Caso pratico 3: modulazione

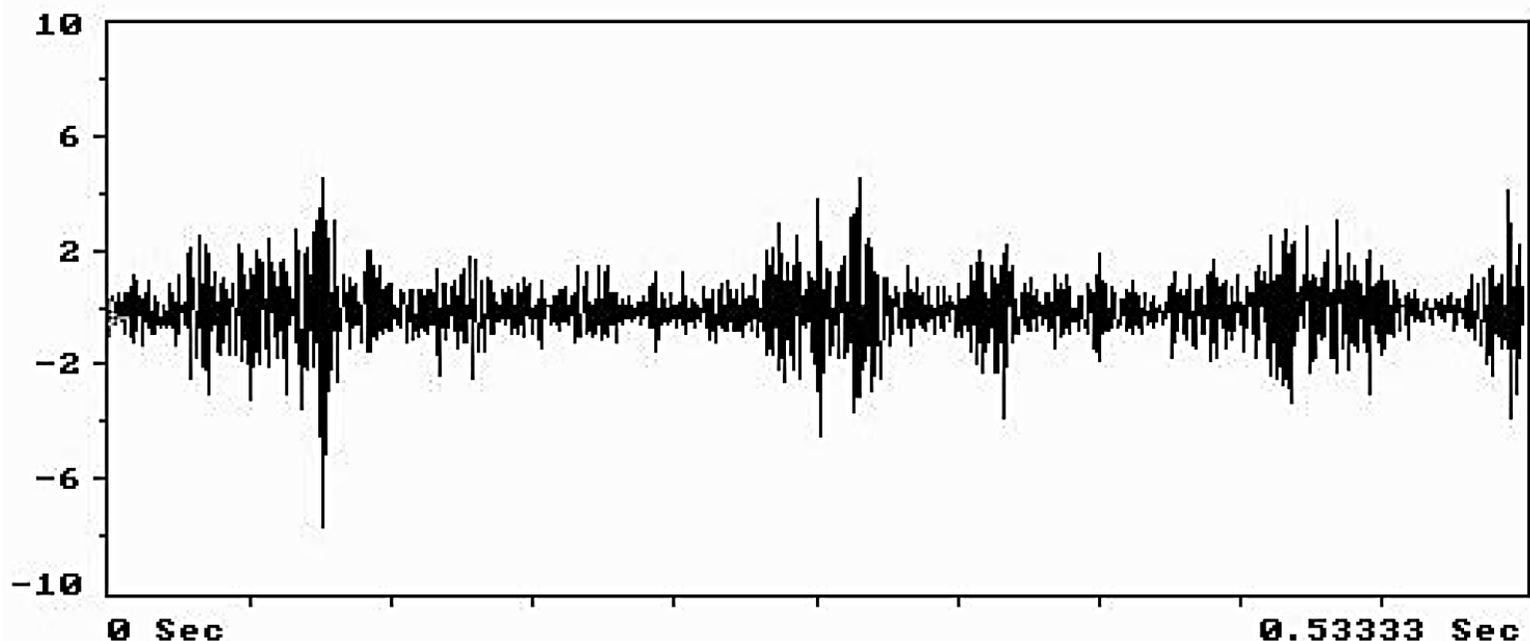


Caso pratico 3: modulazione

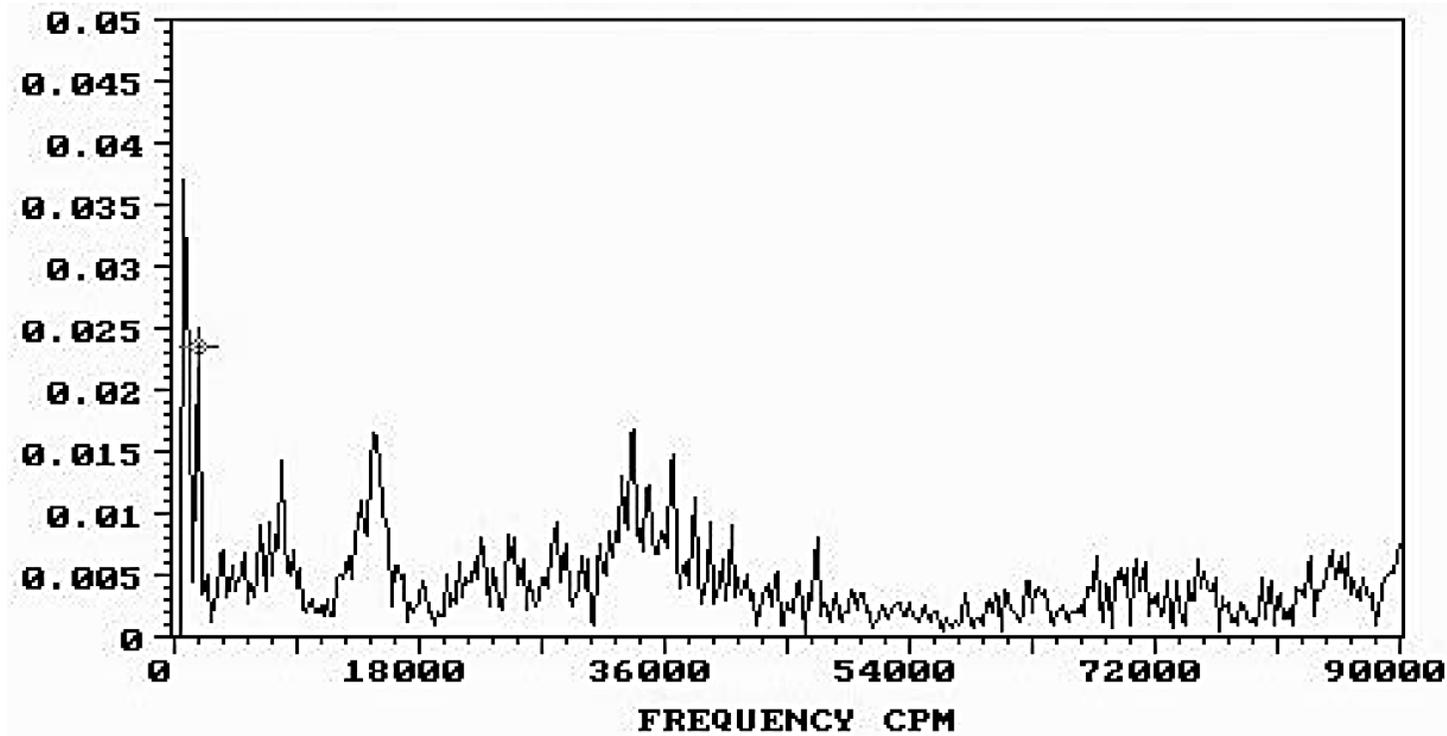


Impatti

Quando l'algoritmo FFT viene applicato ad un segnale che contiene impatti, l'ampiezza reale del segnale viene fortemente ridotta nello spettro risultante. La forma d'onda seguente è stata acquisita su una macchina con 1800 RPM. Mostra alcuni impatti casuali con ampiezza superiore a 6 g 0-pk. La causa di questo segnale era un cuscinetto ad elementi volventi pesantemente danneggiato. Nella forma d'onda sono presenti numerosi impatti seguiti da un transitorio.

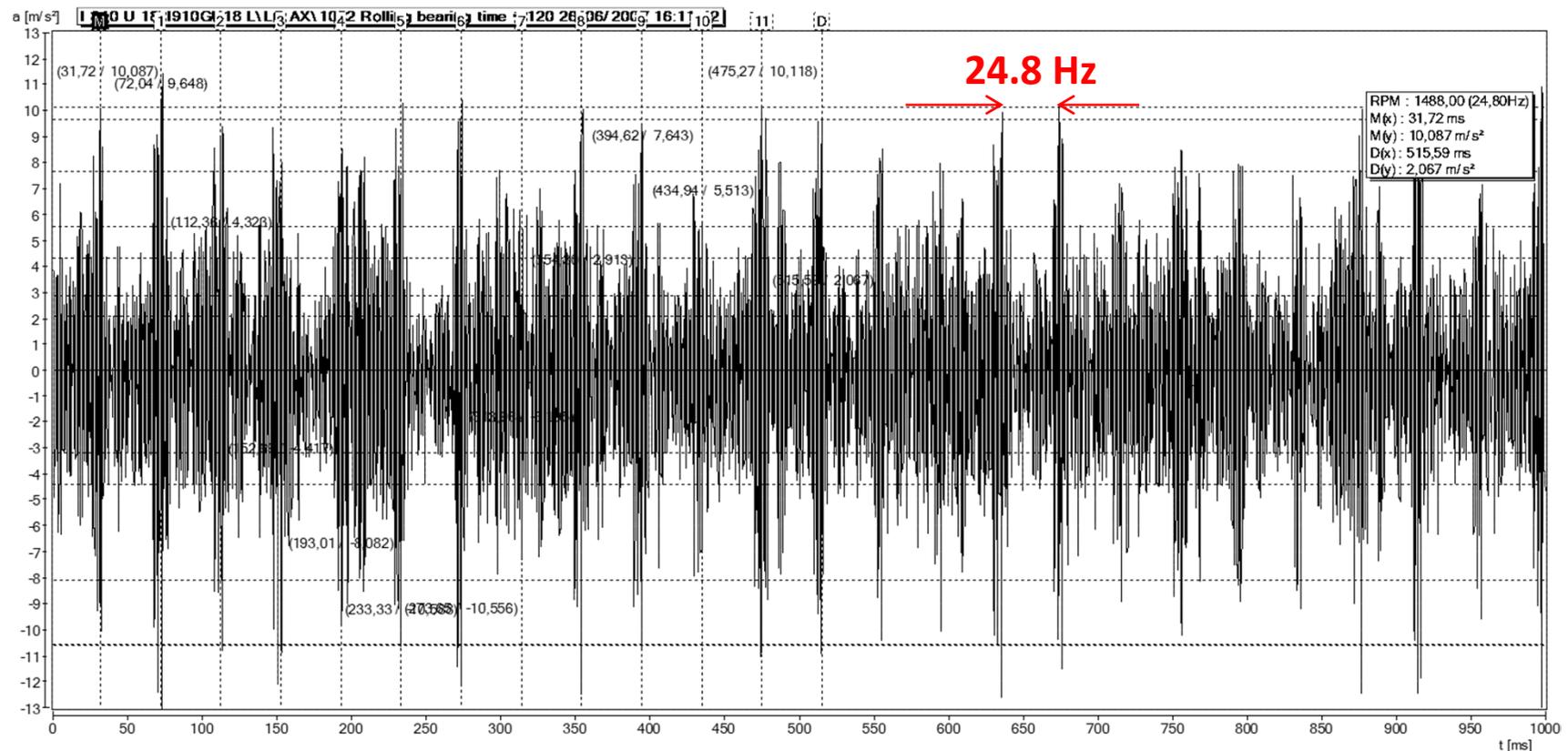


Lo spettro in velocity è stato acquisito sullo stesso cuscinetto. Da notare come l'ampiezza della vibrazione risulti inferiore a 0.04 ips!



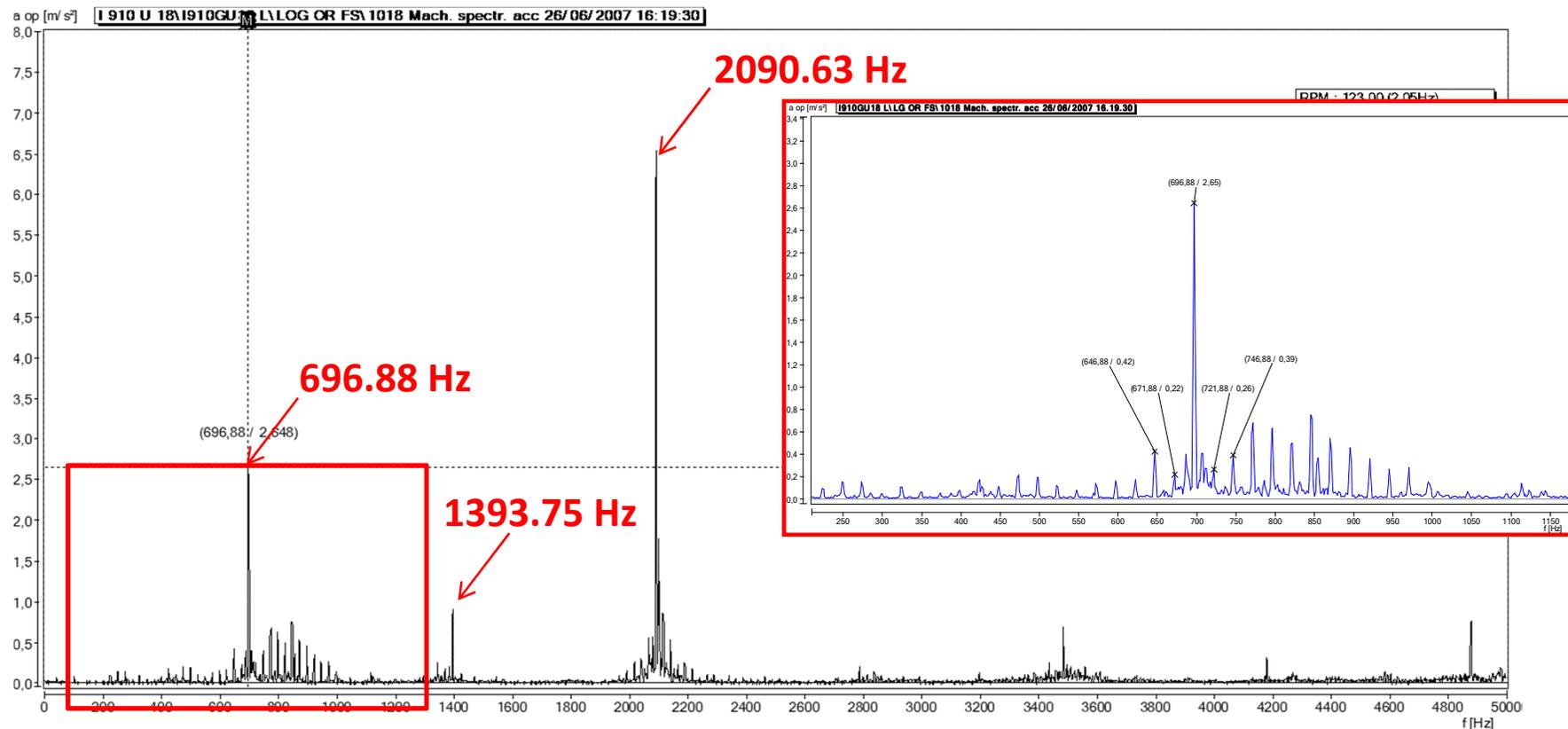
Molta attenzione va fatta quando si cerca di valutare la severità della vibrazione generata da impatti alla frequenza 1 x RPM utilizzando lo spettro.

Riduttore Flender SZNK 1320



Caso pratico 2: ingranaggio danneggiato

Riduttore Flender SZNK 1320



- **La forma d'onda è uno strumento d'analisi**, anche se non viene acquisita regolarmente durante i monitoraggi di routine.
- **Deve essere utilizzata per rafforzare le informazioni derivanti dall'analisi FFT nei seguenti casi:**
 - Applicazioni a bassa velocità (meno di 100 RPM);
 - Valutazione dell'ampiezza reale della vibrazione in situazioni in cui avvengono impatti durante il funzionamento (valutazione della severità dei difetti dei cuscinetti);
 - riduttori, macchine con cuscinetti a strisciamento, allentamento, strisciamenti, battimenti, impatti.
- **Utilizzare l'appropriata grandezza di misura:**
 - cuscinetti, riduttori, allentamento, strisciamento, impatti... **accelerazione**
 - cuscinetti a strisciamento... **spostamento**
- **Impostare il task di misura in modo da osservare 6 –10 rotazioni dell'albero.**
- **Studiare i seguenti sintomi:**
 - Ampiezza
 - Simmetria nell'asse dei tempi
 - Impatti (forma e ampiezza)
 - Simmetria dell'ampiezza
 - Battimenti/modulazione

L'uso della forma d'onda RAFFORZA non SOSTITUISCE i dati derivanti dall'analisi FFT.

Acquisizione RMS

Acquisizione SPETTRO

Visualizzazione FORME D'ONDA

Acquisizione IN CONTINUO

Effetto sistema di fissaggio:

- ▶ **PUNTALE**
- ▶ **MAGNETE**
- ▶ **FISSO**

Grandezze fisiche di misura:

- ▶ **SPOSTAMENTO**
- ▶ **VELOCITA'**
- ▶ **ACCELERAZIONE**

SHOCK PULSE

Settaggio strumentazione

- ▶ **MEDIE**
- ▶ **RISOLUZIONE**
- ▶ **FINESTRATURA**
- ▶ **SOVRAPPOSIZIONE**

GRAZIE
*del tempo e della
attenzione che ci avete
dedicato e arrivederci
al prossimo corso !*

www.pruftechnik.it