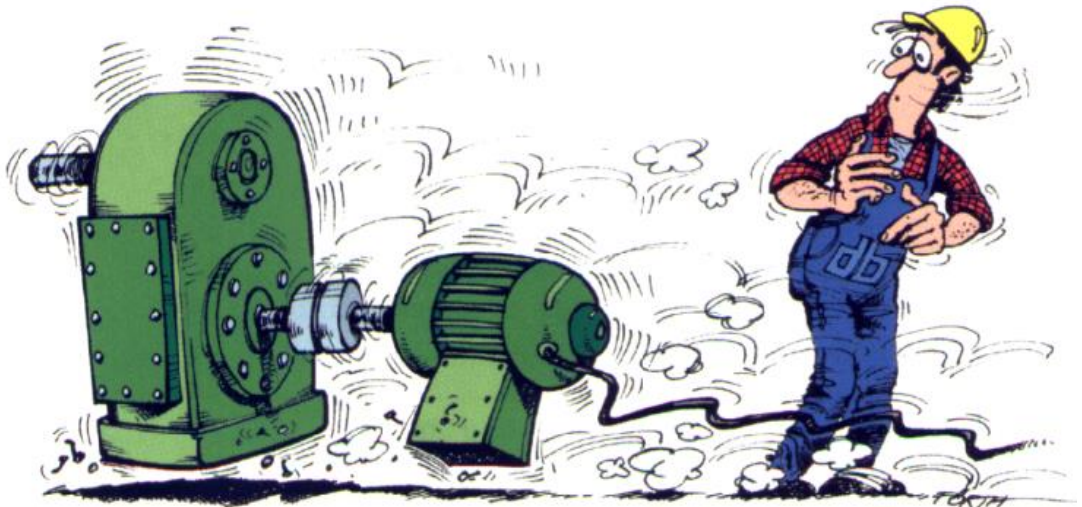


VIB 1: FONDAMENTI SULLE VIBRAZIONI DELLE MACCHINE



- PRESENTAZIONE GRUPPO PRUFTECHNIK
- LA MANUTENZIONE
- CONCETTI RELATIVI ALL' ALLINEAMENTO
- INTRODUZIONE ALLA VIBRAZIONE
- L'ANALISI VIBRAZIONALE
- ANALISI DI 1° LIVELLO E NORMATIVE DI RIFERIMENTO
- EFFETTO DEL BASAMENTO
- SENSORI
- SHOCK PULSE
- ACCORGIMENTI PER LE MISURE IN IMPIANTO
- ANALISI DI SPETTRO – FFT
- SISTEMI ON LINE
- GRAZIE

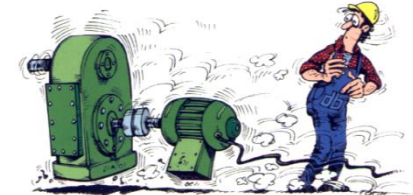
3 - 23

24 – 65

66 - 79

80 - 110

111 – 120

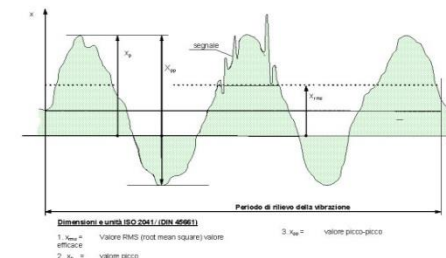


121 – 129

130 – 132

133 - 151

152 - 180

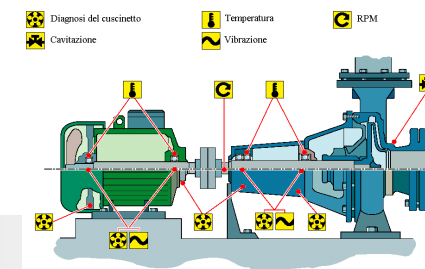


181 - 191

192 – 205

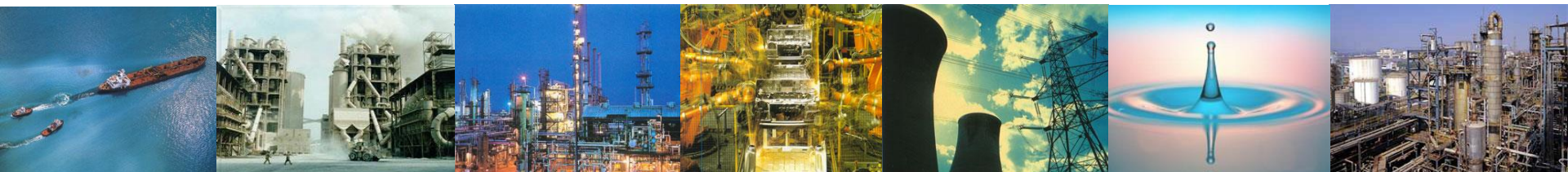
2065 - 220

221





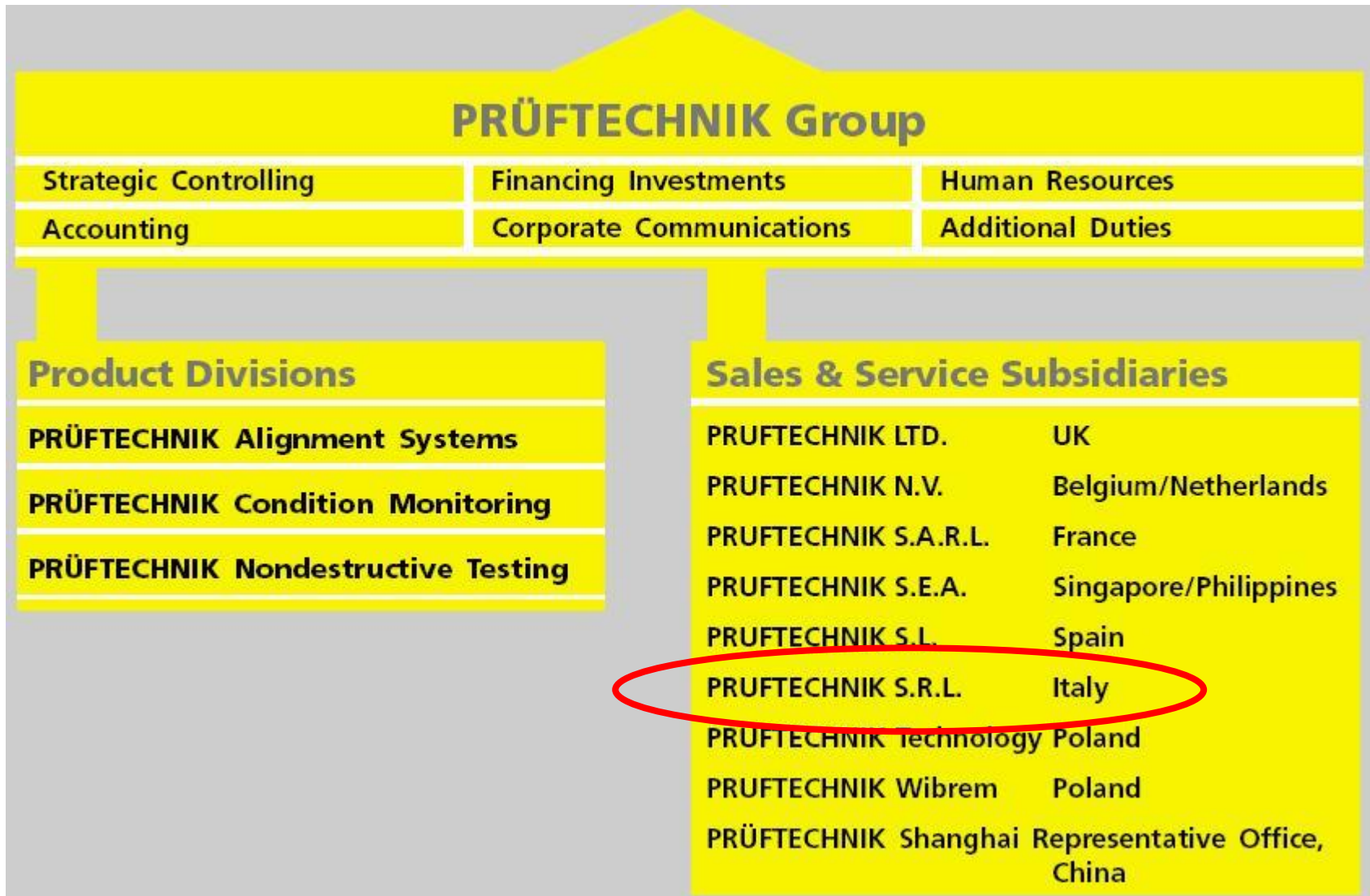
Presentazione del gruppo PRUFTECHNIK



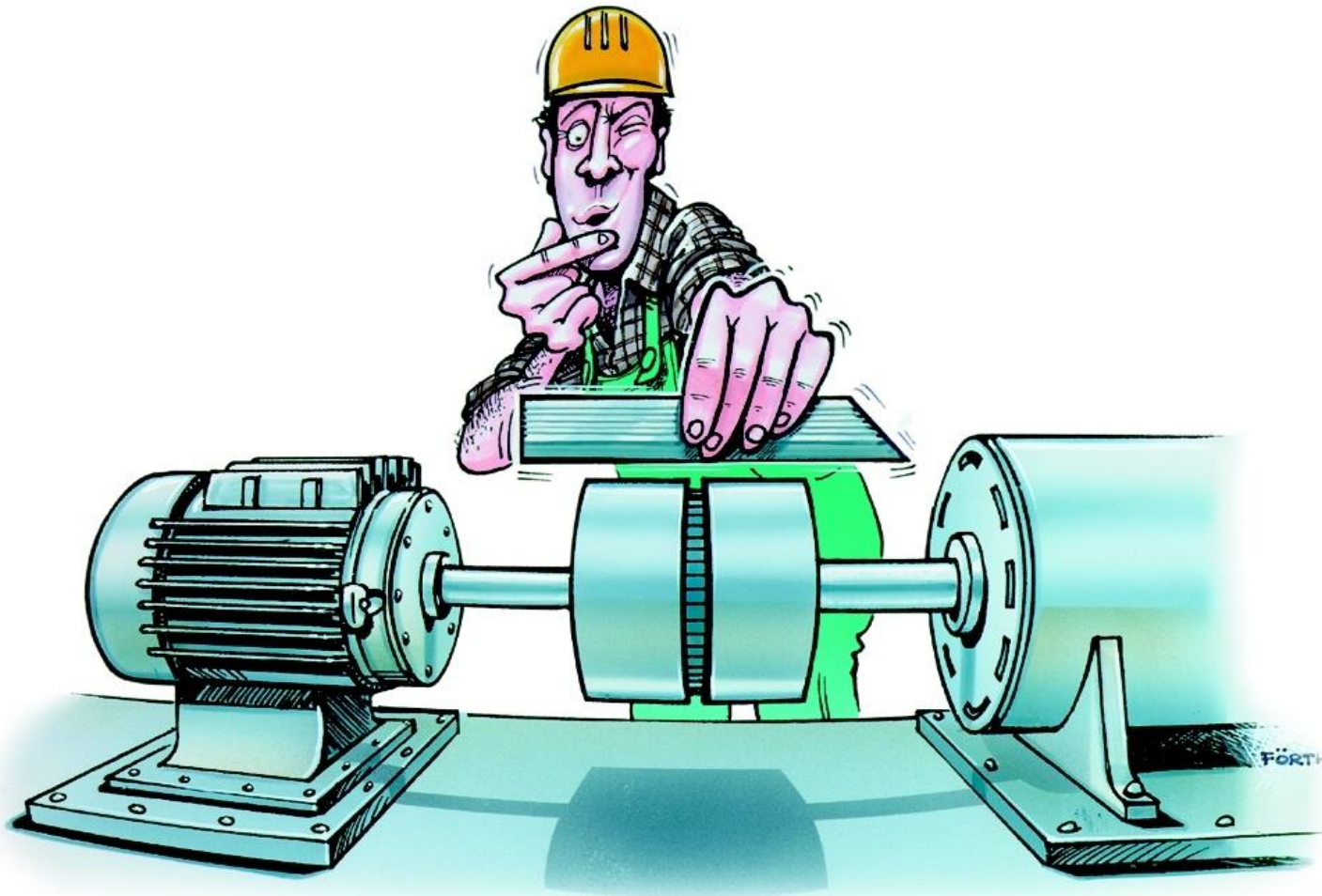
Sviluppo e produzione di strumenti per

- ALLINEAMENTO LASER
- VIBRAZIONI
- CONTROLLI NON DISTRUTTIVI

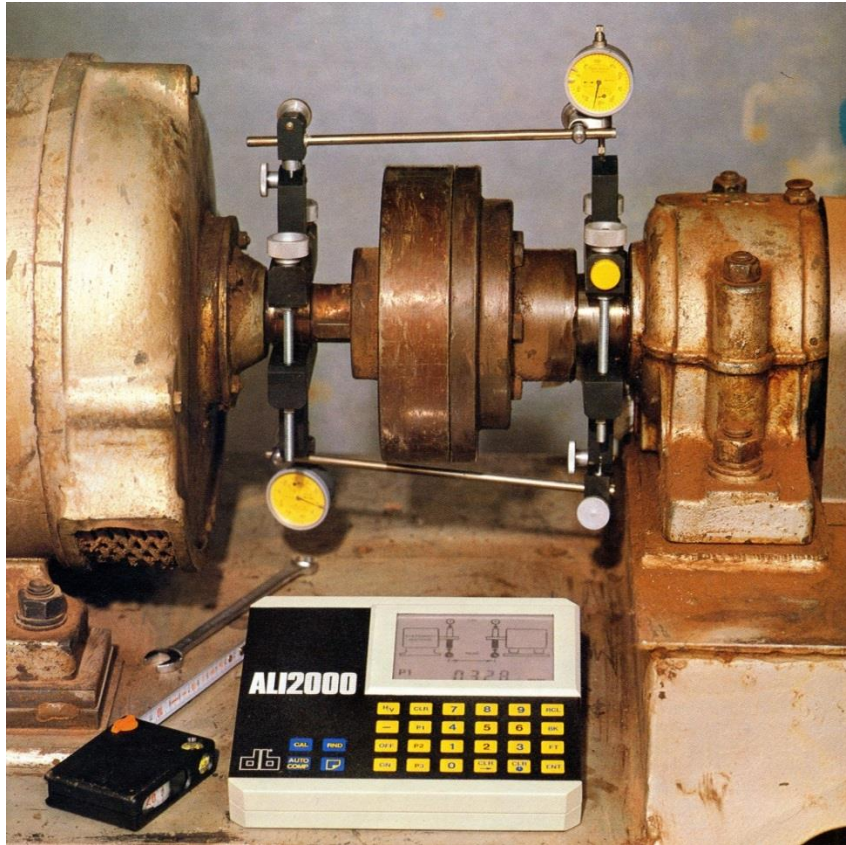
Necessari per introdurre la filosofia della *manutenzione proattiva*.....



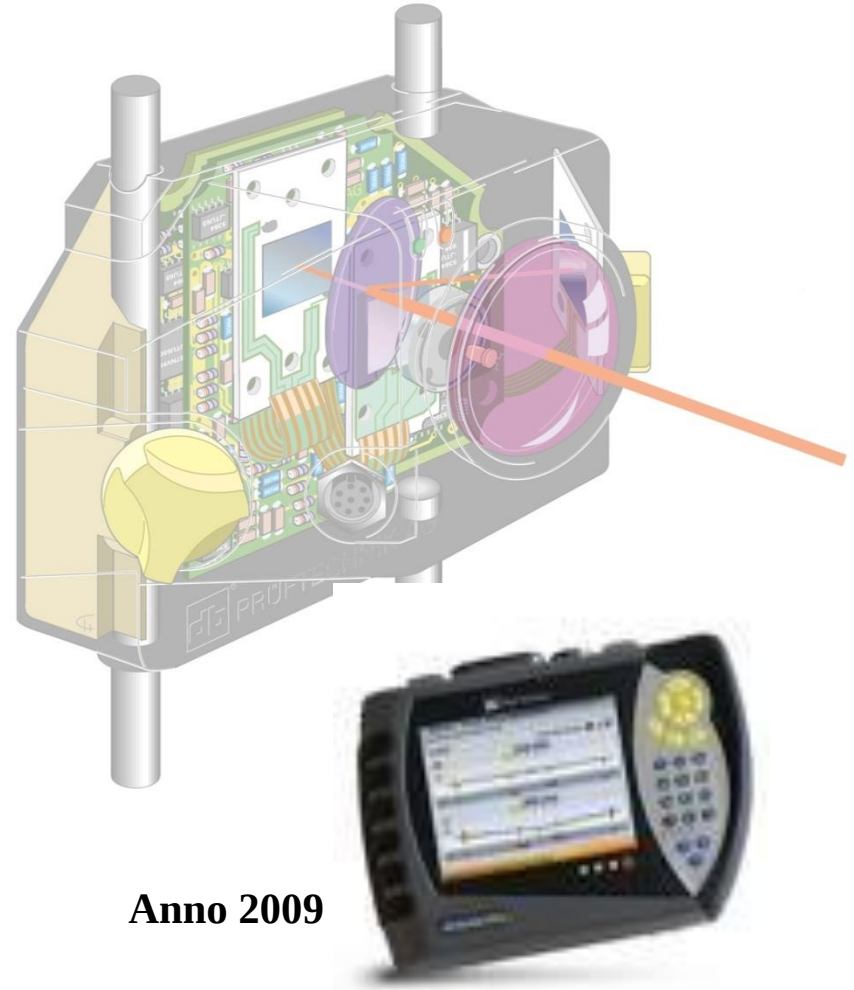
1° settore d'attività : Allineamento laser



Evoluzione dei Sistemi di allineamento



Anno 1976



Anno 2009

Sistemi di Allineamento Laser

PULLALIGN



ROTALIGN® Ultra



NOVALIGN



OPTALIGN® Smart



PARALIGN

PERMALIGN®



SmartALIGN® e



Smart SCANNER®



ALIGNEO



LEVALIGN

▶ **ALBERI ROTANTI IN GENERE**

Pompe, Motori, Ventilatori, Riduttori, etc.

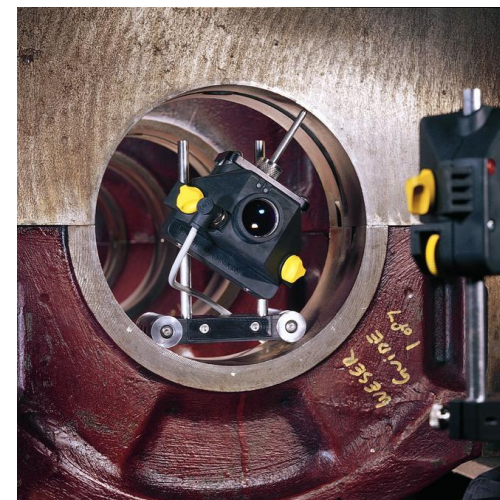
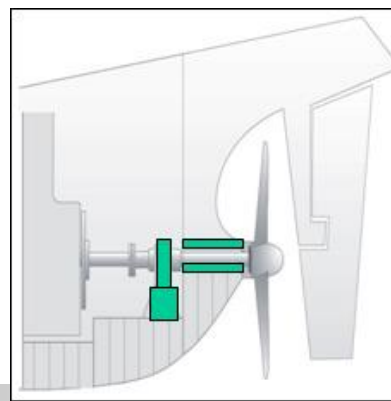
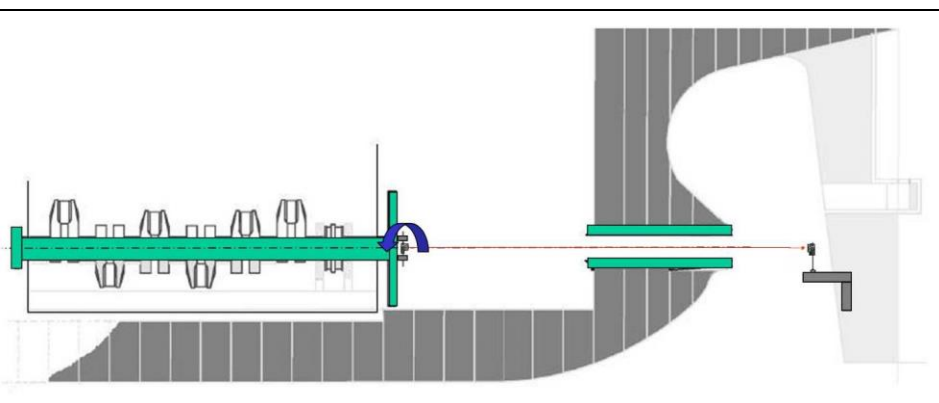
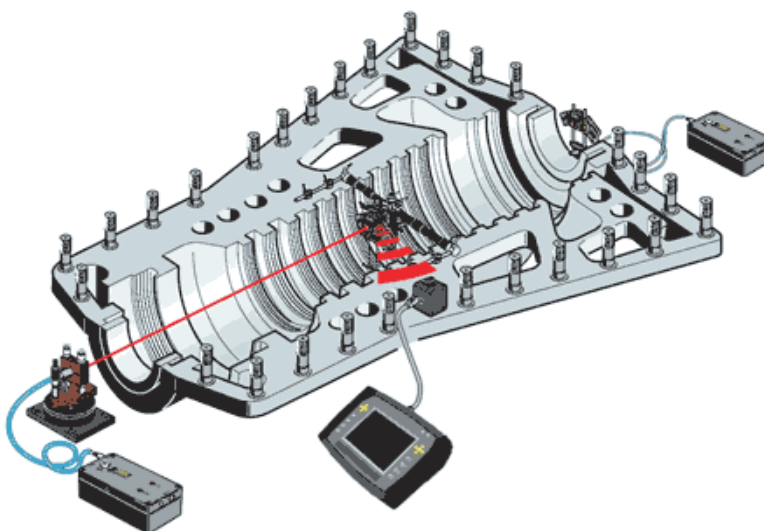
- **ALLINEAMENTO PULEGGE**

Macchine con trasmissione a cinghia.

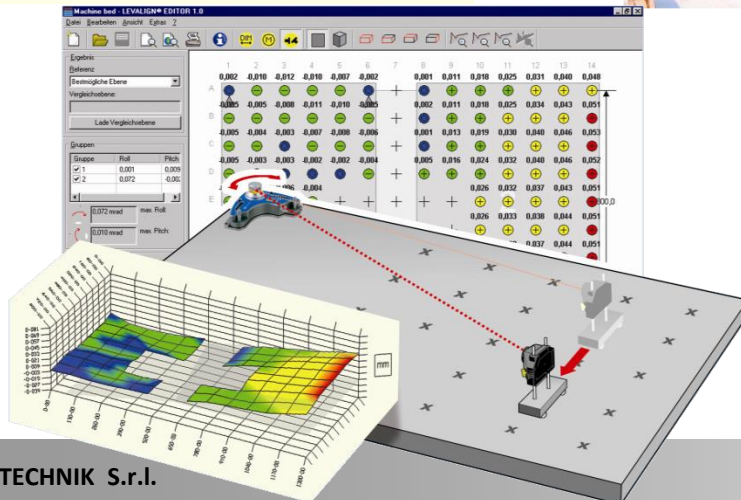
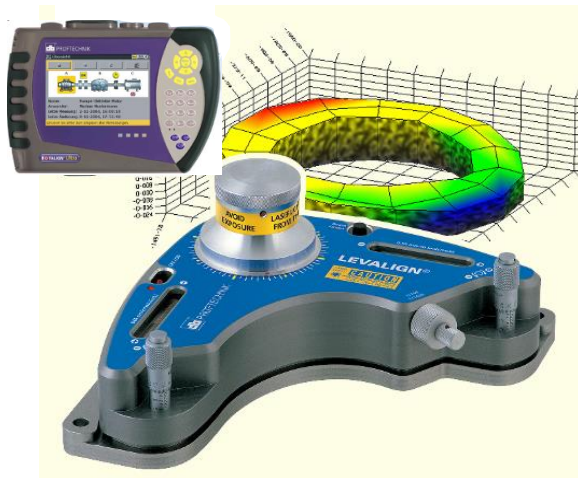
- **ALLINEAMENTO GEOMETRICO**

Planarità, Linearità, Parallelismo ed altre applicazioni

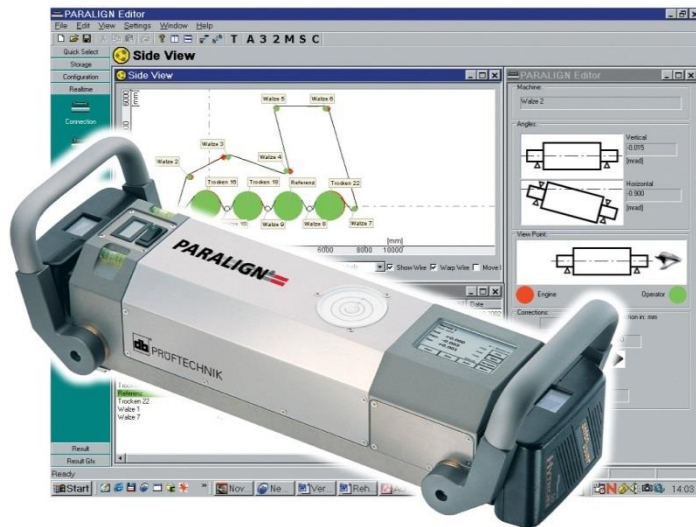
• Verifica CENTRO FORI e SUPPORTI :



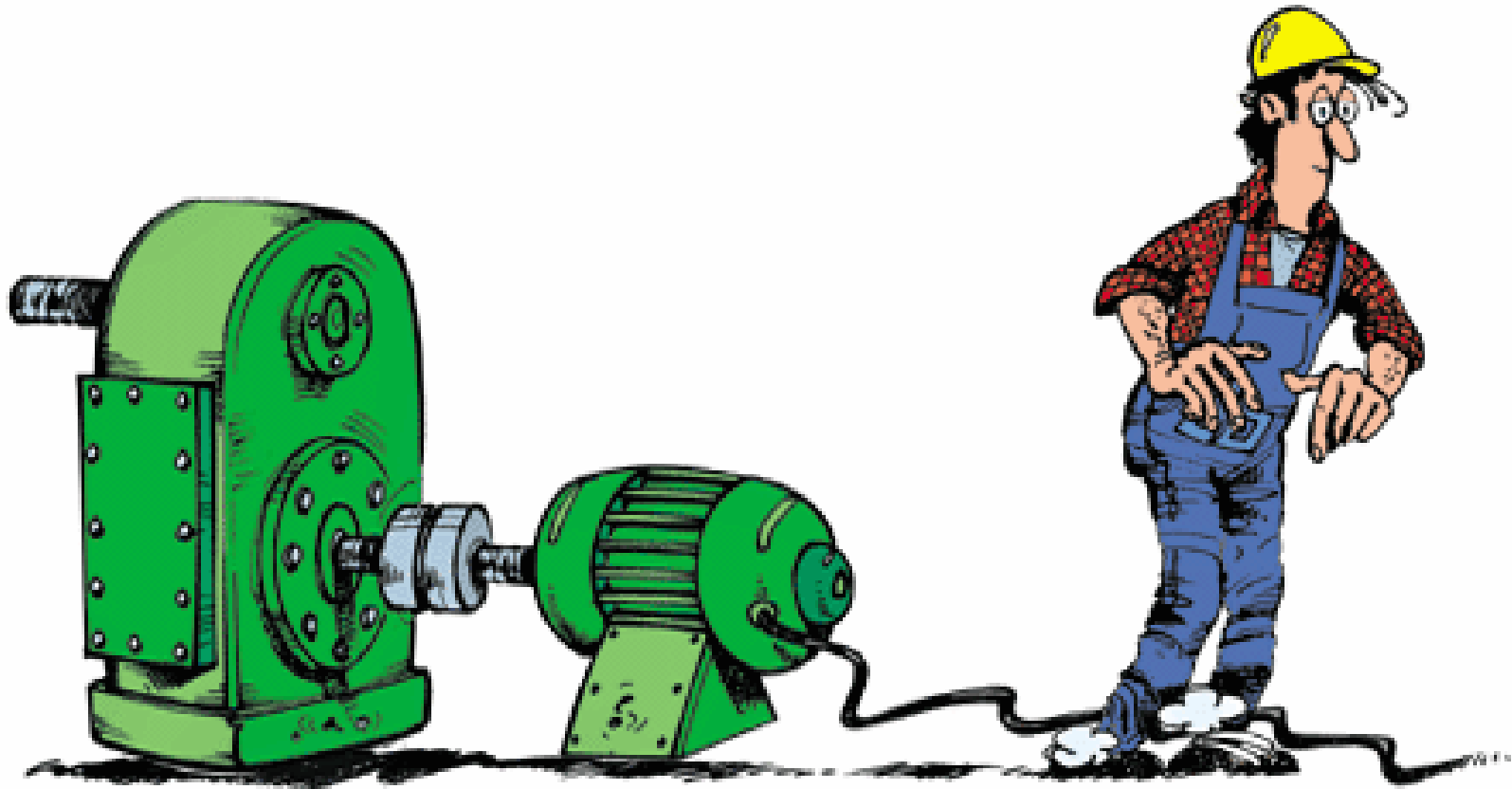
• Verifica PLANARITA' e LINEARITA' :



- Verifica PARALLELISMO di rulli e cilindri :



Misura ed analisi delle Vibrazioni



Sistemi portatili



VIBROTIP



VIBSCANNER



VIBXPERT

Sistemi fissi



VIBROTECTOR



VIBREX



VIBNODE



VIBROWEB

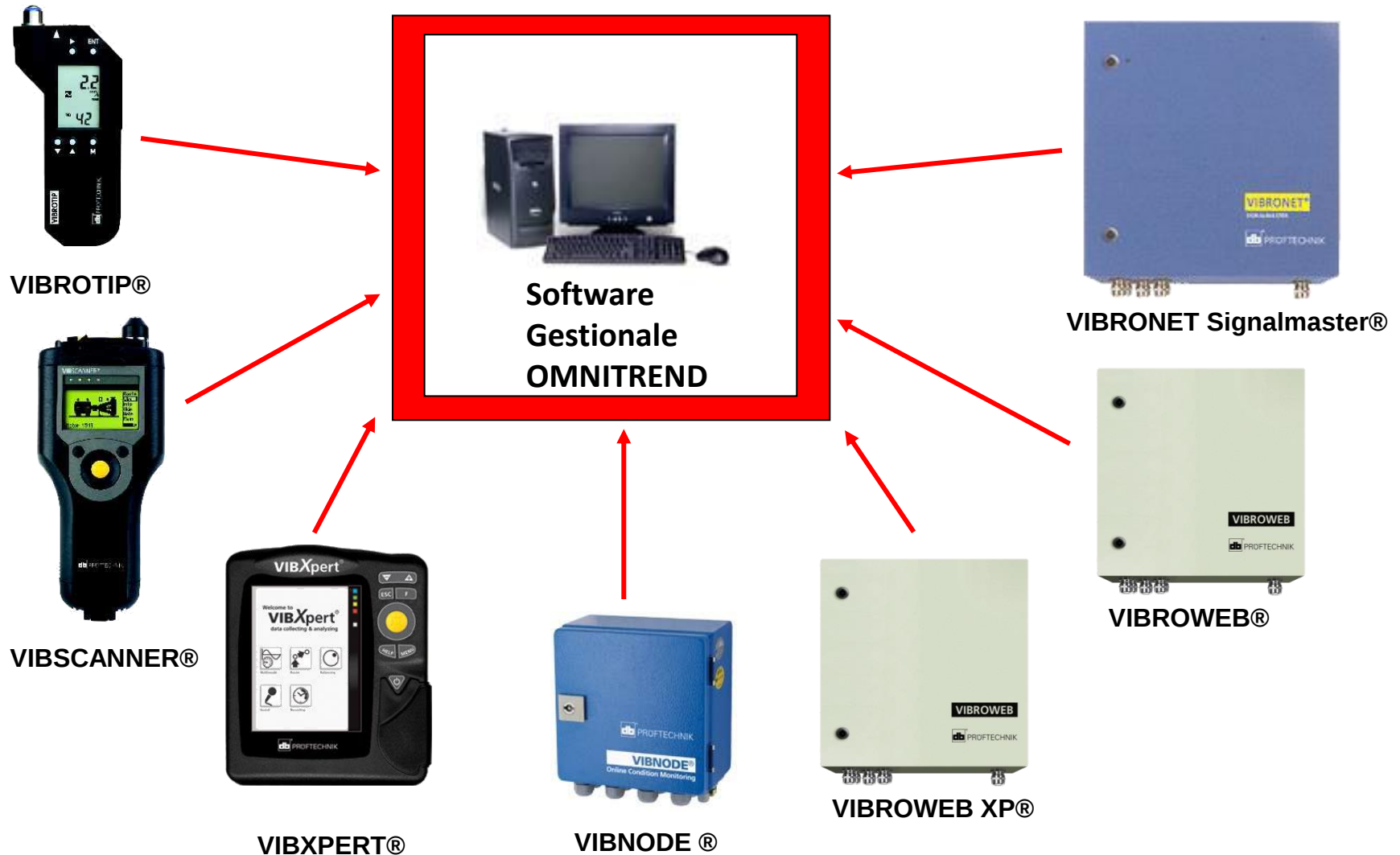


Signalmaster

Sistema VIBCODE per l'identificazione delle macchine e l'acquisizione automatica



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.



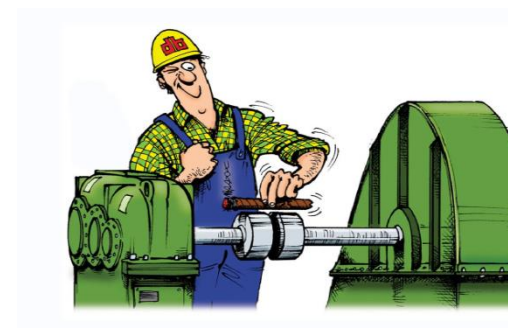
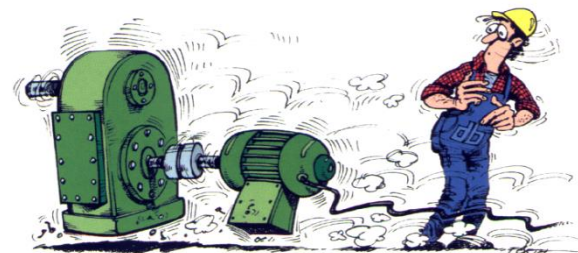
Service diagnostica macchinari ed analisi di vibrazioni



Service manutenzione predittiva con strumenti fissi e portatili

PRUFTECHNIK offre corsi di formazione indipendenti :

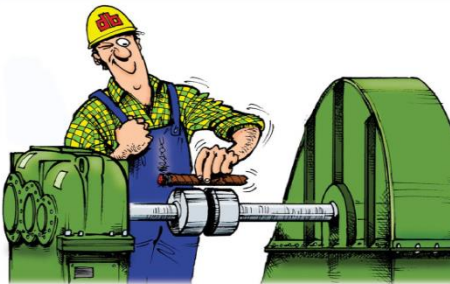
- VIB 1: Fondamenti sulle vibrazioni delle macchine
- VIB 2: Fondamenti sull'acquisizione dati e trattamento dei segnali + Prove Pratiche
- VIB 3: Diagnosi delle cause di guasto dei macchinari
- VIB 4: Analisi vibrazionale sulle macchine elettriche, riduttori, pompe e ventilatori centrifughi
- VIB 5: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



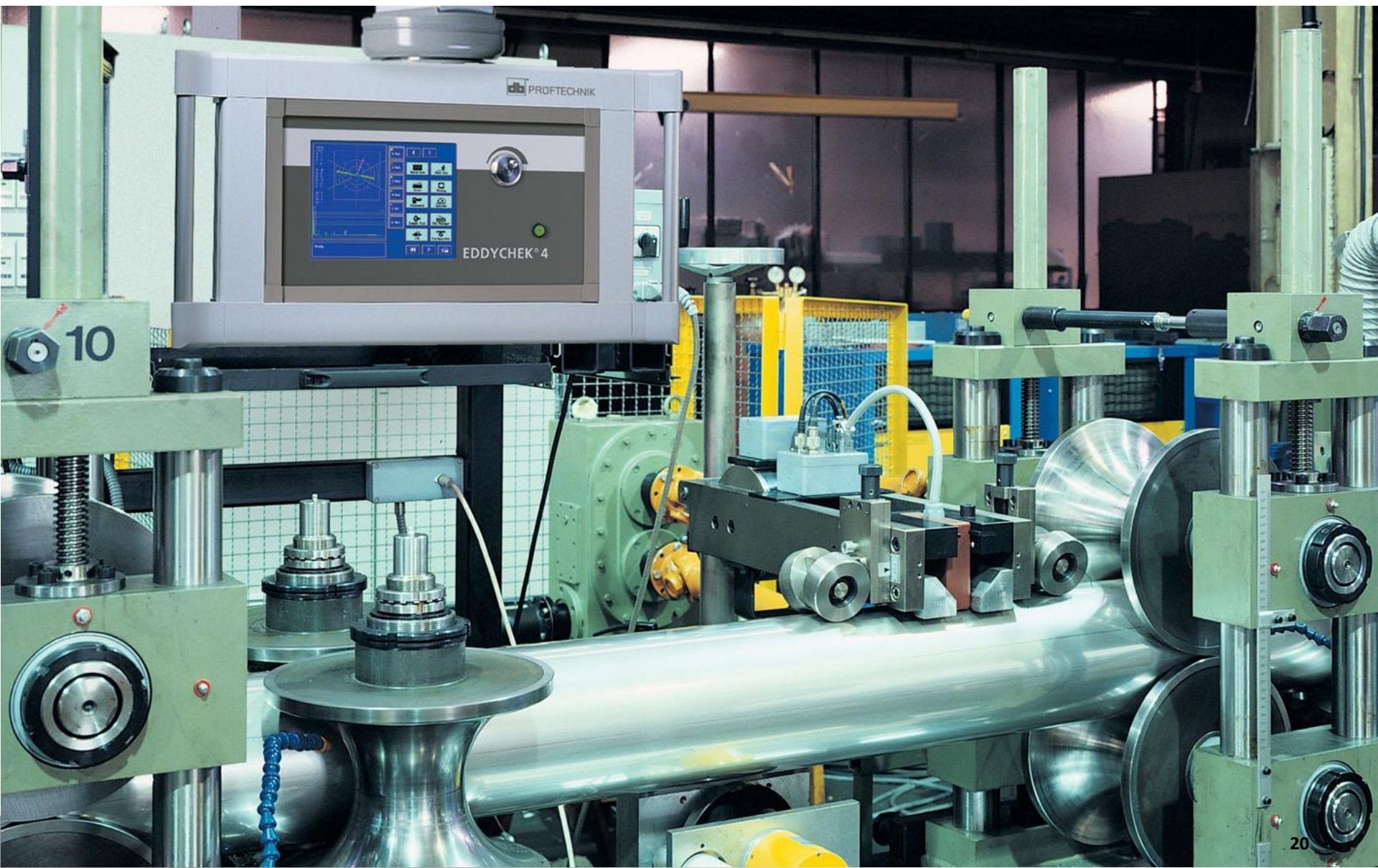
- MOT 1: Fondamenti sulle vibrazioni e diagnosi motori elettrici
- MOT 2: Corso specialistico sui Motori Asincroni
- GEN: Corso specialistico sui Generatori

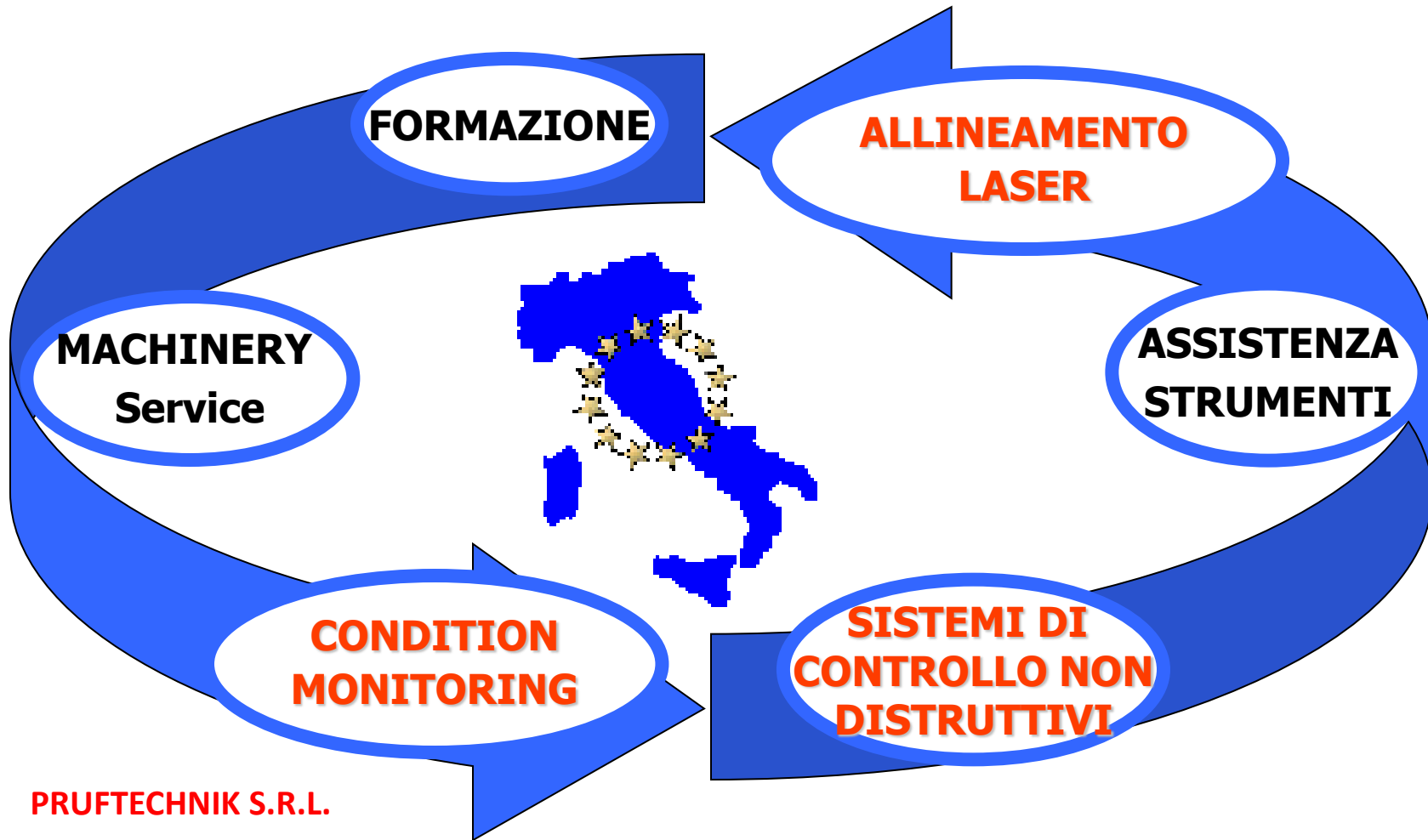


Introduce inoltre nel mercato Italiano corsi di formazione certificati ISO 18436-2 Category I/II/III per la Misura e Analisi di Vibrazioni



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





PRUFTECHNIK S.R.L.

VIA DE NICOLA 12/E

20090 CESANO BOSCONI - MI

Industrie che hanno già scelto PRUFTECHNIK



Industrie che hanno già scelto PRUFTECHNIK



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



La Manutenzione



Nel 1993 l'OCSE*, diede una prima definizione di manutenzione.

Nel corso degli anni '80 sono state formulate nuove teorie, non ancora compiutamente applicate.

Nel 2003 queste norme furono sostituite dalla UNI EN 13306, che definisce la manutenzione come:

“combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”.

* **Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico**

« Le attività di manutenzione non pretendono di trasformare il mondo, i loro obiettivi non sono esprimibili in modo semplice, non hanno il fascino mozzafiato di attività che producono oggetti con prestazioni elevatissime, vanno continuamente e periodicamente ripetute, se hanno successo il loro effetto non si vede. »

Pier Giorgio Perotto



Breve analisi della tipologia di manutenzione in relazione
alla azienda:

Azienda tradizionale **VS** Azienda moderna

Radicata nel passato: il cambiamento e l'innovazione erano
considerati anomali e mal visti!

Di conseguenza anche la tipologia di manutenzione si basava sul
concetto :

Riparalo solo quando si rompe !!

Il mutamento e l'innovazione sono considerati normali, anzi,
necessari per sopravvivere!

Nella società moderna l'economia è globale e per competere
diventa essenziale produrre meglio, in modo più economico e più
velocemente.

Non si può pensare di vincere questa continua ricerca della massima produttività al minor costo con filosofie di manutenzione tradizionali.

Anche la gestione della manutenzione deve evolversi ed adeguarsi alla nuova filosofia su cui oramai si basa la società moderna :

programmare e prevedere per riuscire a risparmiare !!

- Ogni tipo di macchina necessita di continua manutenzione!
- Per cui ogni impianto industriale deve avere a disposizione una squadra di intervento che se ne prenda cura!

Ma in che modo ?

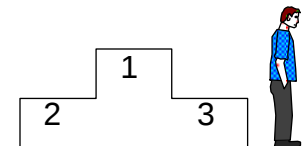
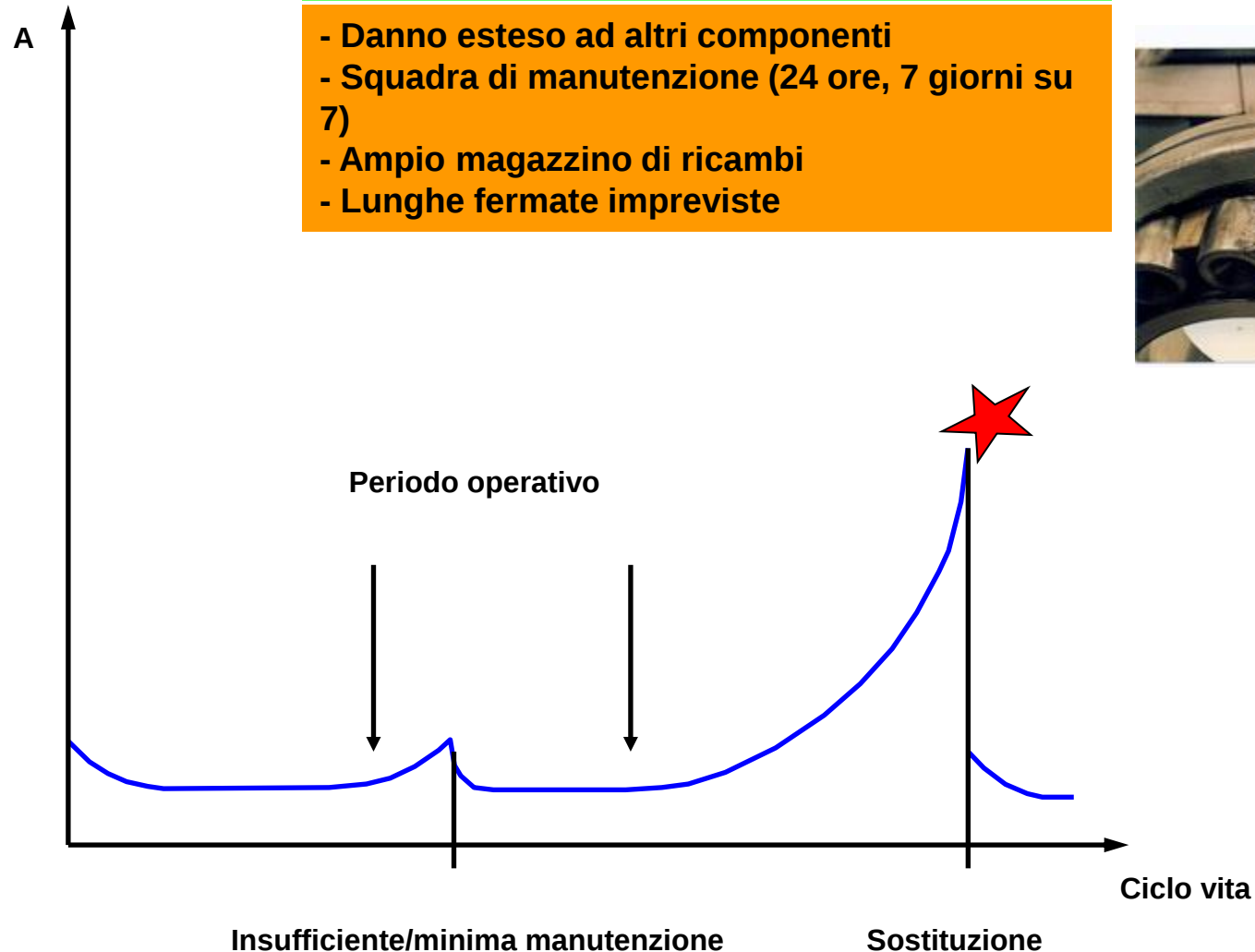
Qualsiasi tipo di macchinario necessita di una manutenzione; quindi in ogni impianto industriale del mondo c'è una squadra di manutenzione interna o esterna che se ne occupa con vari criteri e modi.

Vediamo quali

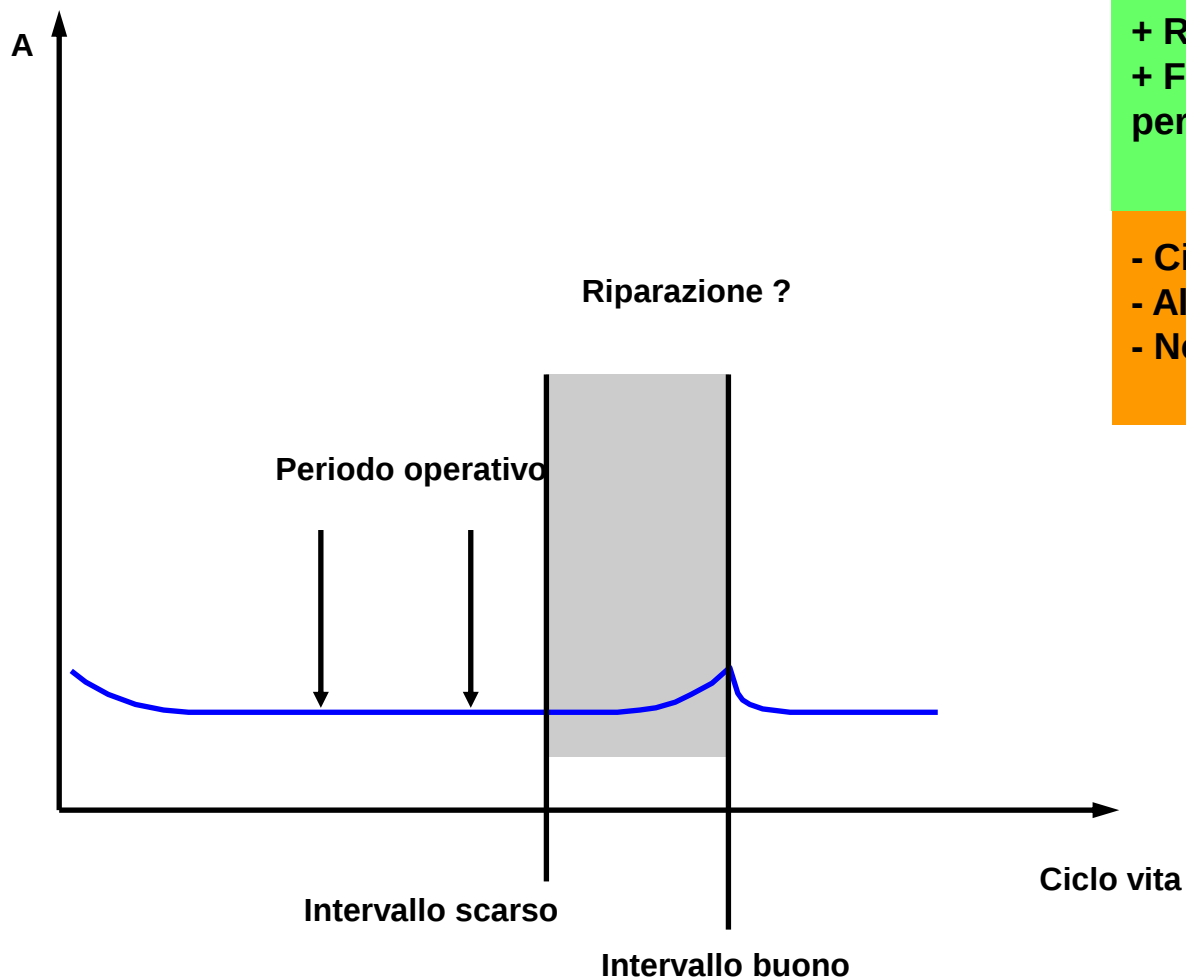


+ Sfruttamento dell'intero ciclo di vita

- Danno esteso ad altri componenti
- Squadra di manutenzione (24 ore, 7 giorni su 7)
- Ampio magazzino di ricambi
- Lunghe fermate impreviste

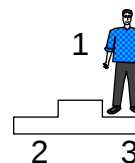


La “ Manutenzione a Rottura ” rappresenta il modo più classico di approccio alla manutenzione. Offre il vantaggio di poter usufruire dell’intero ciclo di vita del componente, ma espone al rischio di lunghe ed impreviste fermate. Richiede un ampio e costoso magazzino e una squadra di manutentori sempre presente in impianto per poter far fronte a guasti imprevisti, la quale, dato l’alto numero di persone necessarie all’avvicendamento e le indennità retributive da corrispondere per reperibilità, lavoro notturno, festivo e straordinario, ha costi molto elevati. Inoltre un eventuale guasto di un solo componente può trasformarsi in un danno per un intero macchinario complesso e costoso oltre al danno indiretto, ma sempre elevato, di mancata produzione.



+ Riduzione guasti e danni
+ Fermate pianificate periodiche

- Ciclo vita non completamente sfruttato
- Alti costi di gestione
- Non conoscenza del reale stato di salute



La manutenzione “Preventiva” rappresenta un passo in avanti rispetto alla manutenzione a rottura. Consente di ridurre i guasti imprevisti e di pianificare le fermate di manutenzione e gli oneri di immobilizzo di risorse economiche per immagazzinaggio ricambi. Purtroppo richiede alti costi di manutenzione, pur non escludendo anomalie o guasti imprevisti. Infatti la manutenzione preventiva richiede la sostituzione di un componente dopo uno specifico monte ore di lavoro e non consente di conoscere il reale ed istantaneo stato di salute dei macchinari. Quindi si corre il rischio di sostituire componenti ancora perfettamente funzionanti o di effettuare errate installazioni senza aver la possibilità di verificarne la corretta operatività.

- + Acquisto di ricambi e manutenzioni solo in accordo alle condizioni
- + Consente l'uso dell'intera vita operativa del componente
- + Consente di conoscere il reale stato di salute del macchinario
- + Evita danni agli altri componenti
- + Consente Fermate pianificate
- + Garantisce la Produzione

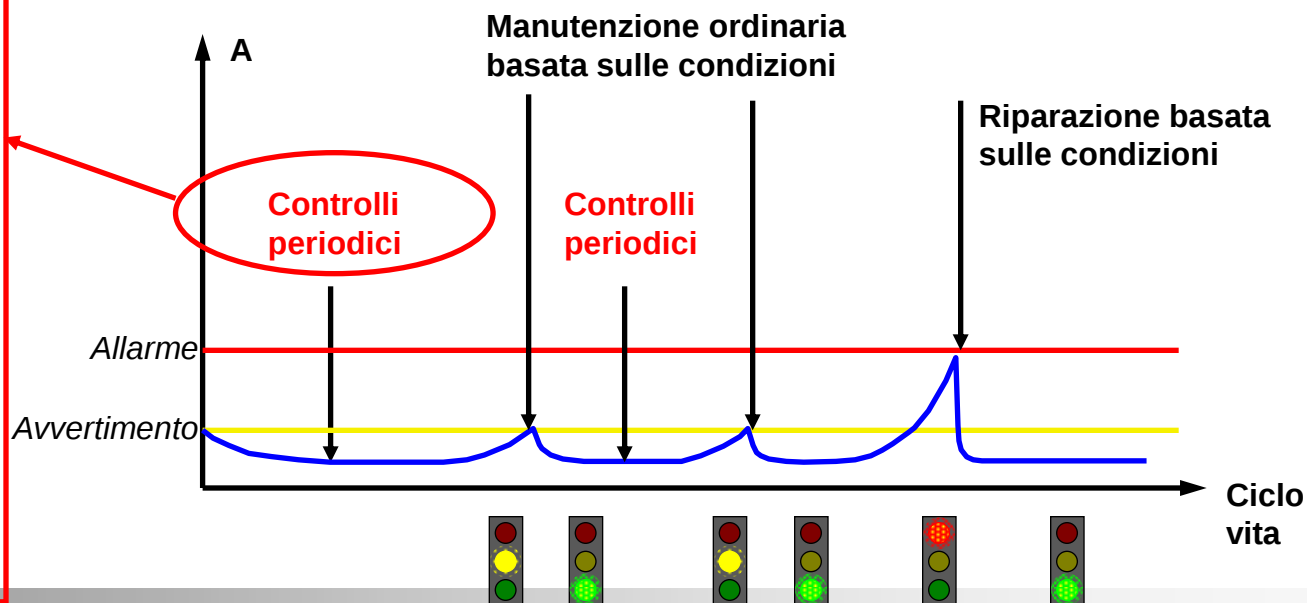
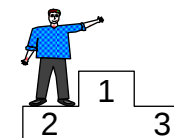
- Implementazione attività di Condition Monitoring

Controlli periodici di :

- Vibrazioni.
- Controllo cuscinetti.
- Temperatura.

*In aggiunta in base alla
tipologia di macchina :*

- Analisi olii.
- Parametri operativi.
- E altri parametri specifici.

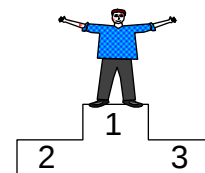


- + Estensione del ciclo di vita grazie alla eliminazione dei problemi
- + Manutenzioni in accordo alle condizioni
- + Condition monitoring del processo e delle procedure

- Implementazione attività di Condition Monitoring



Individuazione ed eliminazione del problema tramite analisi delle vibrazioni

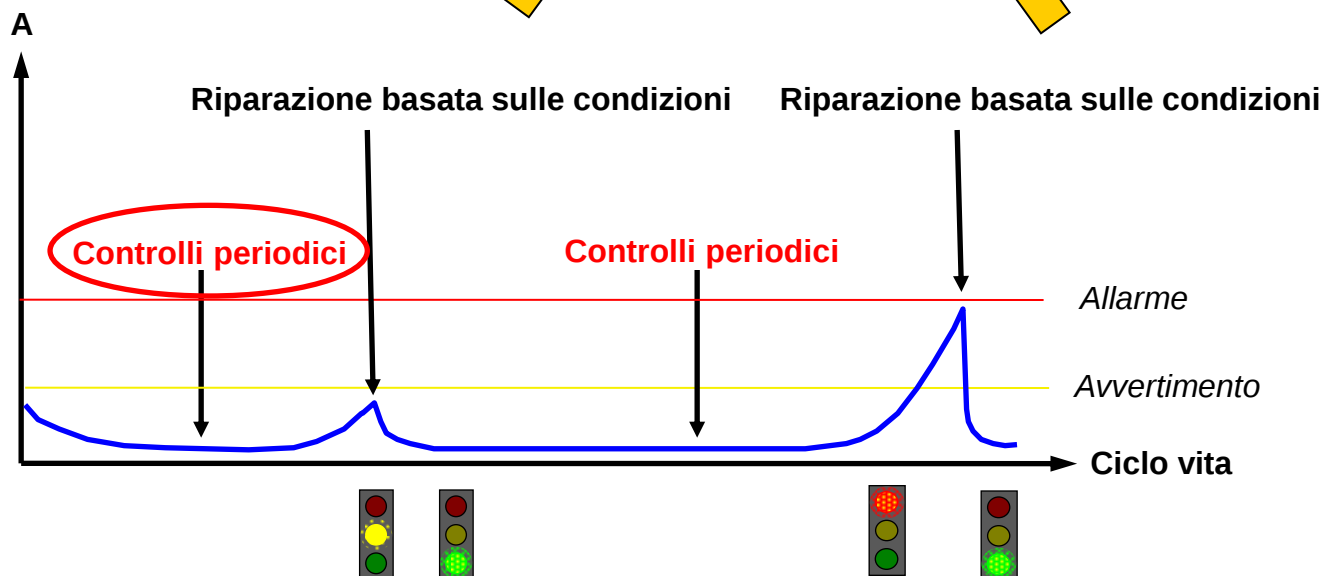


Controlli periodici di :

- Vibrazioni.
- Controllo cuscinetti.
- Temperatura.

In aggiunta in base alla tipologia di macchina :

- Analisi olii.
- Parametri operativi.
- E altri parametri specifici.



Perchè acquisire letture sulle vibrazioni?

E' possibile accorgersi di guasti alle macchine per tempo: è possibile pianificare la manutenzione ed evitare quindi:

- ▶ Rotture catastrofiche
- ▶ Danni secondari
- ▶ Costi dei ricambi
- ▶ Spreco di tempo
- ▶ Infortuni al personale

L'incremento della produttività

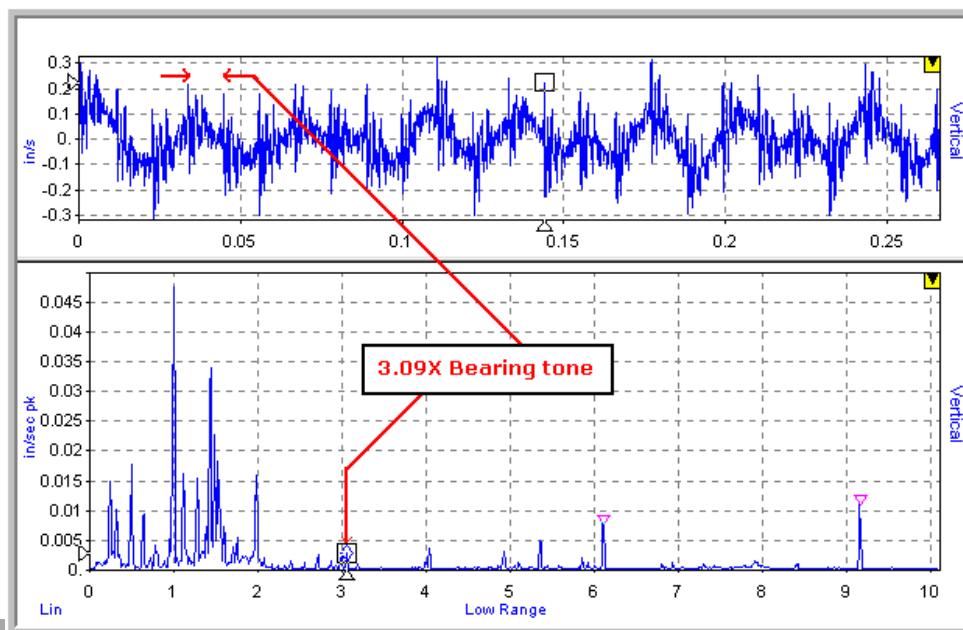
- ▶ Riduce i fermi macchina
- ▶ Riduce i costi



L'analisi vibrazionale fornisce informazioni sulla natura e criticità del problema.

Essa aiuta a determinare in primo luogo le cause che hanno determinato l'insorgere del problema.

- E' necessario intervenire affinché non si verifichi nuovamente.



I costi di manutenzione che possono mettere in crisi una organizzazione sono:

- ▶ Costi di ricambi e scorte
- ▶ Eccessivi costi di lavoro extra
- ▶ Costi secondari



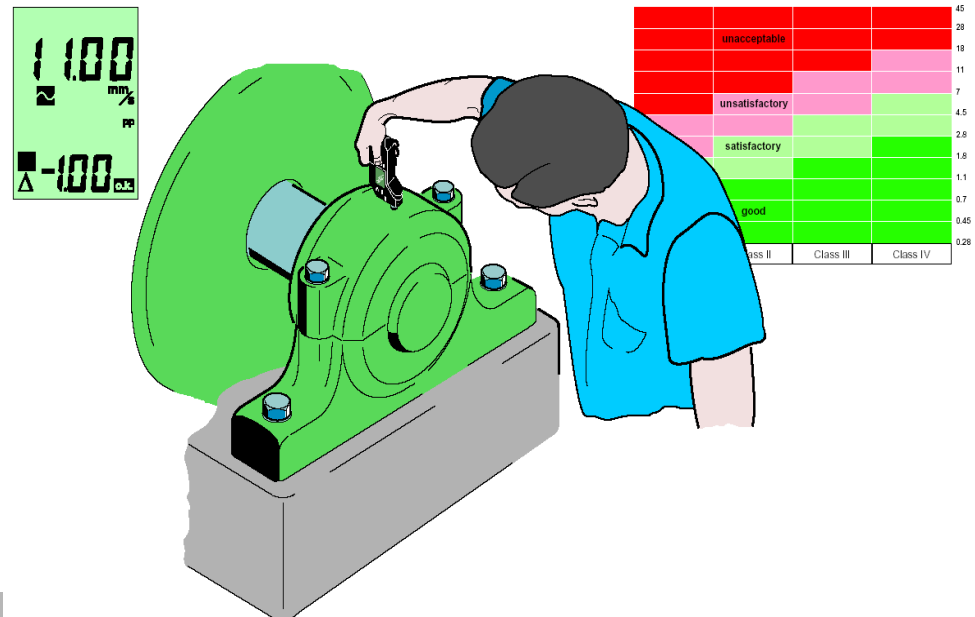
E' possibile apportare migliorie:

- ▶ Riduzione dei costi di manutenzione
- ▶ Riduzione tempi fermo macchina
- ▶ Riduzione dei consumi di energia
- ▶ Miglioramento della qualità produttiva



La manutenzione Proattiva NON è solo
la misura delle vibrazioni !!! Ma è molto di più...

È una FILOSOFIA metodologica



1) Fase : Reperimento dati ed informazioni dei macchinari
(senza i quali è impensabile prevedere guasti ed anomalie)

2) Fase : Analisi della criticità delle macchine
(metodologie RCM-FMECA per stabilire criticità)

RCM = RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE

SEQUENZA LOGICA TIPICA:

FEA = Failure Effects Analysis

FMEA = Failure Mode and Effects Analysis

FMECA = Failure Mode, and Effects Criticality Analysis

Azioni Correttive

ANALISI CRITICITA'

$$C = F * D * R$$

$$1 \leq C \leq 1000$$

Dove:

F = frequenza di guasto;

$$1 \leq F \leq 10$$

D = danno che il guasto provoca;

$$1 \leq D \leq 10$$

R = rilevabilità;

$$1 \leq R \leq 10$$

3) Fase : Formazione specifica del personale coinvolto

(L'importanza delle risorse umane coinvolte, interne o esterne)

4) Fase : Stabilire un Programma di controllo basato sulla criticità

(individuando anche la migliore metodologia : vibrazioni, temperature, analisi olii, rilevazioni visive, parametri di processo, etc.)

5) Fase : Creazione database con individuazione frequenze vibrazionali di guasto dei macchinari

(individuando frequenze critiche e bande di controllo al fine di monitorare correttamente i macchinari)

6) Fase : Acquisizione misure in campo e controllo situazione dei macchinari

7) Fase : Prevedere interventi ispettivi più approfonditi, se necessari.

(eventuale coinvolgimento del costruttore ?)

8) Fase : Aggiornamento frequenza di controllo dei macchinari

(basandosi sullo storico delle misure acquisite valutare se incrementare o ridurre la frequenza ispettiva)

9) Fase : Continuo aggiornamento analisi di criticità dei macchinari

(registrando variazioni ed eventi di manutenzione)

10) Fase : Evoluzione verso una manutenzione proattiva

(individuazione ed implementazione di attività “proattive” per eliminare problemi ricorrenti o “bad-actors”)

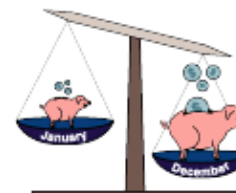
11) Fase : Integrazione predittiva con software CMMS

(scambio automatico dati ed informazione, emissione ODL, ect)

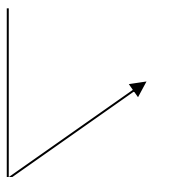
Benefici della manutenzione proattiva



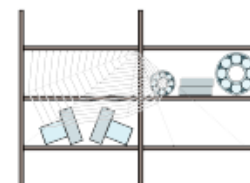
Riduzione delle fermate e delle perdite di produzione



Interventi di manutenzione pianificati



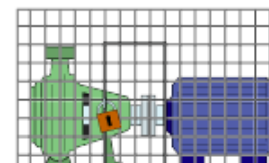
Estensione del ciclo di vita delle macchine (MTBF)



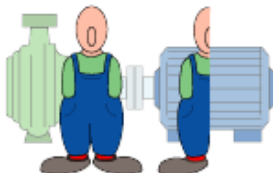
Riduzione dello stock di ricambi a magazzino



Evitare danni concatenati ad altri macchinari.



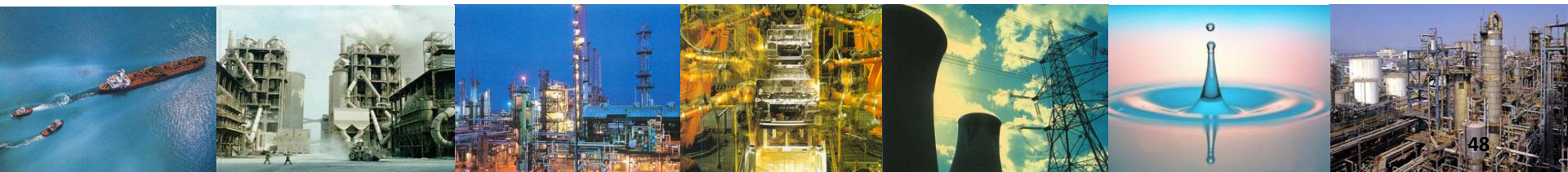
Aumentare la sicurezza del personale e dell'impianto



Ottimizzare la disponibilità delle risorse umane



**Un caso reale positivo di
un'industria chimica italiana, in Sicilia,
che ha affidato in outsourcing la gestione della
manutenzione predittiva**



Fase 1° svolta in impianto :

Realizzazione

Schede Macchina

con reperimento di

dati ed

informazioni

necessarie a creare

e configurare il

database

SCHEDA DATI GENERALI MACCHINA/PROCESSO

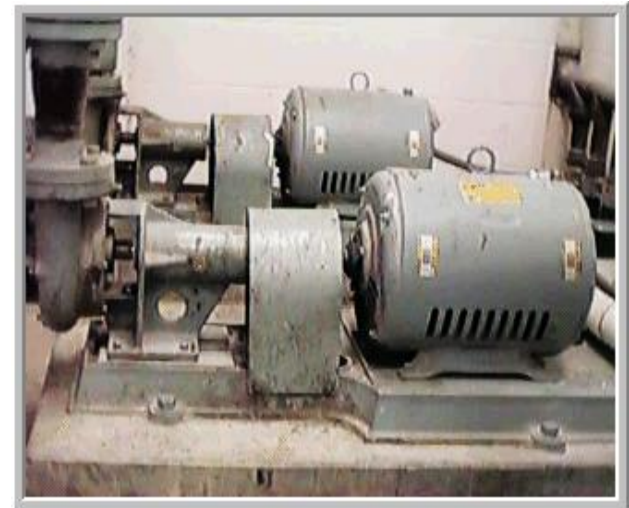
Tag N°	TIPO Macchina	REPARTO	Servizio	Fluido
640 -005 A	ELETTRO POMPA CENTRIFUGA	50	COOLING WATER	H2O

Motore	ELETTRICO		Macchina	POMPA CENTRIFUGA		Macchina Intermedia	
Costruttore	FIMET		Costruttore	SIHI-IDROMECCANICA		Costruttore	
Mod.	M 200 L 2		Mod.	CBS 80.20		Mod.	
Matricola			Matricola			Matricola	
Potenza Kw	37		Potenza Kw			Potenza Kw	
Amp.			Portata	150 m3/h		Portata	
Volt	350 V - 50 Hz		Pressione			Pressione	
RPM	2.920		RPM			RPM	
Cuscini Tipo	VOLVENTI		Cuscini Tipo	VOLVENTI		Cuscini Tipo	
Codice	LG	6312	Codice	LG	7307 BEP	Codice	LG
	LOG	6311		LOG	NU 307		LOG
Diametro Interno Cuscinetto	LG		Diametro Interno Cuscinetto	LG		Diametro Interno Cuscinetto	LG
	LOG			LOG			LOG
Accoppiamento	RIGIDO		Accoppiamento	RIGIDO		Accoppiamento	RIGIDO
Basamento	RIGIDO		Basamento	RIGIDO		Basamento	RIGIDO

NOTE:

ANALISI CRITICITA'

- frequenza di guasto
- danno che il guasto provoca
- rilevabilità



Fase 3° Incontri di formazione del personale delle rispettive aziende

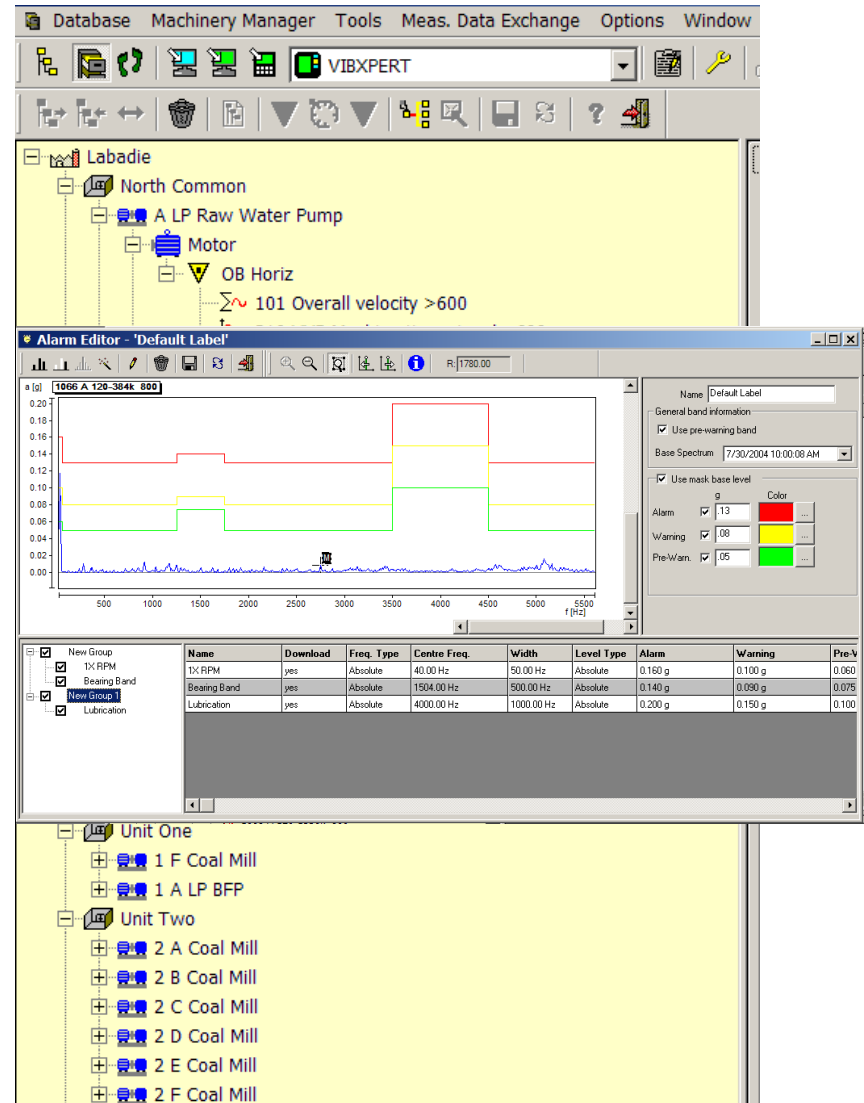


Fase 4° svolta in impianto :

PROGRAMMA SULLA CRITICITA'

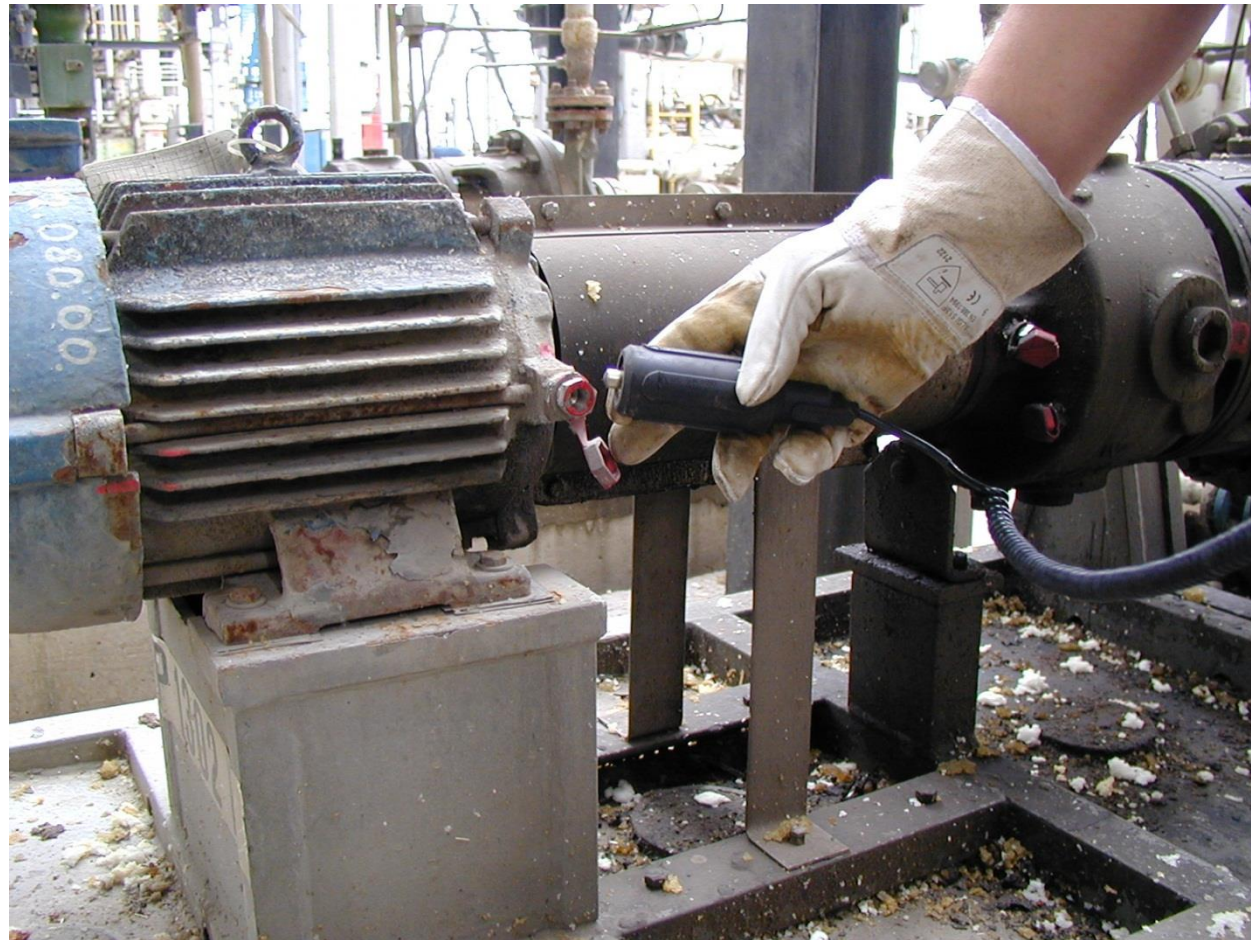
Dove porre maggiore attenzione?





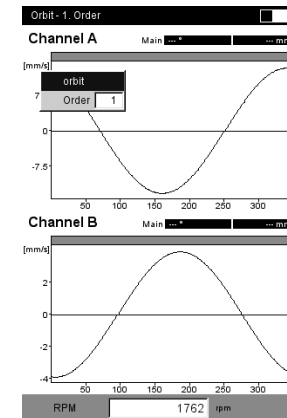
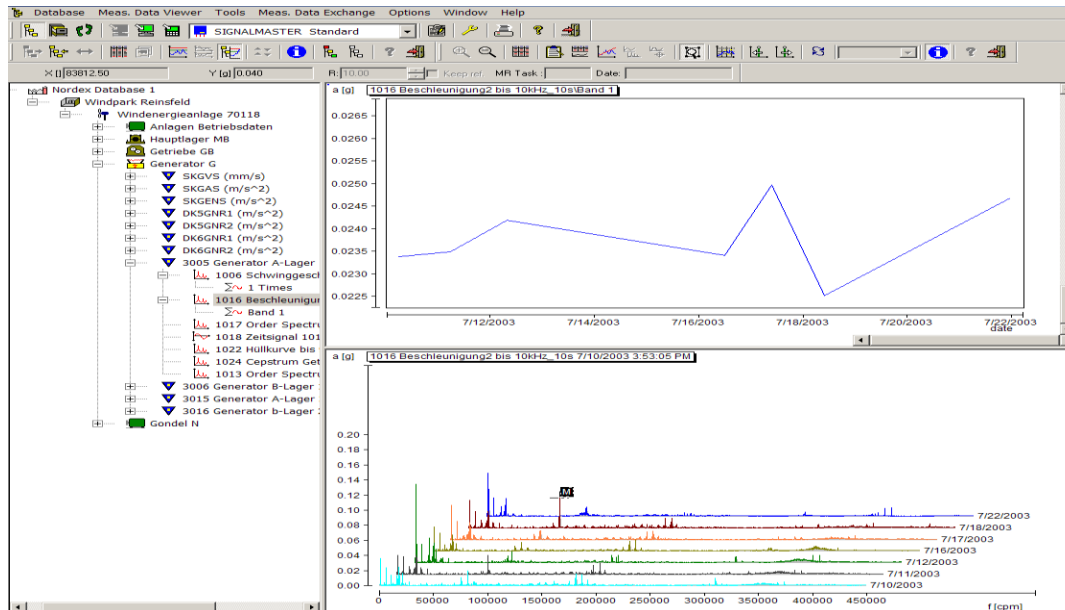
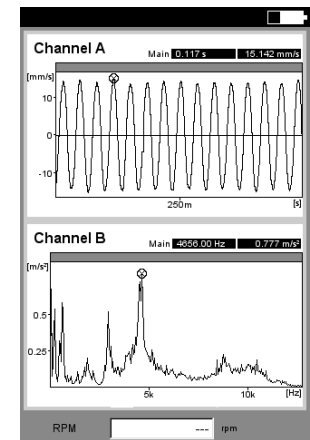
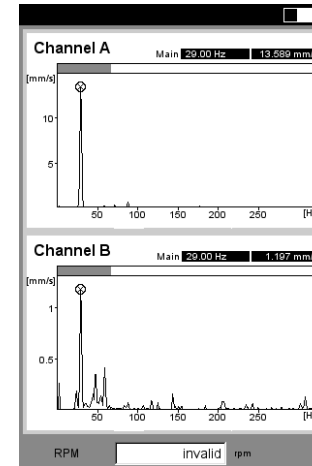
Fase 6 ° svolta in impianto :

**Acquisizione misure
in campo e controllo
situazione macchinari**



Fase 6 ° svolta in impianto :

.....Acquisizione misure
in campo e controllo
situazione macchinari.....



Fase 7 ° report ed interventi ispettivi più approfonditi :



REPORT DIAGNOSTICO

DEL:

19.10.2009

AREA:

TEIKOKU



REPORTING



Buon giorno a tutti.

Come da accordi presi, e come da contratto, in attesa che vengano completate le misure in area CCU3 (unità di dissalazione) e CCU2 (cooling tower) viene emesso un report specifico per segnalare una macchina che presenta problemi, dal punto di vista vibrazionale, di notevole entità.

La macchina in questione è la I981MP03.

Durante le misure effettuate il 27 Ottobre 2009 già nelle immediate vicinanze si avvertiva una notevole rumorosità che veniva confermata al tatto. Le misure successive confermavano quanto avvertito.

Quanto detto si può vedere nei valori riportati di seguito.

Su tutti i punti di misura, con unica eccezione di quello lato opposto giunto verticale (LOG VR) della pompa, si può notare un brusco innalzamento dei valori in velocità (overall velocity) che si possono vedere anche sullo spettro macchina (machine spectrum) con valori di picco prossimi a quelli rilevati in velocità.

Il confronto con le misure precedenti mostra l'improvvisa evoluzione negativa del fenomeno segnalato così come si può vedere dai trend allegati e dai relativi spettri macchina.

REPORT MACCHINA

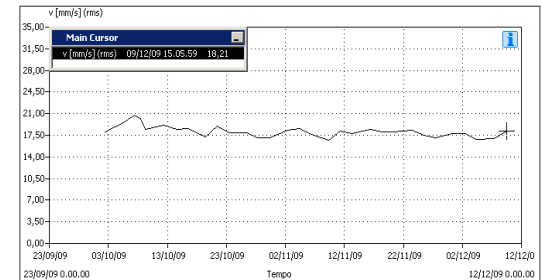


POLIMERI EUROPA ENI SARROCH / SERVIZI / CENTRALE / 240E309:

AREA	ITEM	NORMA DI RIFERIMENTO	DATA	ORA
CENTRALE	240E309		09/12/09	15.05.59

POLIMERI EUROPA ENI SARROCH / SERVIZI / CENTRALE / 240E309:

Macchina	Punto	Valore	Unità	Codice	Classe	Allarme	Avvert.	Preavvert.	Data
240ME309	LG VR	18,21	mm/s	N					09/12/09
240ME309	LG OR	13,19	mm/s	N					09/12/09
240ME309	LG AX	11,22	mm/s	N					09/12/09
240ME309	LOG OR	12,39	mm/s	N					09/12/09
Gearbox	Lento VR	0,45	mm/s	N					09/12/09
Gearbox	Veloce VR	1,02	mm/s	N					09/12/09
Gearbox	Veloce OR	1,77	mm/s	N					09/12/09



v (mm/s) POLIMERI EUROPA ENI SARROCH / SERVIZI / CENTRALE / 240E309 / 240ME309 / LG VR / 100% Overall velocity x100

Su tutti i punti di misura si registrano ampiezze di vibrazione pressoché costanti rispetto alle precedenti misurazioni effettuate dal 02.10.2009. Restano valide le osservazioni fatte nel report n. 40 del 26.10.2009.

Classe	Codice	Descrizione	Severità della vibrazione
Verde	A	Alerta	Inammissibile
Giallo	W	Warning	Tollerabile
Arancione	P	Pre warning	Accettabile
Rosso	N	Normal	Non rilevante

Allarmi conformi alla norma ISO 10816-3



Vibrazioni & Allineamento Laser dal 1972

Una società del gruppo PROFTECHNIK

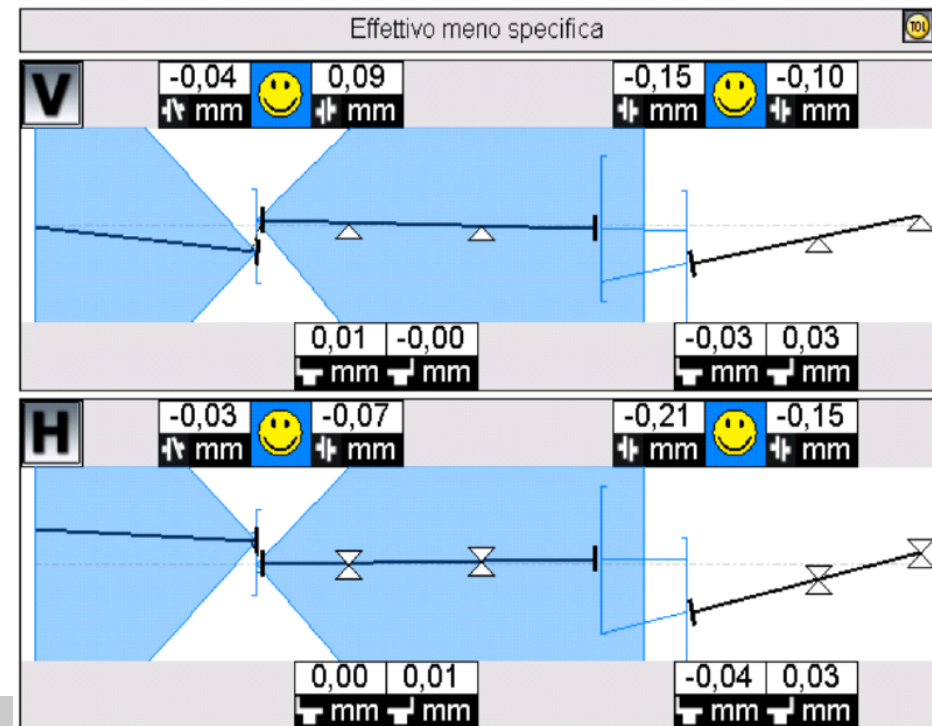
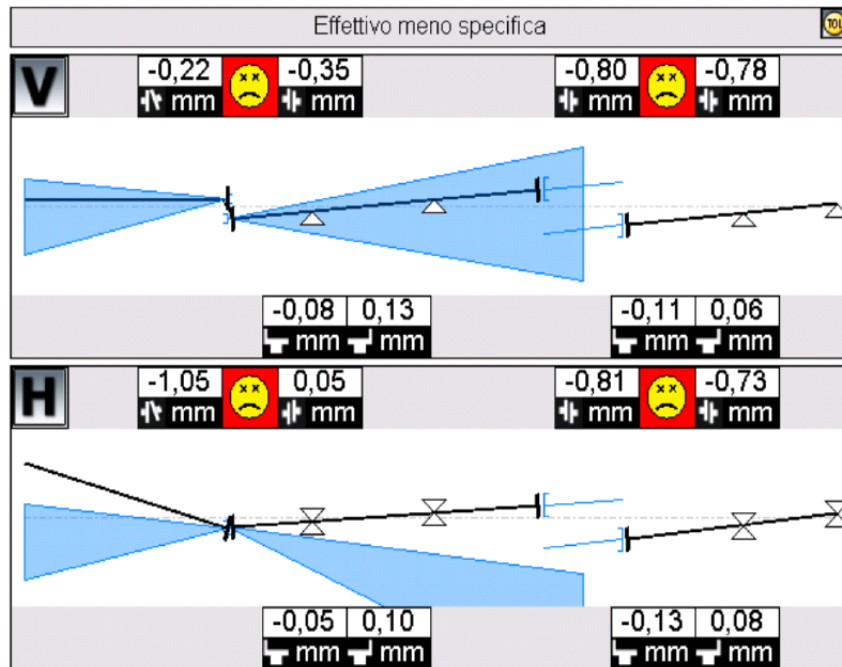
Sede Legale e Uffici:
PRÜFTECHNIK S.r.l.
Via Dr. Nicola LIME
20090 Cesario Bossone (MI)
Tel: 02 4816 141
Fax: 02 4816 142
info@pruftechnik.it

Divisione Prodotti NOT
Via delle Brigole, 16
23877 Panetto d'Adda (LC)
Tel: 039 890181
Fax: 039 890182
email: info@pruftechnik.it

Tecnologia produttiva per la manutenzione
N. Reg. Imprese 0460270159
Cap. Soc. € 78.800.00 I.v.
R.E.A. 196793
P. IVA e Cod. Fisc. 1248370159
Deutsche Bank Trezzano s.n. Ag. 471
IBAN: IT 26120161391000000130386
www.pruftechnik.it

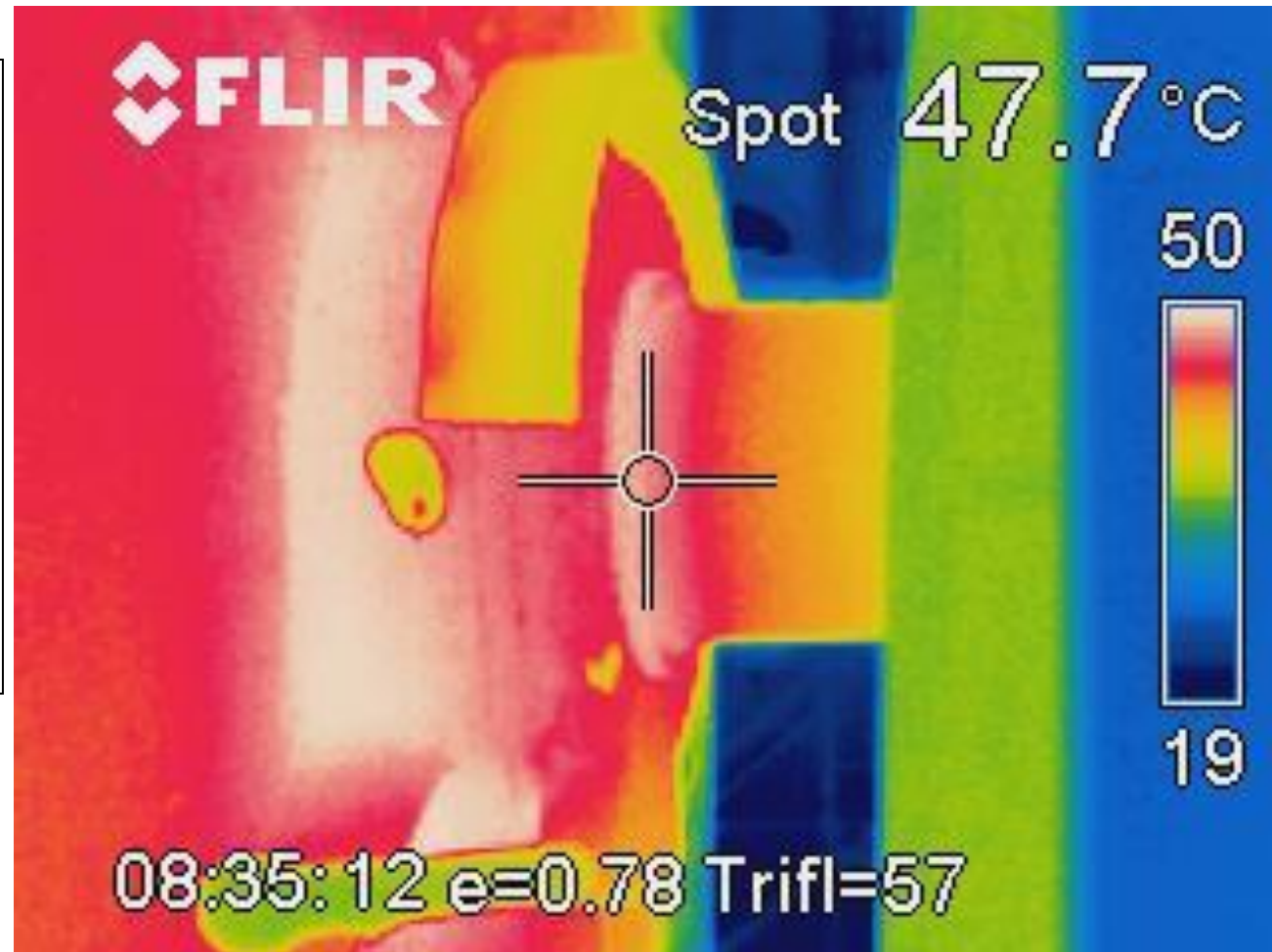
Fase 7 ° report ed interventi ispettivi più approfonditi :

Report di Allineamento



Fase 7 ° report ed interventi ispettivi più approfonditi :

Interventi ispettivi
più approfonditi :
Esame termografico
su un
Cuscinetto-Motore

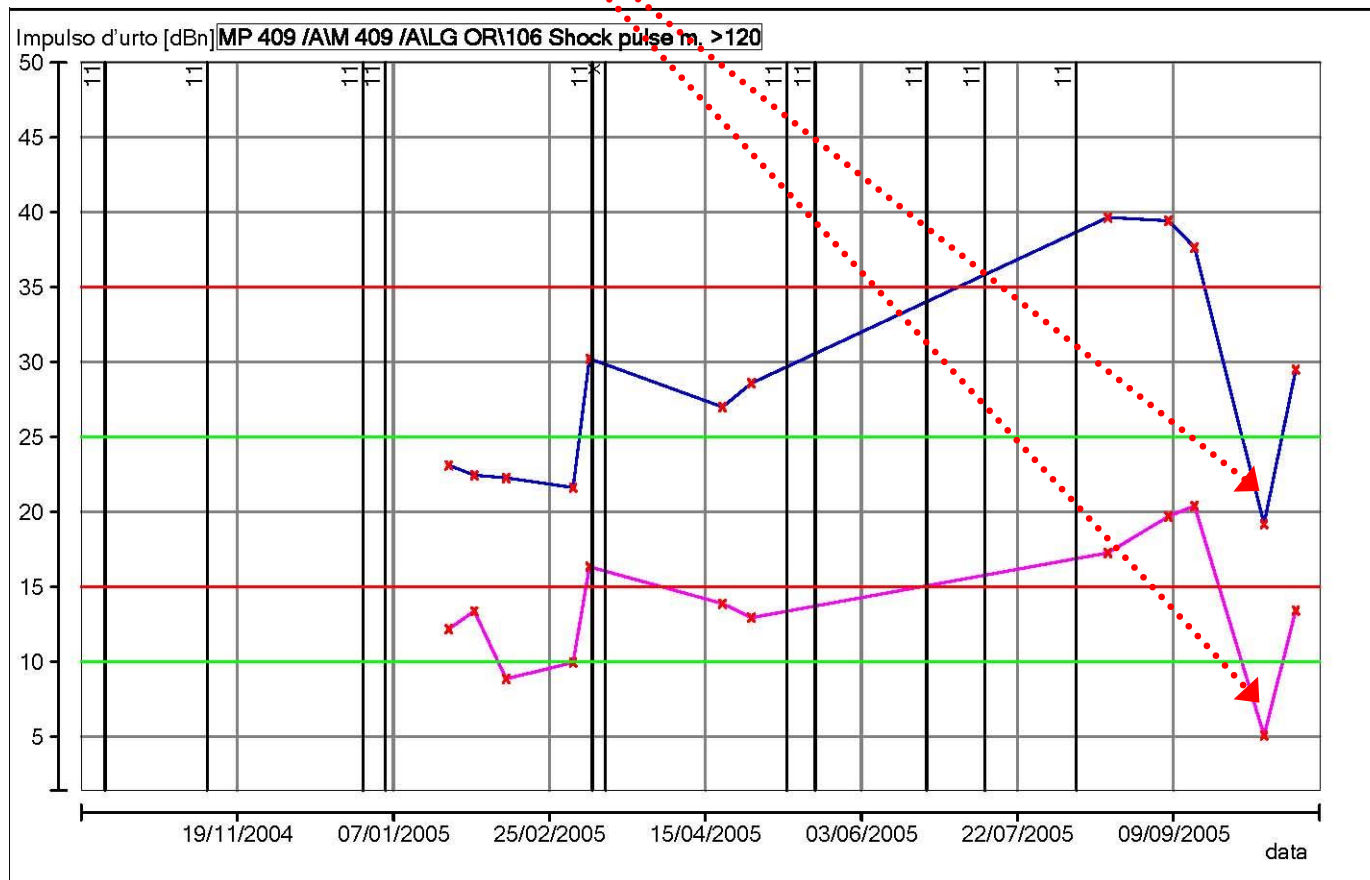


Fase 8 ° e fase 9° aggiornamento frequenza di controllo in base alla reale condizione :



PRÜFTECHNIK

Sostituzione Cuscinetto Volvente

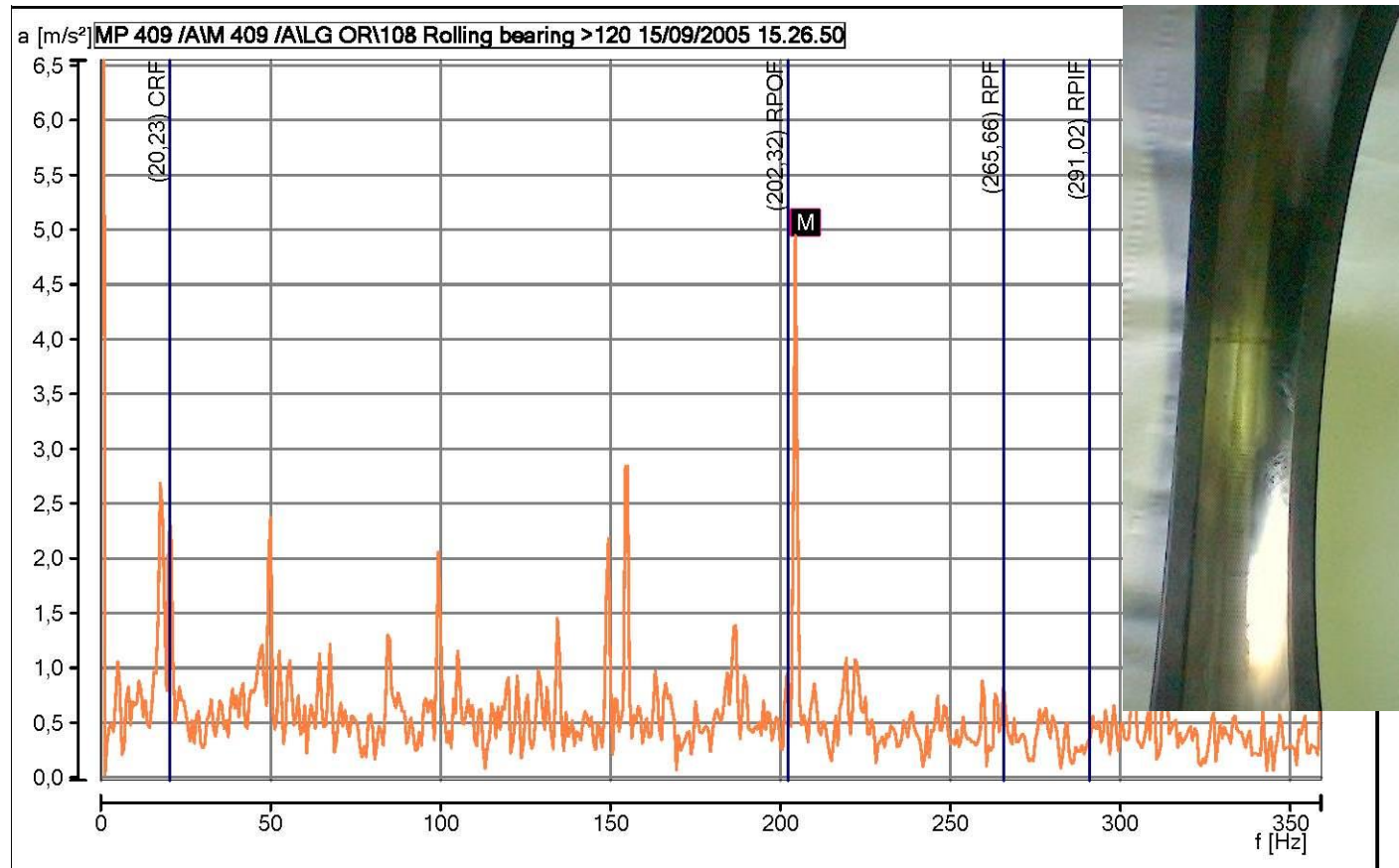


Fase 8 ° e fase 9° aggiornamento frequenza di controllo in base alla reale condizione:



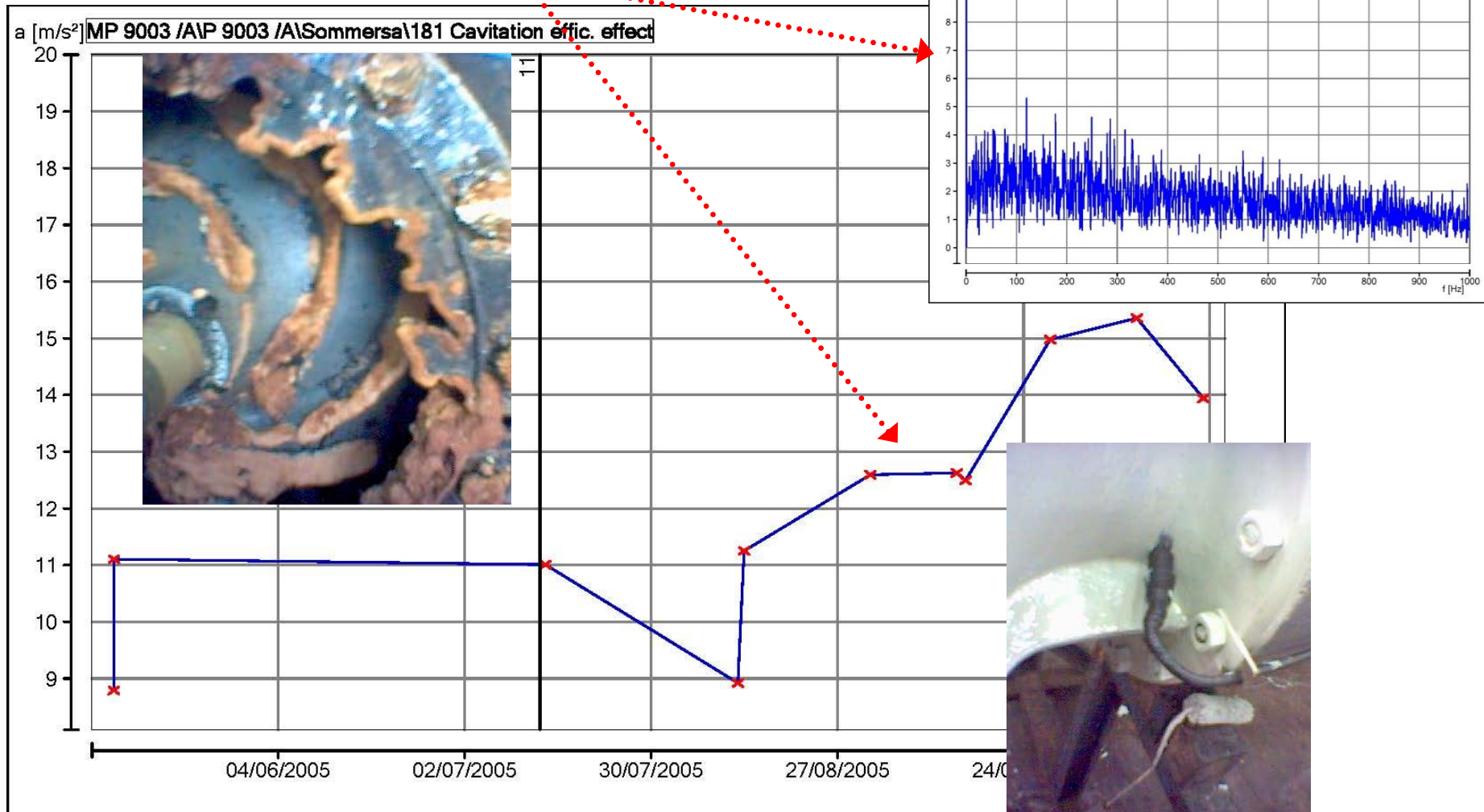
PRÜFTECHNIK

Danneggiamento alla pista esterna



Fase 8 ° e fase 9° aggiornamento frequenza di controllo in base alla reale condizione :

Forte Cavitazione

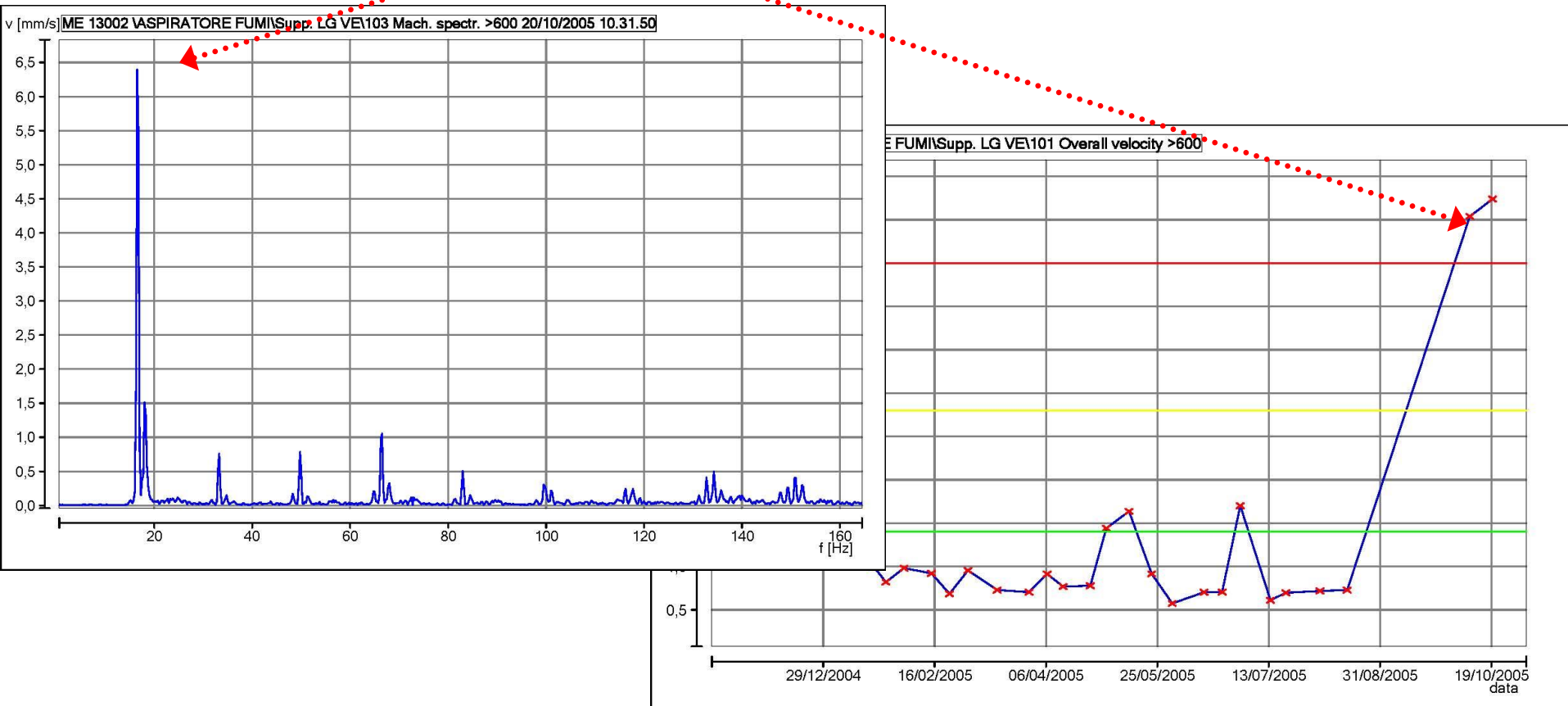


Fase 8 ° e fase 9° aggiornamento frequenza di controllo in base alla reale condizione:



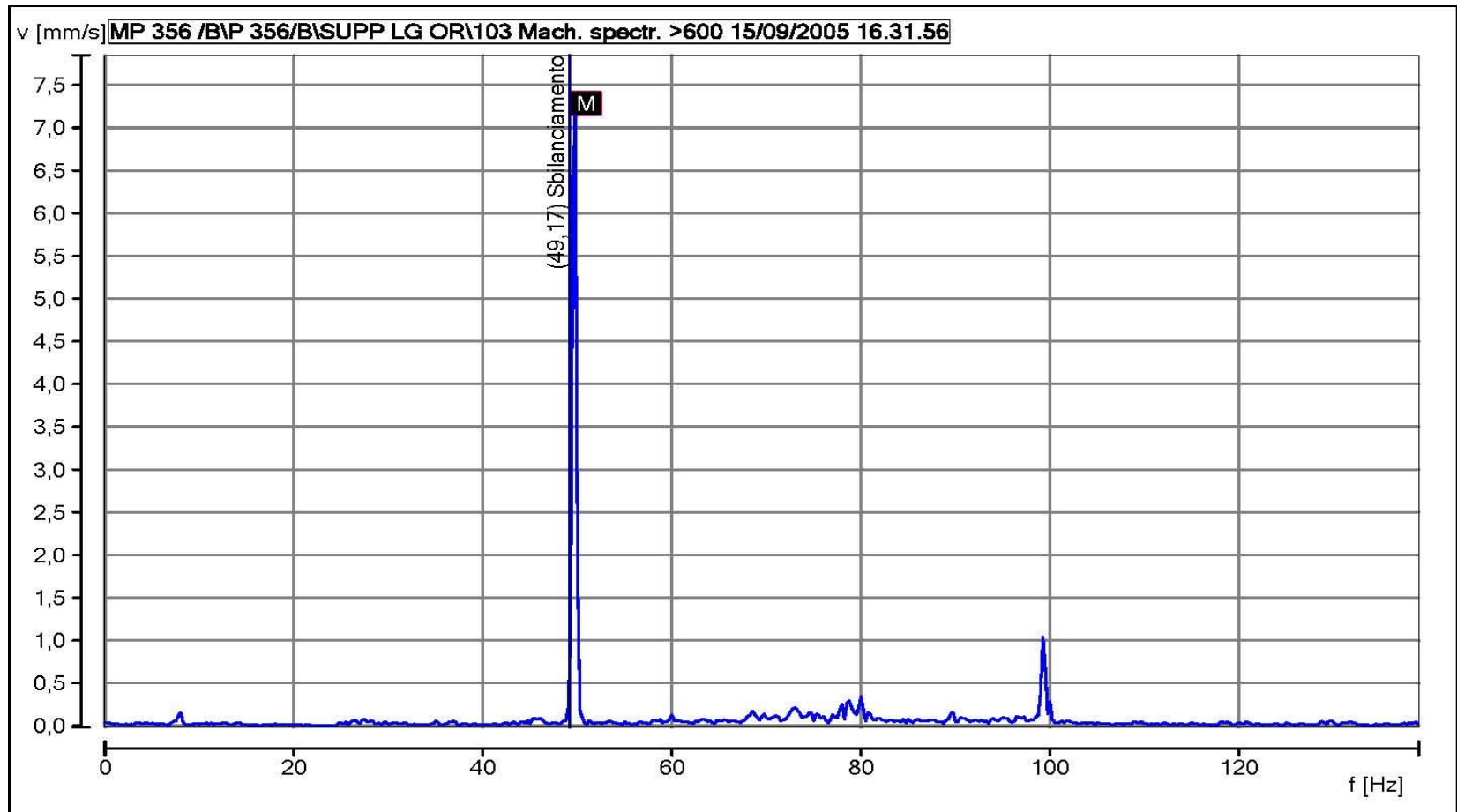
PRÜFTECHNIK

Turbolenza di flusso



Fase 8 ° e fase 9° aggiornamento frequenza di controllo in base alla reale condizione :

Forte Sbilanciamento



Fase 10 ° evoluzione verso una manutenzione proattiva :

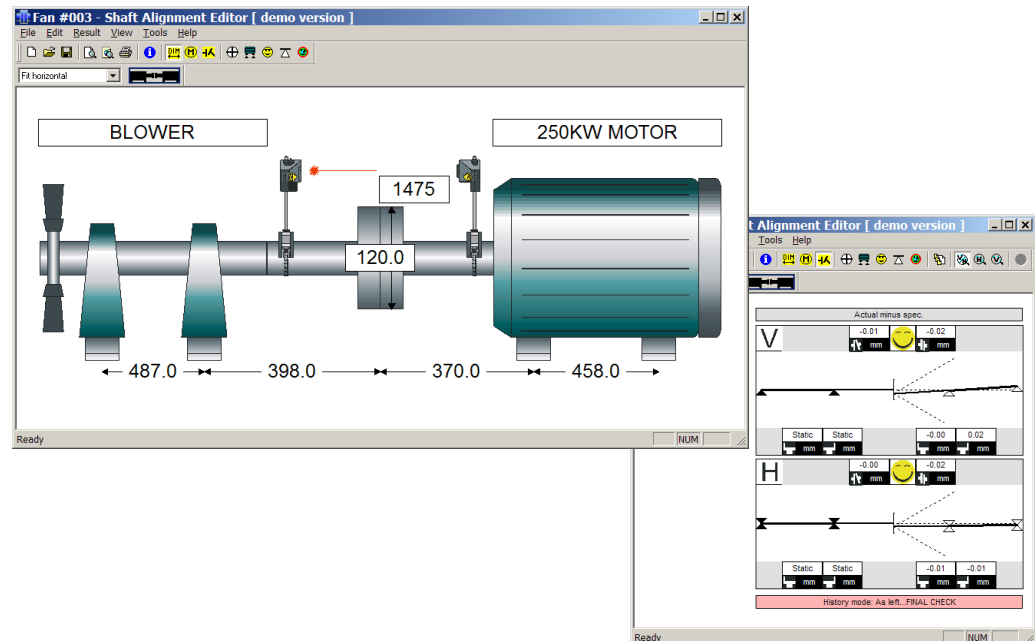
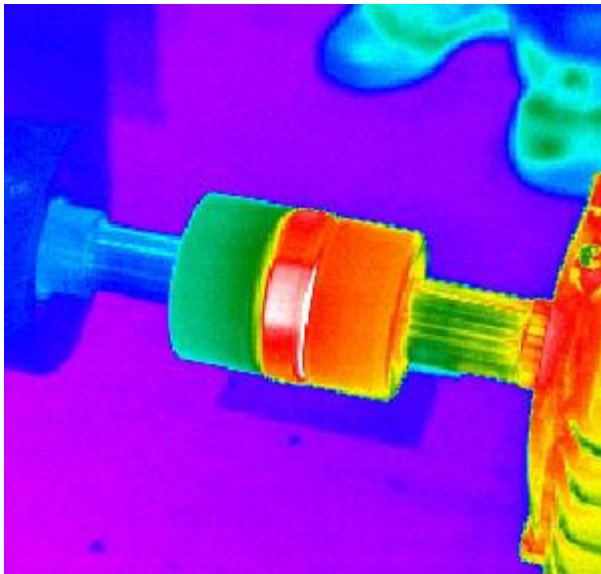


Informazioni aggiuntive come immagini all'infrarosso, report di allineamento, analisi tribologica possono essere collegati ad una specifica macchina allo scopo di definire il problema ed eliminarlo alla fonte con interventi di re-engineering del macchinario stesso.

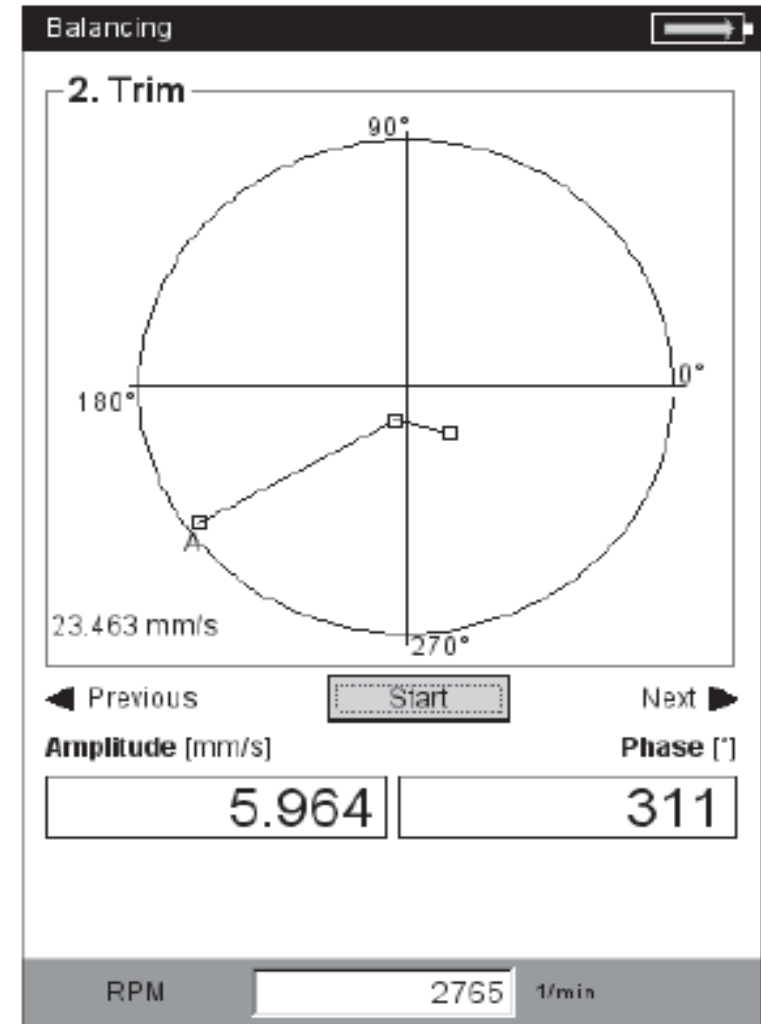
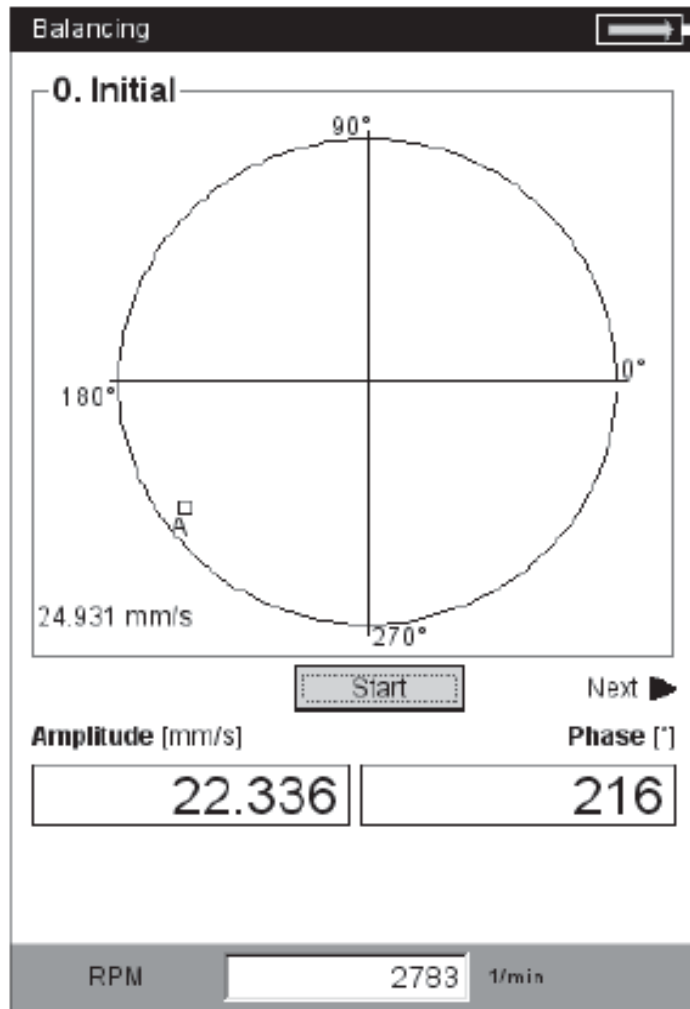
Information :- New Database\New Location\New Train\New Mac...

CommonData	Machine Data	MultiView	Frequency Markers	Graphic Layout	Events	Additional Info
Name	Size	Type	Date			
ShaftCoupler.jpg	23332	JPEG Image	4/2/2004 3:44:15 PM			
Pump-Motor with Spacer	565	ROTALIGN PRO Shaft Alignment Template File	8/24/2004 2:05:12 PM			
Flange Machine	717	ROTALIGN PRO Shaft Alignment Template File	8/24/2004 2:05:12 PM			
Pump-Gearbox-Motor	949	ROTALIGN PRO Shaft Alignment Template File	8/24/2004 2:05:12 PM			

Add Open Save As Delete



Fase 10 ° evoluzione verso una manutenzione proattiva :



L'allineamento laser delle macchine rotanti

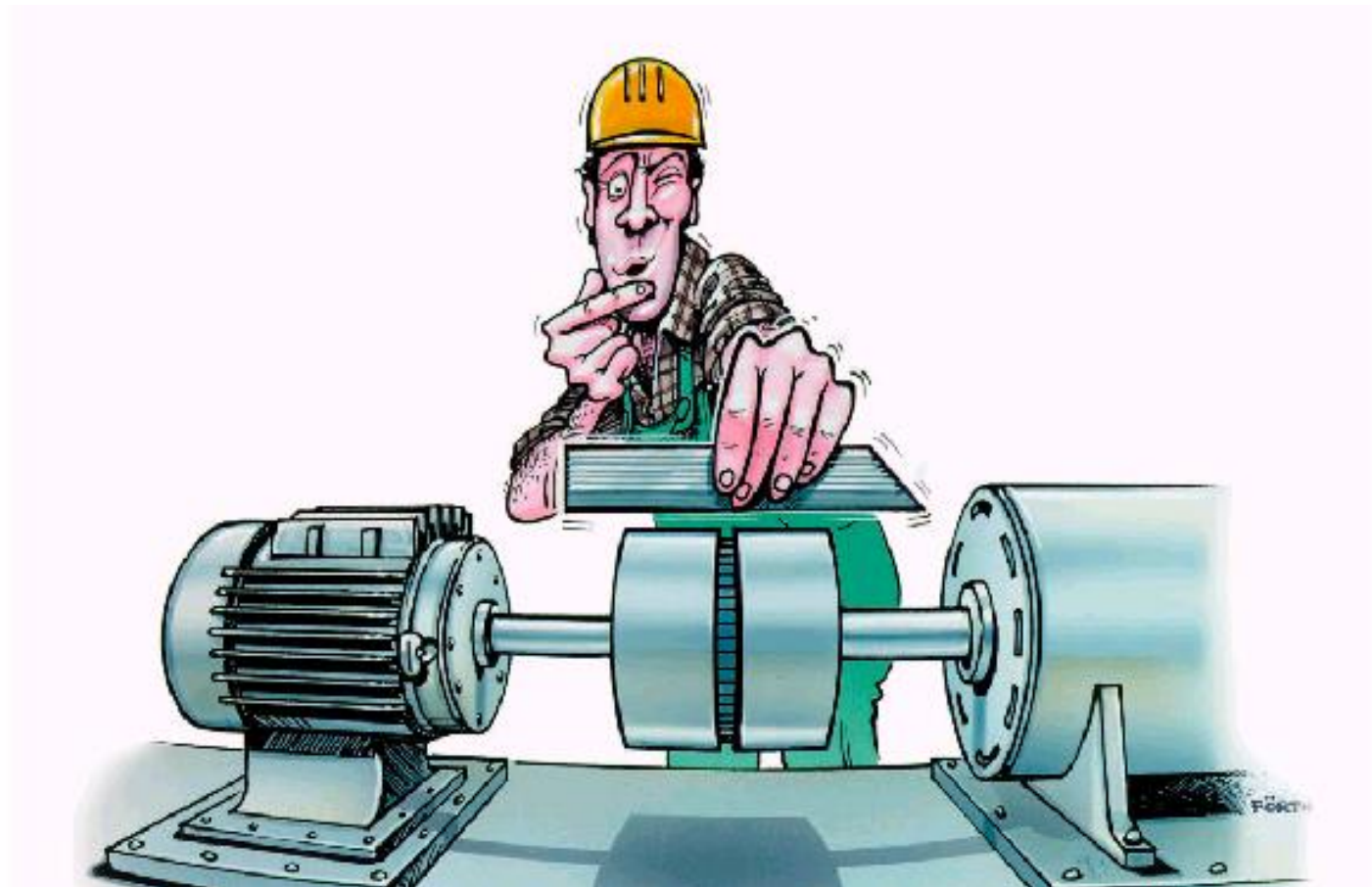
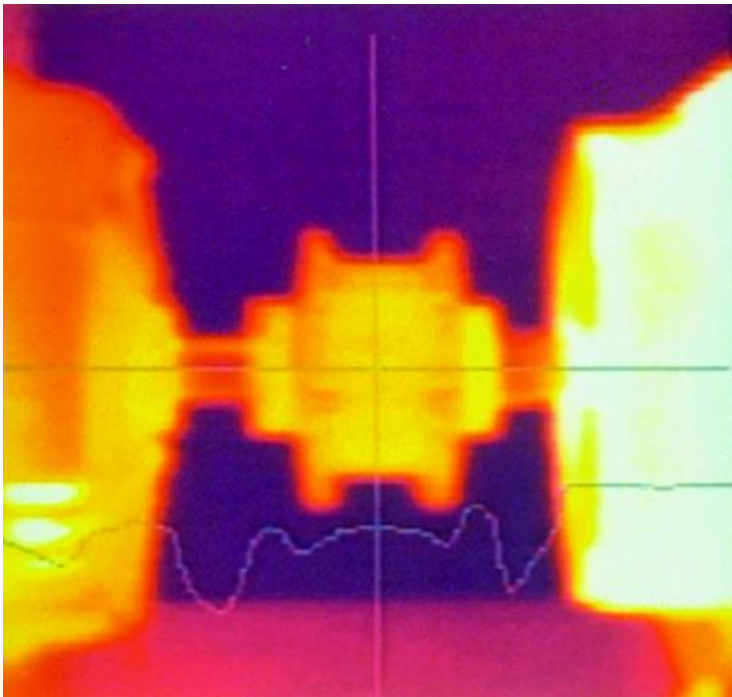
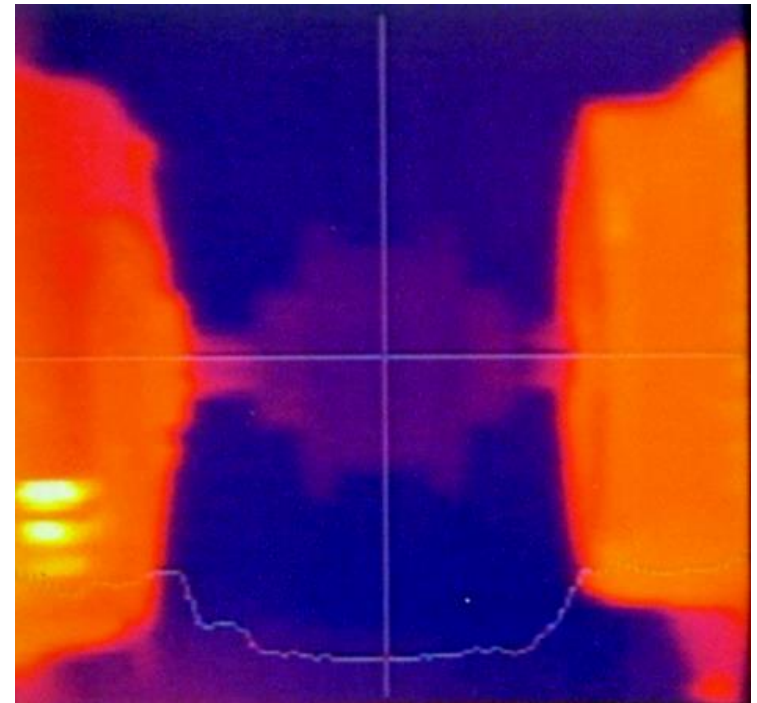


FOTO INFRAROSSO DELLE EMISSIONI TERMICHE

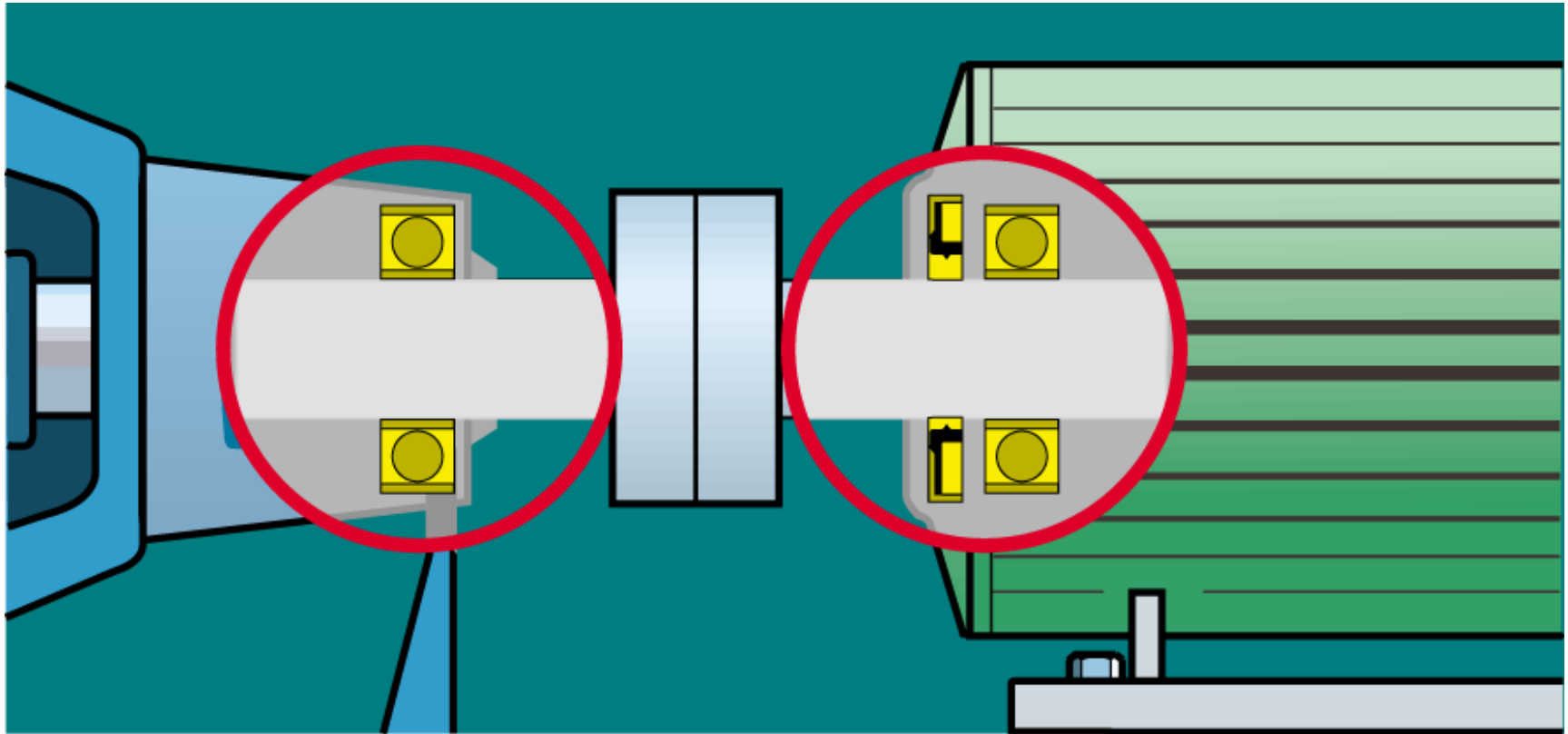


TRENO DISALLINEATO



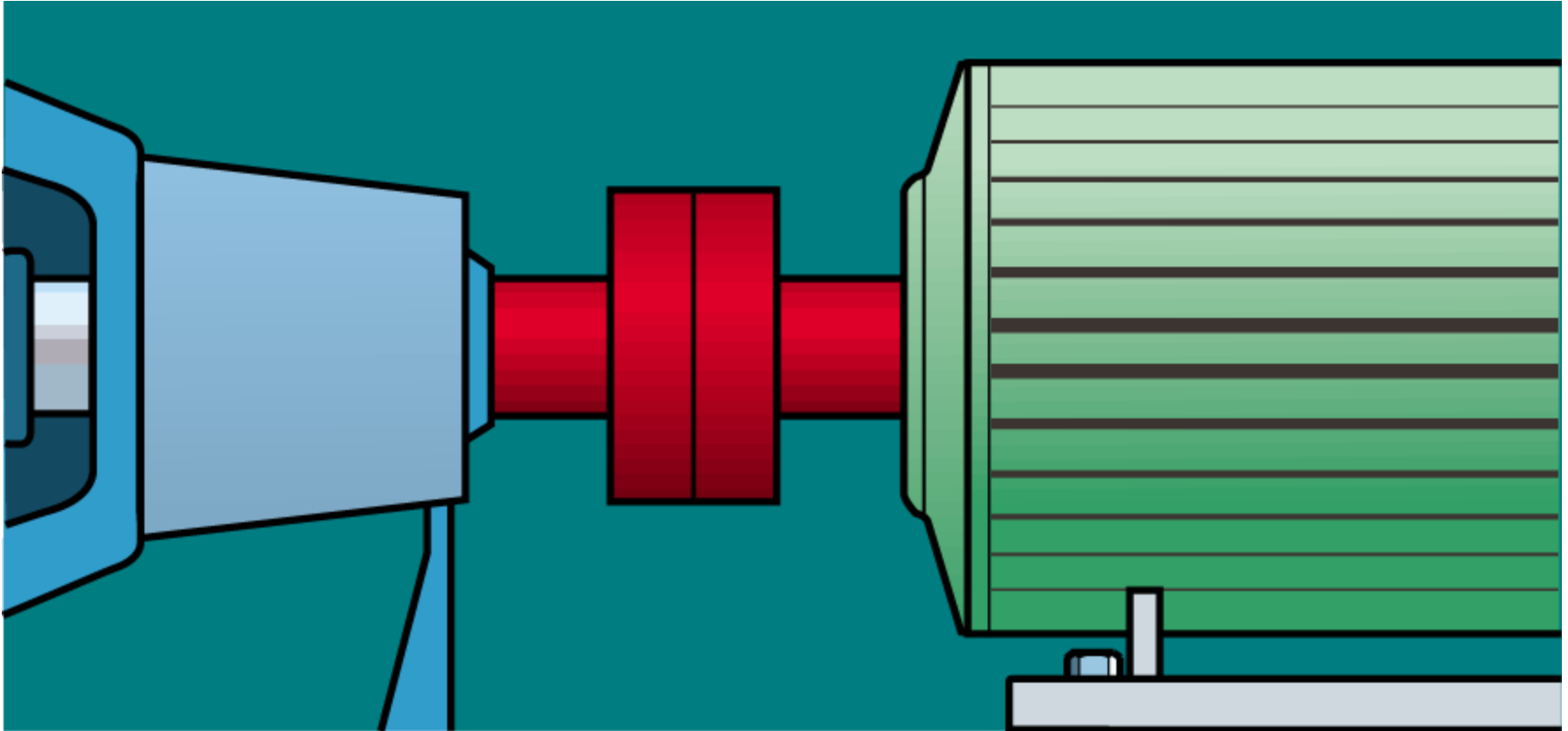
TRENO ALLINEATO

UN CATTIVO ALLINEAMENTO PROVOCA:



AUMENTO DEL CARICO SUI CUSCINETTI

UN CATTIVO ALLINEAMENTO PROVOCA:

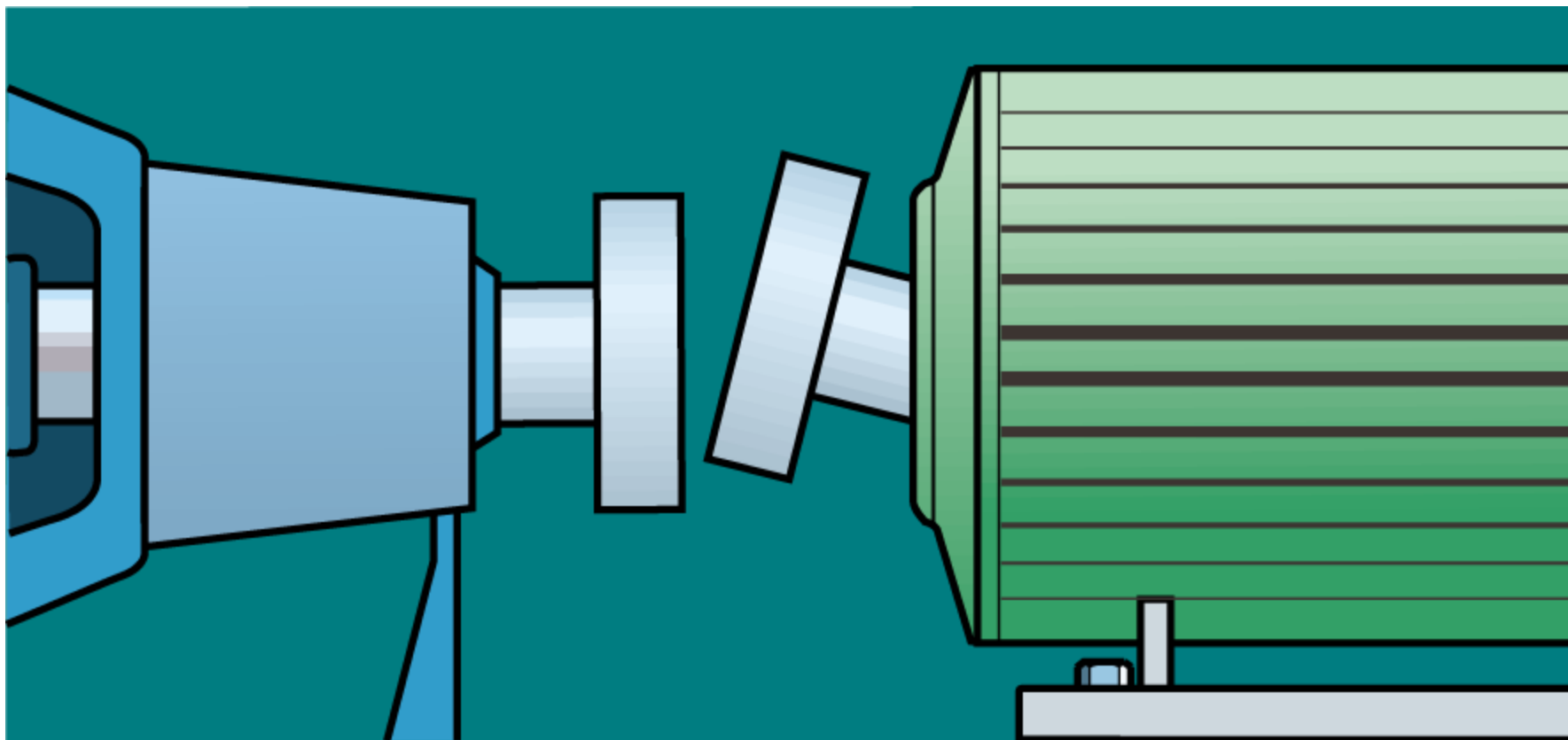


AUMENTO USURA GIUNTO E TENUTE

QUINDI TUTTO QUESTO PROVOCA:

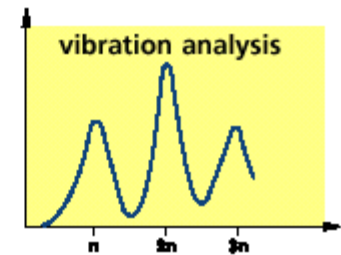
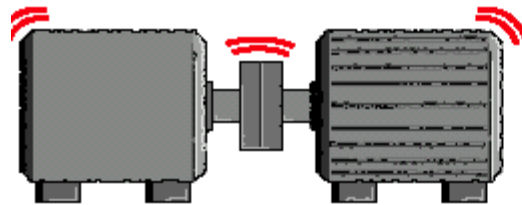


PRÜFTECHNIK

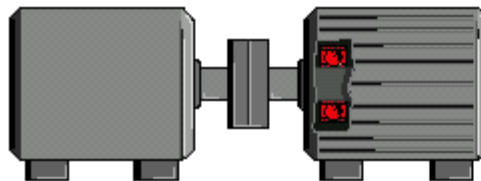


UNA RIDUZIONE DELLA VITA OPERATIVA

Alte vibrazioni

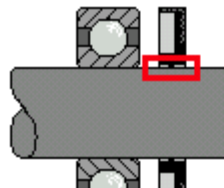


Rottura cuscinetti



Consumo tenute

bending

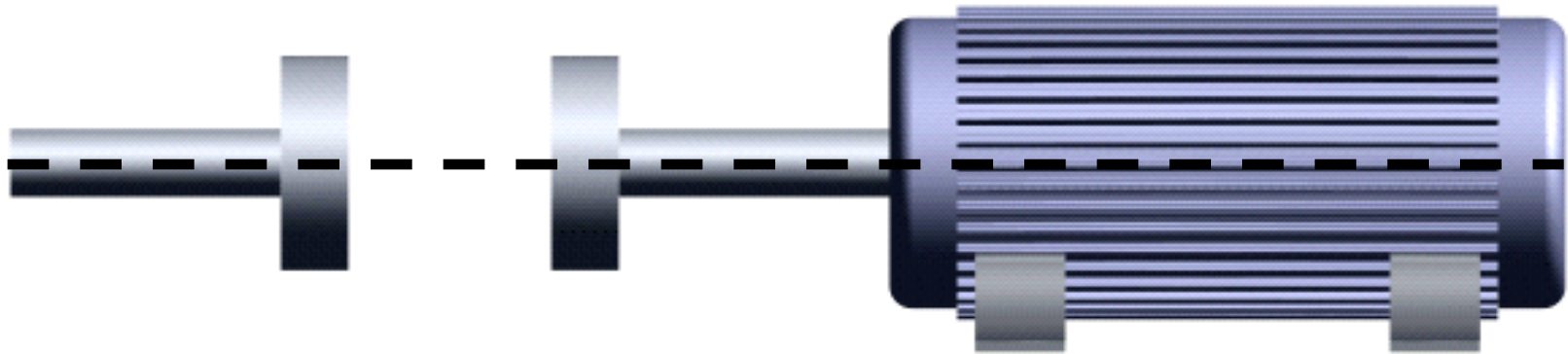


Tenute aperte:
sporcizia, liquidi,
gas o fluidi di
processo entrano nel
cuscinetto

Ma che cos'è l'allineamento ?

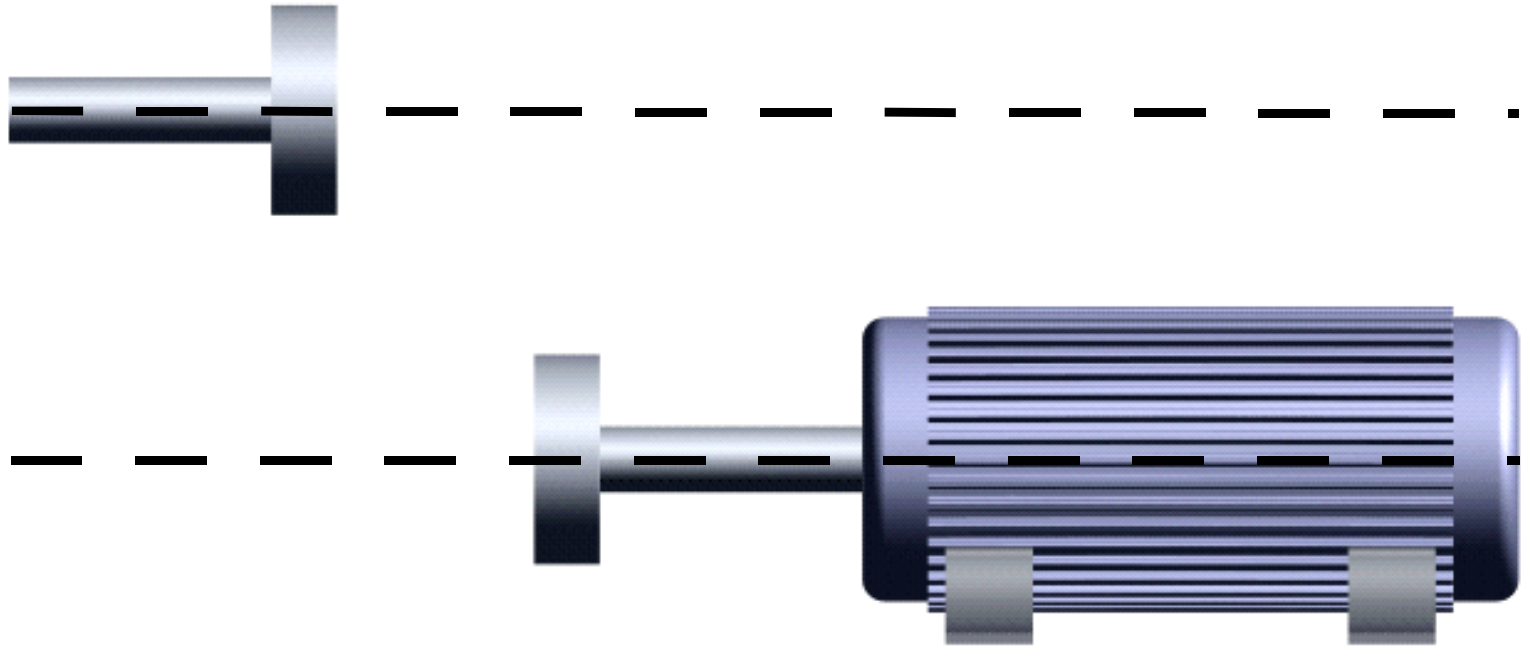


- Due macchine si dicono allineate quando i loro assi geometrici di rotazione giacciono sulla stessa retta durante la normale condizione di servizio



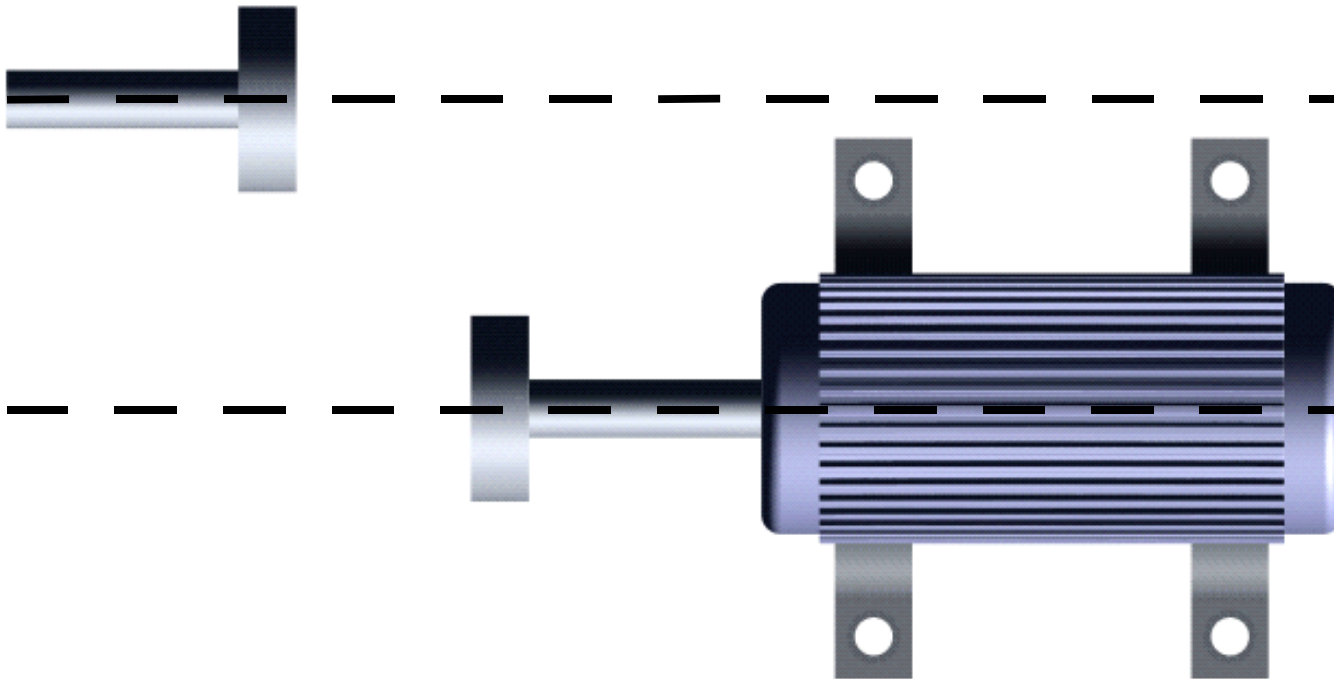
- Carico, temperatura, pressione , flusso normalizzato

Disallineamento Parallelo (Offset) Verticale



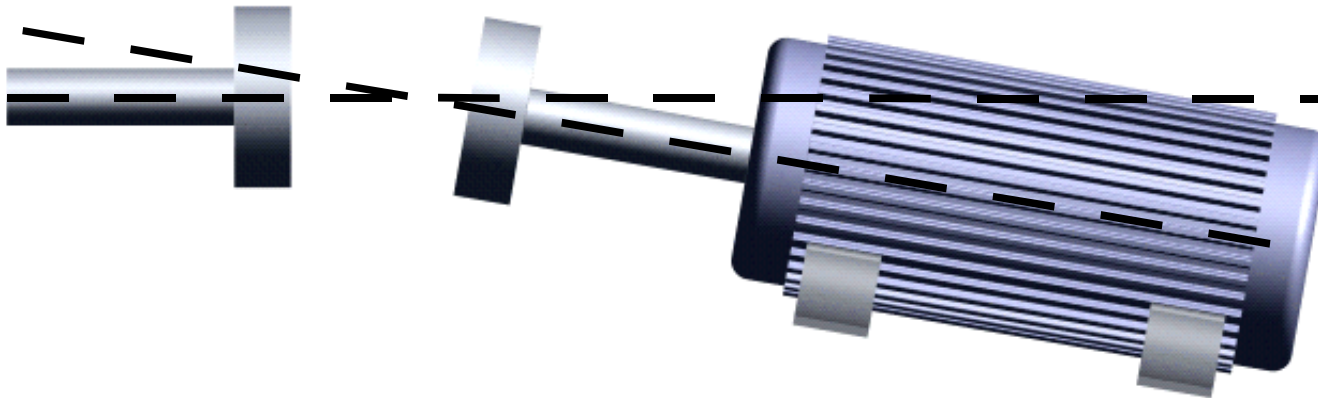
Piano Verticale

Disallineamento Parallelo (Offset) Orizzontale



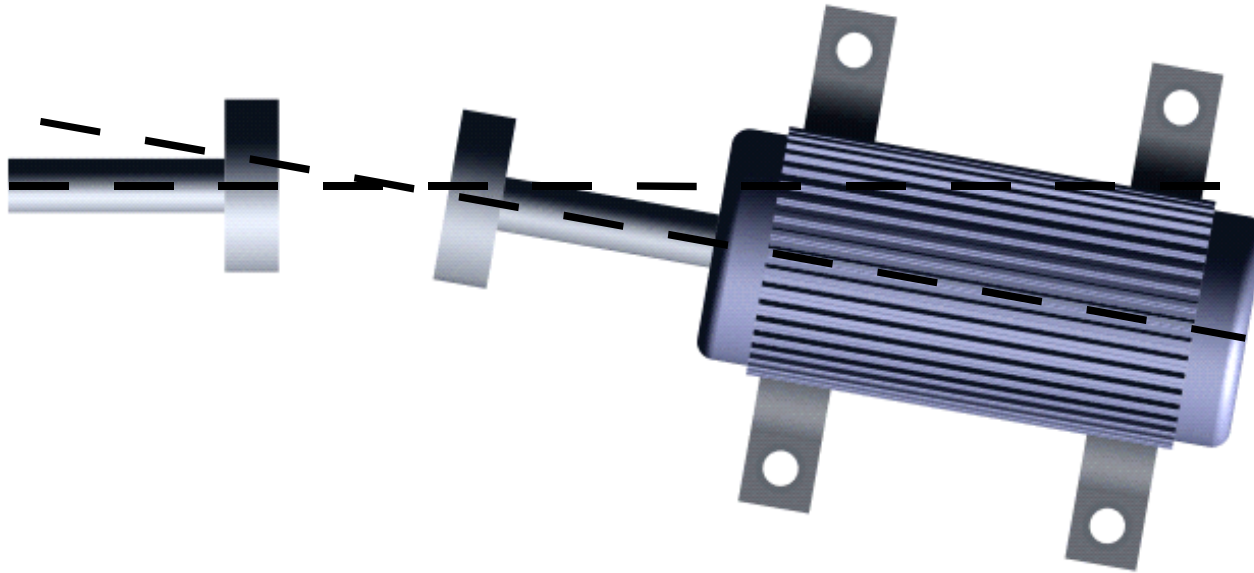
Piano Orizzontale

Disallineamento Angolare Verticale (Gap)



Piano Verticale

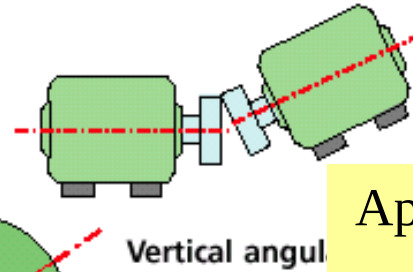
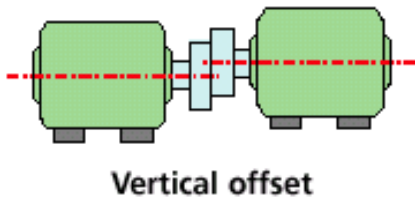
Disallineamento Angolare Orizzontale (Gap)



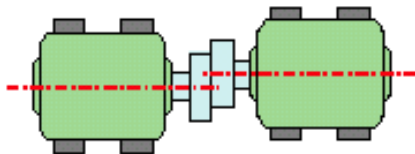
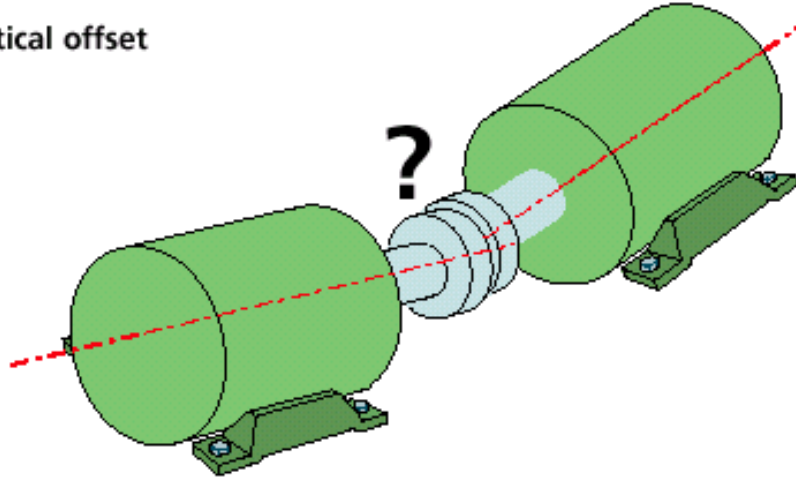
Piano Orizzontale

Quattro tipi di disallineamento combinati

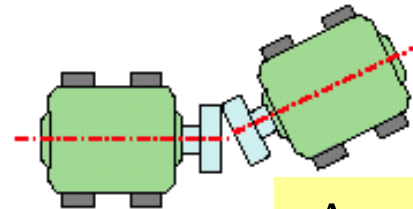
Parallelo verticale



Apertura Angolare
verticale

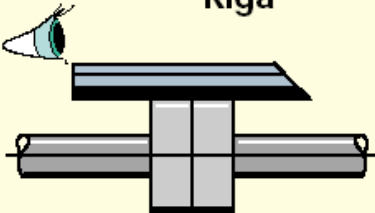
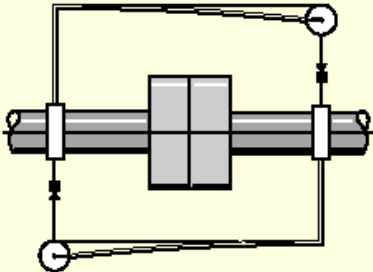
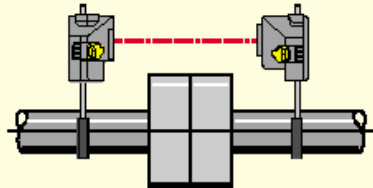
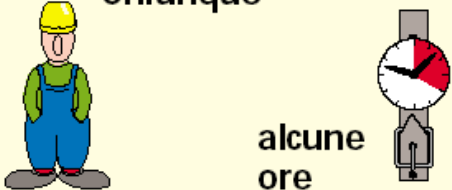
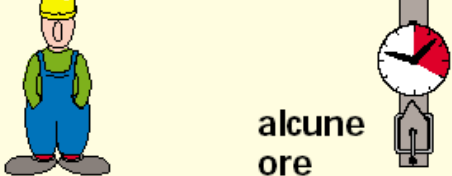
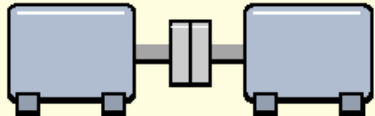
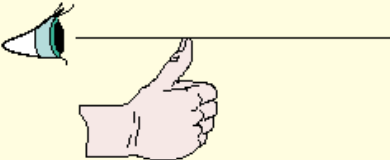
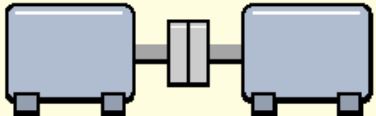
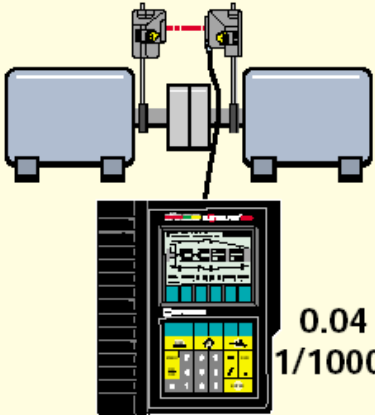


Parallelo orizzontale

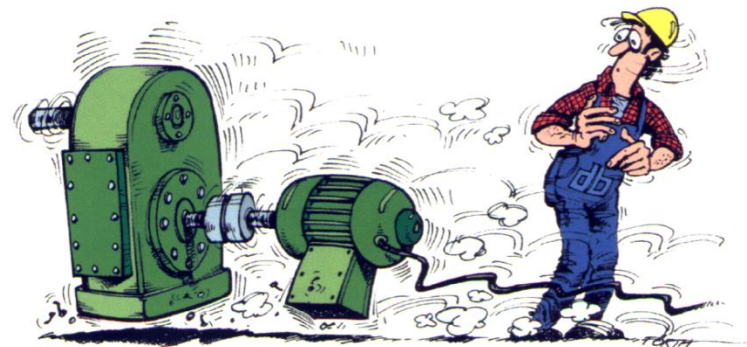


Apertura Angolare
orizzontale

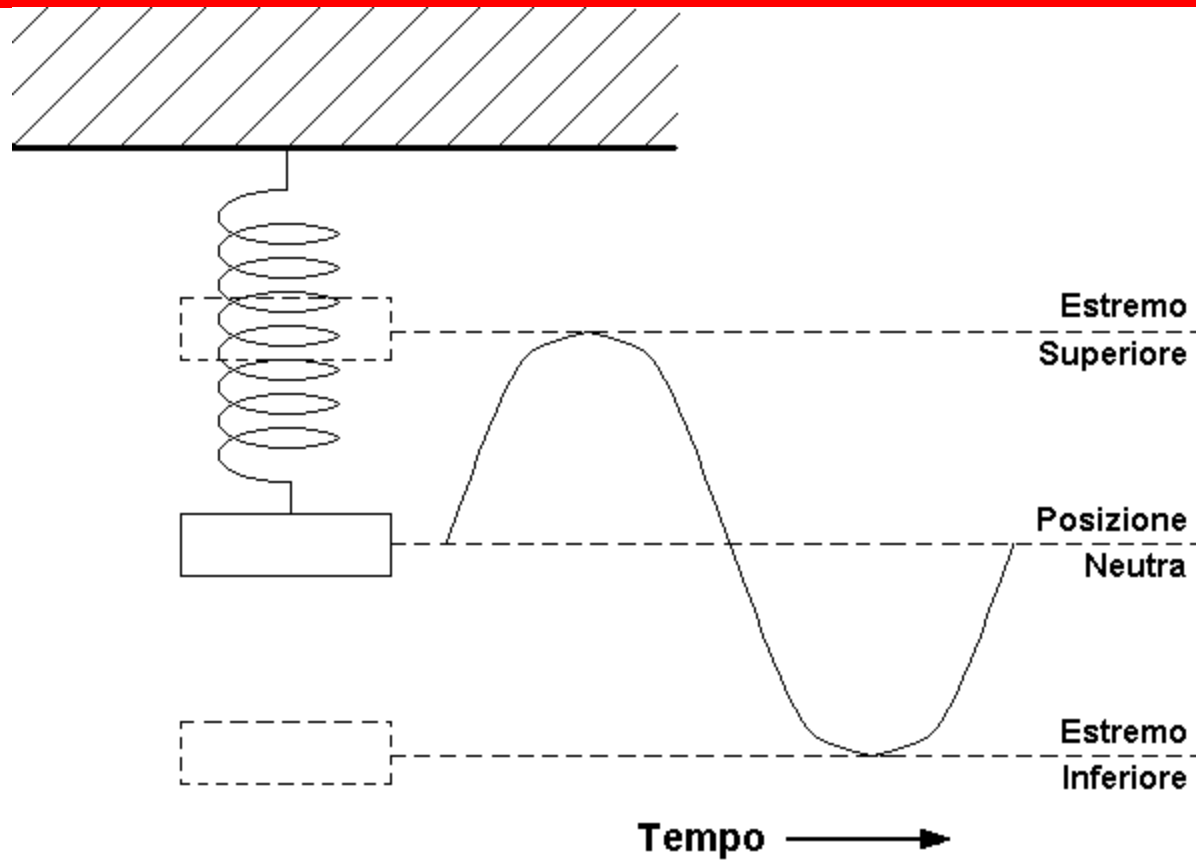
Confronto metodi allineamento

Metodo	 Riga	 Comparatore	 ROALIGN® PRO
Operatore	 The Wizard	 lo specialista	 Chiunque
Training richiesto	 Anni di esperienza	 settimane o mesi	 alcune ore
Precisione di allineamento	 max. 4 mils 1/10 mm 	 0.4 mil 1/100 mm 	 0.04 mil 1/1000 mm

La Vibrazione

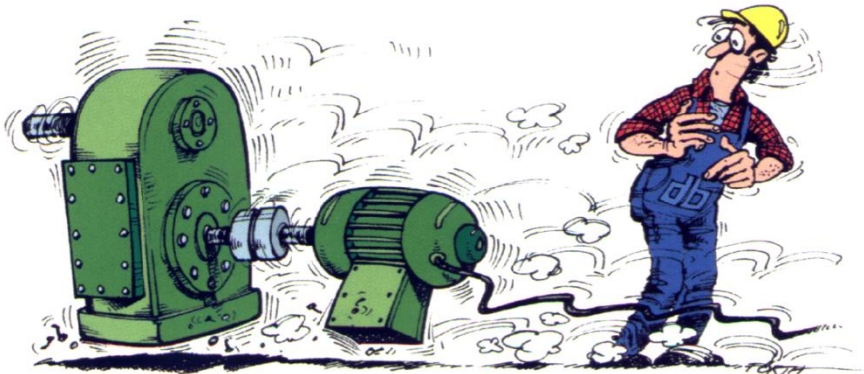


Cos'è la vibrazione?

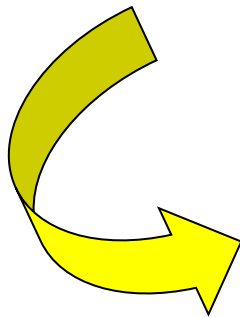


La vibrazione è generalmente considerata il movimento nel tempo di una massa o di un corpo rispetto alla sua posizione di riposo.

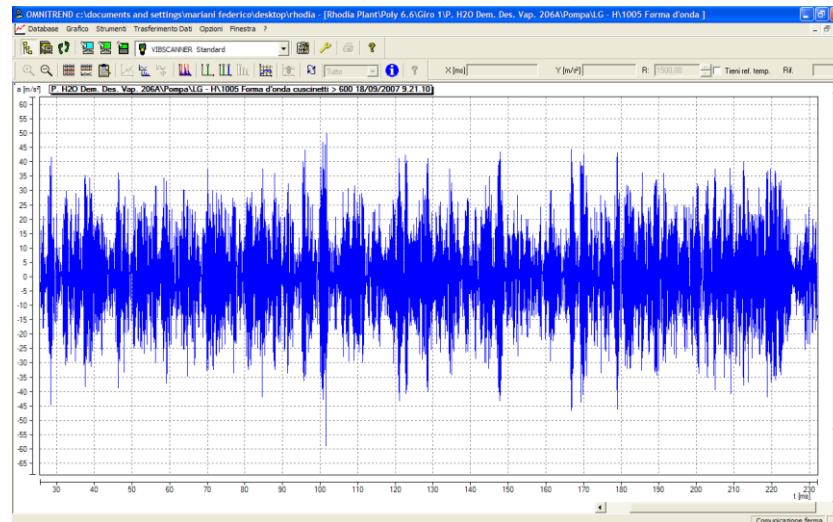
Perché le macchine vibrano?



- “Imprecisioni” costruttive (tolleranze)
- Particolari condizioni operative
- Anomalie e guasti

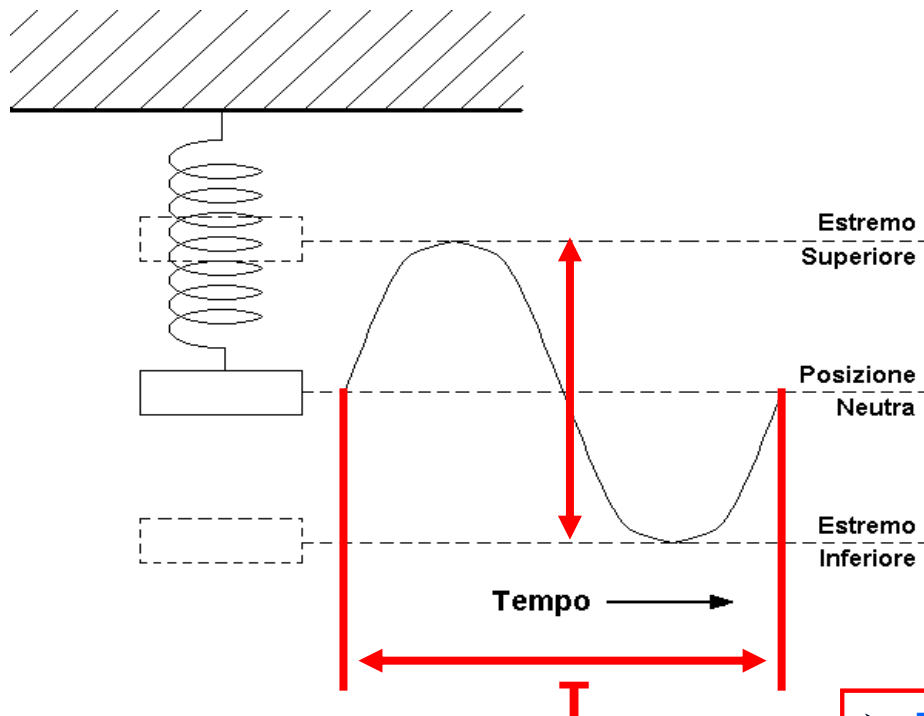


Forma d'onda



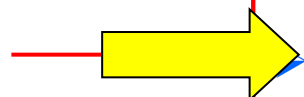
- Ci sono tre principali caratteristiche del segnale di vibrazione che devono essere prese in considerazione:

1. Ampiezza
2. Frequenza
3. Fase



- L'ampiezza e la frequenza sono facilmente riconoscibili osservando l'oscillazione
- Sono le due caratteristiche più facilmente interpretabili

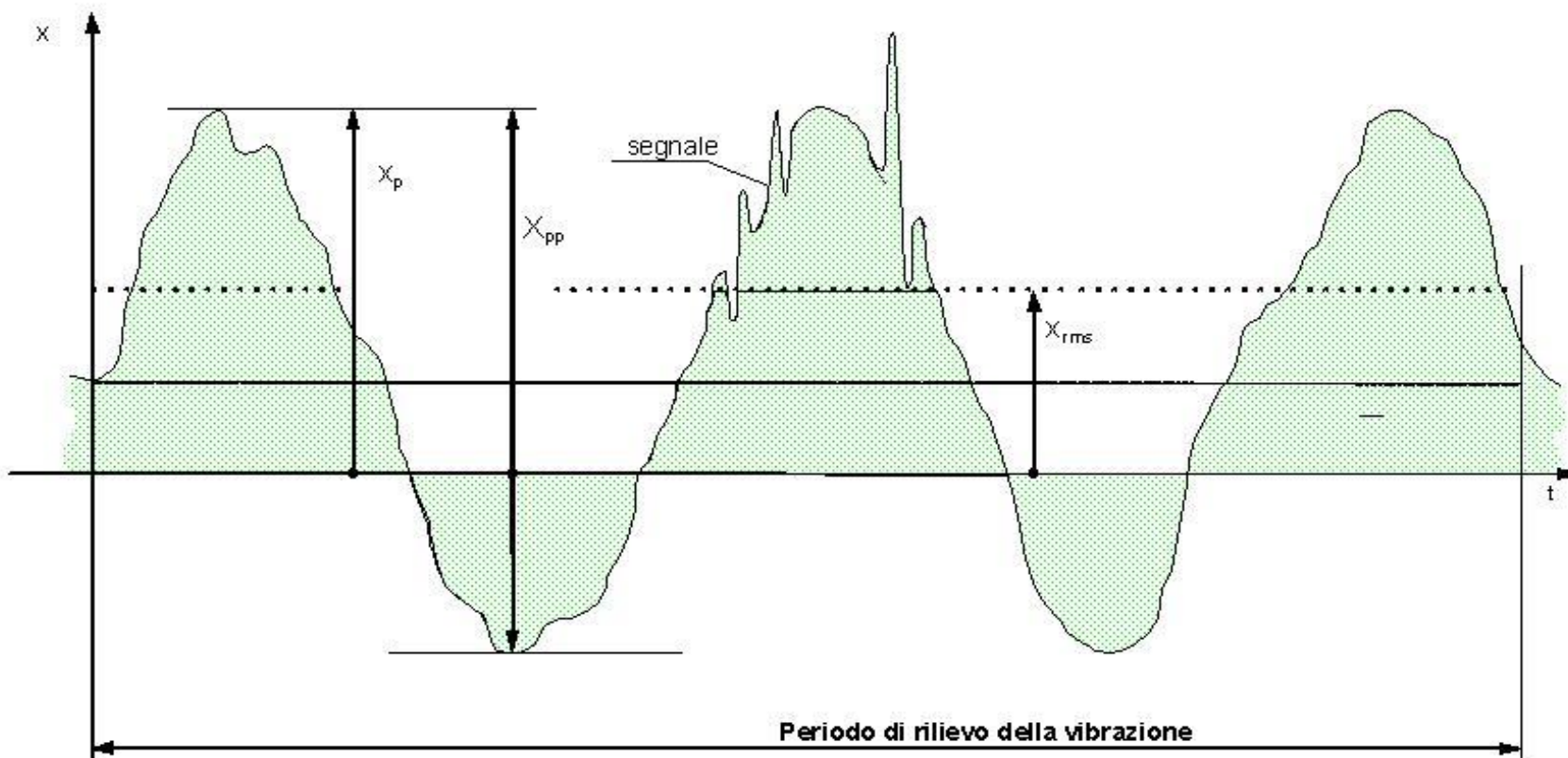
Ampiezza



Frequenza



- **Definito periodo T è il tempo necessario a compiere un'oscillazione (s)**
Quanto è intenso il fenomeno
Misurabile come:
 - Spostamento (μm)
 - Velocità (m/s)
 - Accelerazione (m/s^2)
- La frequenza f è il numero di oscillazioni nell'unità di tempo (Hz)
 - **Come è fatto il fenomeno**
 $f = 1 / T$



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

La slide precedente mostra una forma d'onda complessa che rappresenta quello che la sonda di vibrazioni rileva istante per istante e che viene acquisito dall'analizzatore.

Su questa forma d'onda vengono calcolati i valori di ampiezza della vibrazione.

I valori possono essere :

RMS o Valore Efficace $\sqrt{1/n * \sum x^2}$), rappresenta l'energia associata al fenomeno. E' il valore più utilizzato perchè indica quanto la vibrazione sia effettivamente in grado di danneggiare la macchina (usato nelle tavole delle norme ISO 10816). Il valore RMS è ottenuto calcolando la media dei quadrati dell'ampiezza dei singoli punti che costituiscono la forma d'onda da cui viene estratta la radice quadrata. Poiché il valore RMS è ottenuto da un processo di media si utilizza per monitorare le macchine che lavorano in condizioni operative stazionarie e cioè ad esempio con numero di giri e carichi costanti.

0 – Pk, il valore di picco indica l'ampiezza del picco più elevato della forma d'onda presa in esame. In generale è utilizzato per analizzare fenomeni transitori, ad esempio run-up o coast-down, dove il valore RMS avrebbe poco significato perché andrebbe a mediare valori ottenuti da un processo non stazionario.

Pk – Pk, rappresenta la distanza tra i picchi positivi e negativi più elevati. E' normalmente utilizzato per analizzare le vibrazioni in termini di spostamento.

Si utilizza quando si è interessati allo spostamento massimo (albero in un cuscino a strisciamento) o quando si studiano fenomeni impulsivi (danni ai cuscinetti).

Confronto fra le unità

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

RMS : Il valore efficace rappresenta l'energia associata alla vibrazione

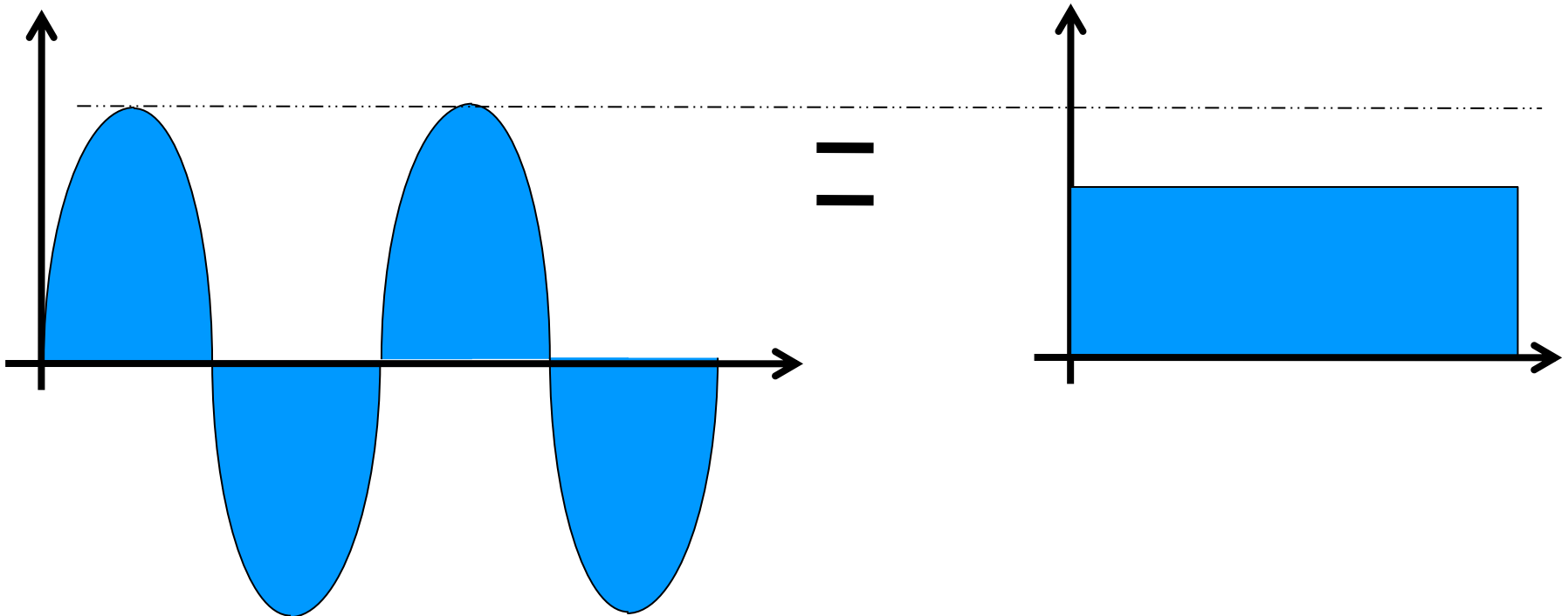
Esiste una semplice formula per poter passare dal valore di 0-Pk a quello RMS e viceversa che è la seguente :

Valore RMS = Valore 0-Pk / 1,414 (Valida solo per valori ricavati dallo spettro)

Questa formula è valida esclusivamente se i valori utilizzati sono quelli ottenuti dalla trasformata di Fourier (FFT) e cioè il valore dell'ampiezza del picco preso dallo spettro. L'errore nel risultato è più o meno grande a seconda della risoluzione in frequenza ($\Delta f = \text{Intervallo di frequenza} / \text{numero linee}$) scelta per il calcolo della FFT.

Il **valore efficace** (anche detto **valore quadratico medio**) di una grandezza elettrica in corrente alternata è un parametro che ha lo scopo di semplificare i calcoli evitando di analizzare ogni istante che costituisce la forma d'onda.

Il valore efficace di una grandezza equivale a quel valore che, in regime di tensione continua, svilupperebbe gli stessi effetti energetici.



Il valore RMS o valore Efficace è la radice quadrata della media dei quadrati dei valori della forma d'onda acquisiti dallo strumento.

$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

IN GENERALE

$$V_{\text{r.m.s.}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

SOLO PER SEGNALI SINUSOIDALI

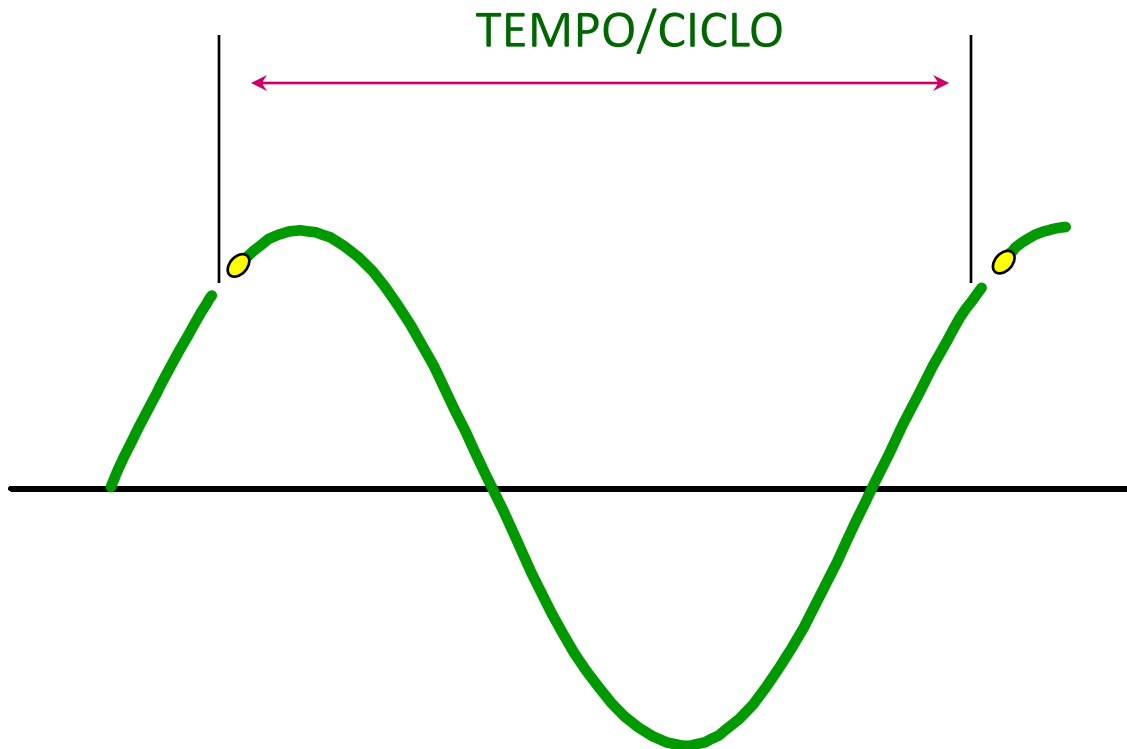
Il *Crest Factor*, chiamato anche *Peak-to-RMS-ratio*, viene definito come il rapporto tra il valore 0-Pk di una forma d'onda ed il suo valore RMS:

$$\text{Crest Factor} = \frac{0-Pk}{RMS}$$

È un numero puro.

Per una forma d'onda sinusoidale il Crest Factor è:

$$\text{Crest Factor}_{\sin} = \frac{0-Pk}{RMS} = \sqrt{2} = 1.414$$



Hertz
1 Hz. = 1 ciclo per sec

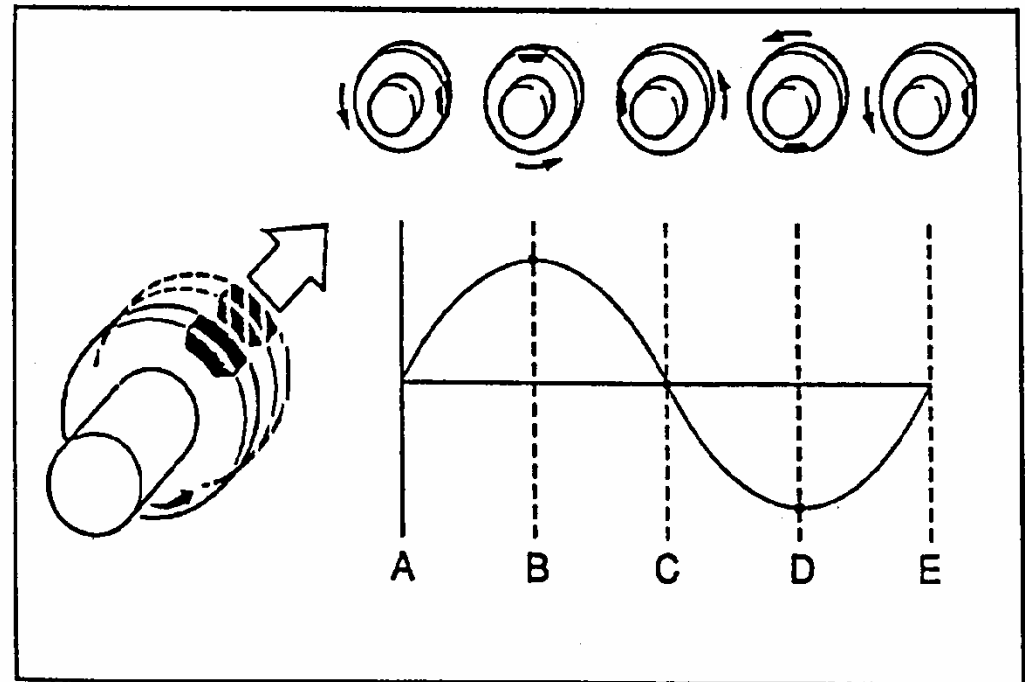
Cpm
1 Cpm = 1 ciclo per min

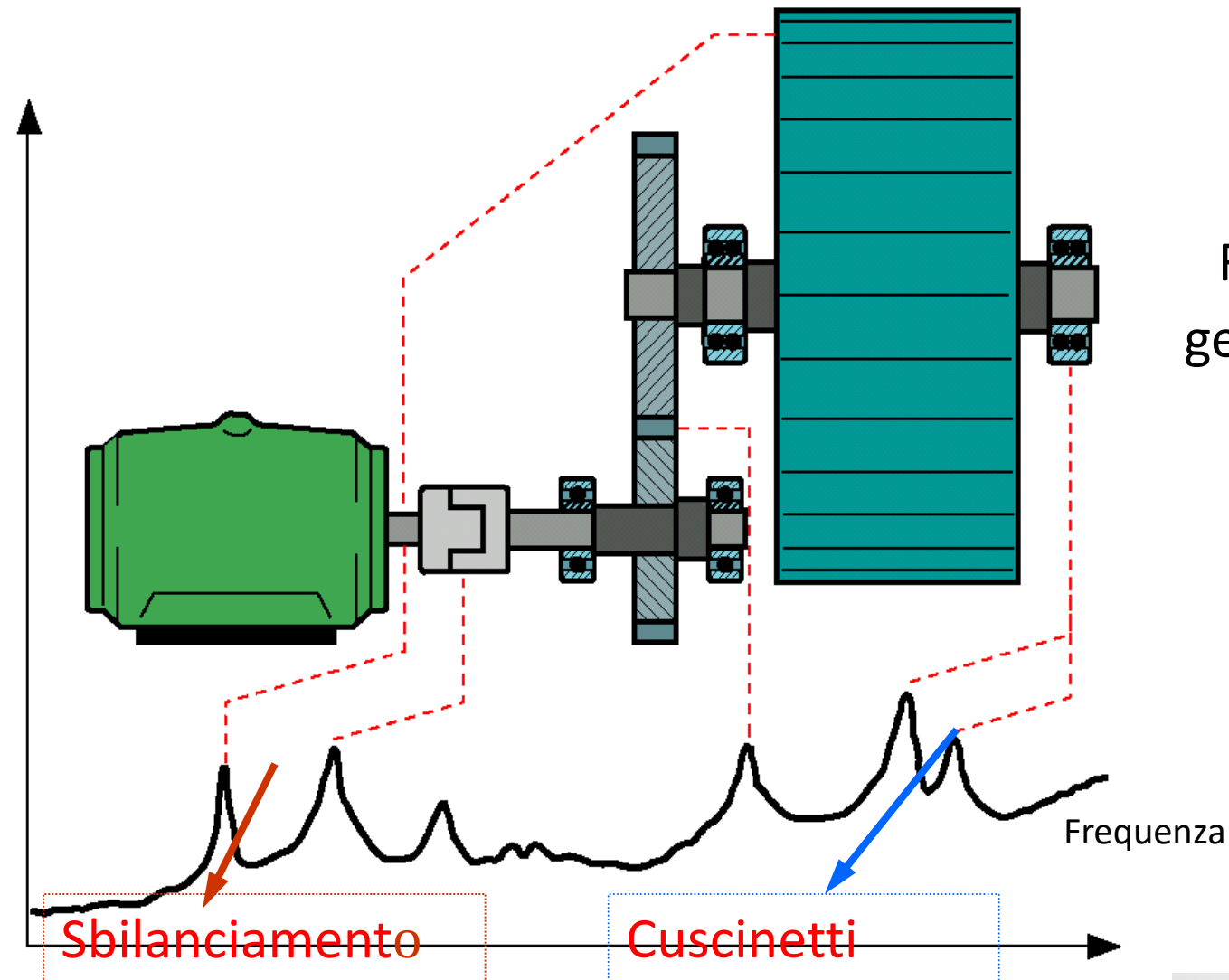
Il tempo impiegato per completare un ciclo rappresenta il periodo della vibrazione.

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

In un motore che abbia l'albero che ruota ad una velocità di 2985 CPM (49,75 Hz) la forma d'onda sinusoidale si ripete uguale a se stessa 2985 volte al minuto.

Questa frequenza di rotazione e anche detta **Fondamentale**.





Fenomeni diversi
generano “*di solito*”
vibrazioni a
frequenze
differenti!!

In realtà le frequenze, che possiamo leggere sull'asse orizzontale (X) dello Spettro, costituiscono la “Carta di Identità” dello stato vibrazionale del nostro macchinario: è però OBBLIGATORIO conoscere il più possibile come è costituito lo stesso ed in particolare quanto segue:

Potenza assorbita

Numero di giri

Tipo di fondazione

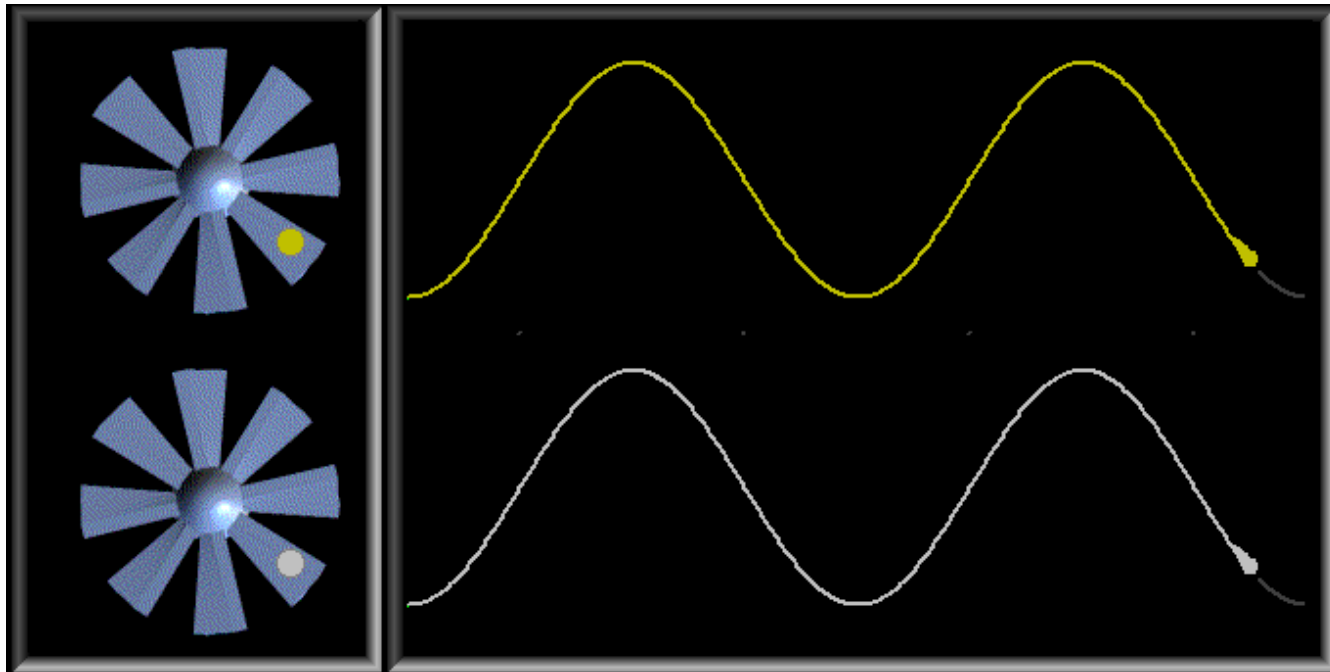
Tipo di cuscinetti (in alternativa diametro di calettamento)

Numero di denti per gli ingranaggi

Tipo di giunto

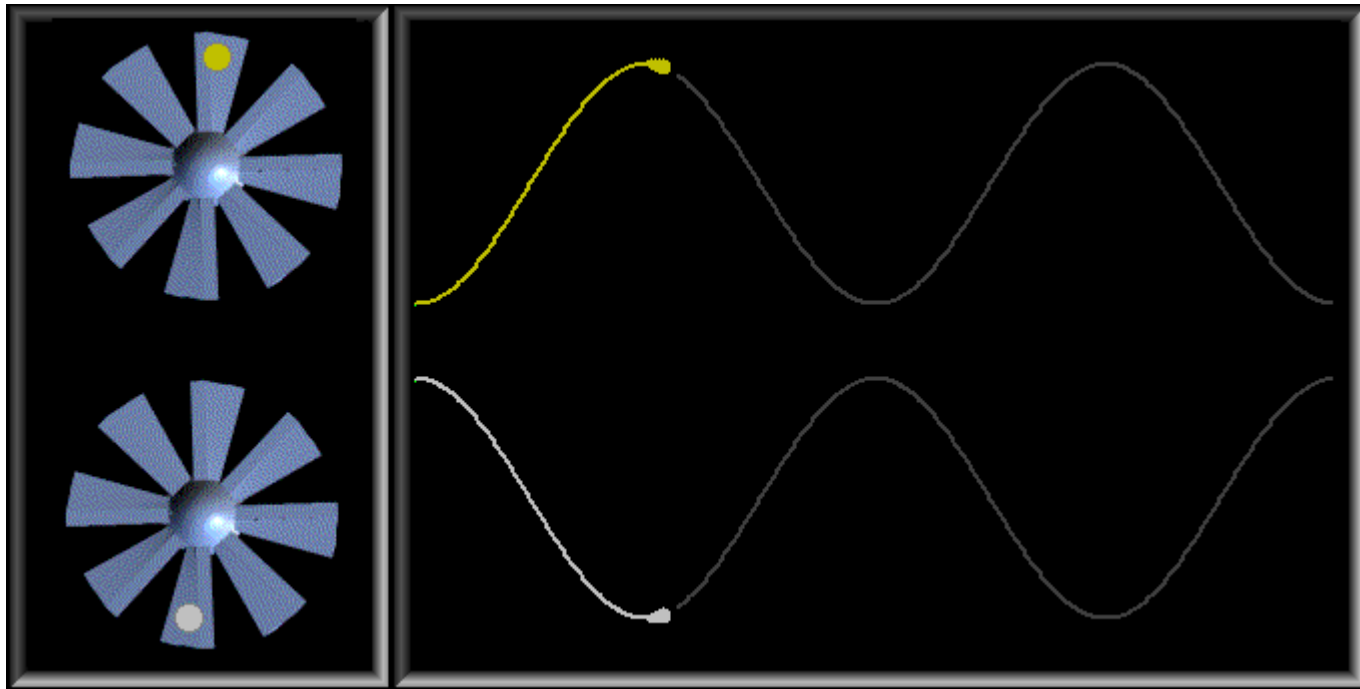
La fase mette in relazione due segnali nel tempo.

Se le due pale delle ventole ruotano “in fase”, le rispettive forme d’onda risulteranno “in fase”. Entrambe hanno il loro massimo nello stesso istante

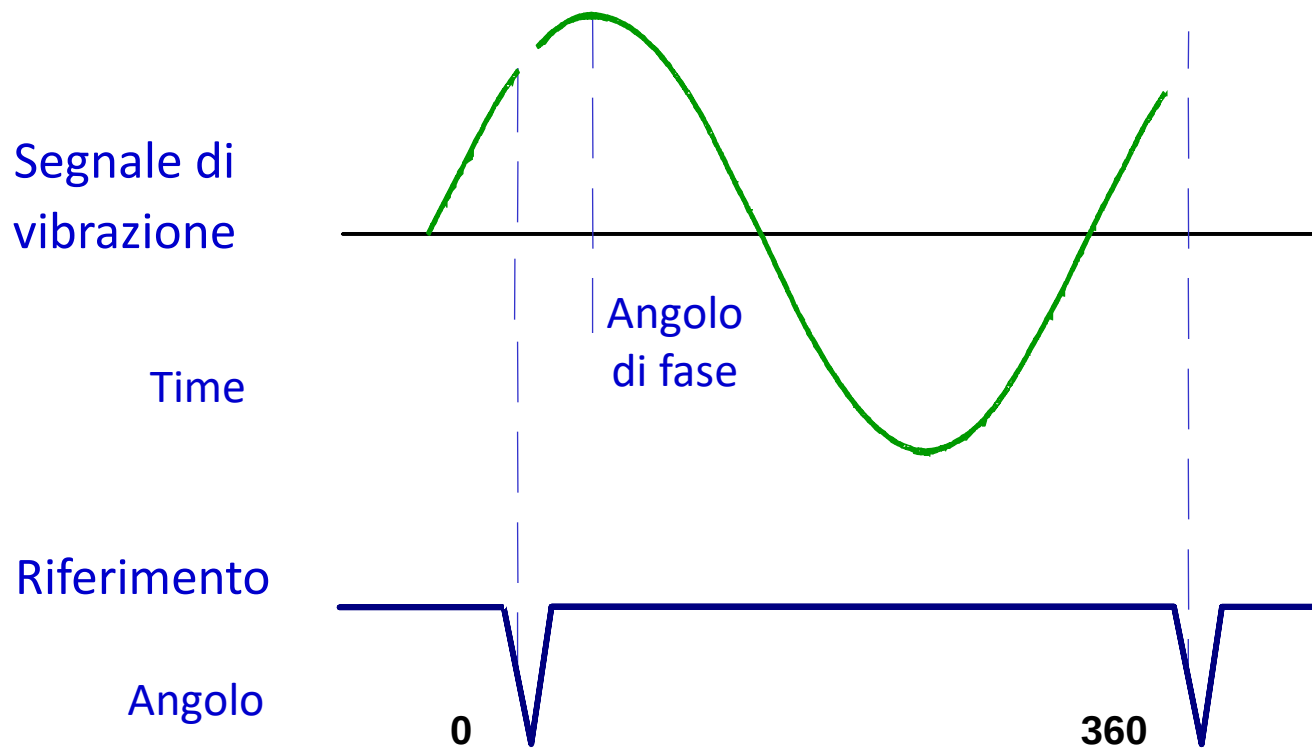


In questo caso le due ventole sono fuori fase di 180° .
Quando si trova nel punto di massimo, l'altra si trova nel punto di minimo.

Questo è vero solo se le due ventole ruotano alla stessa velocità ossia con la stessa frequenza.



Tempo (in gradi tra 0° e 360°) tra due punti: il segnale del riferimento e il primo picco positivo della vibrazione.

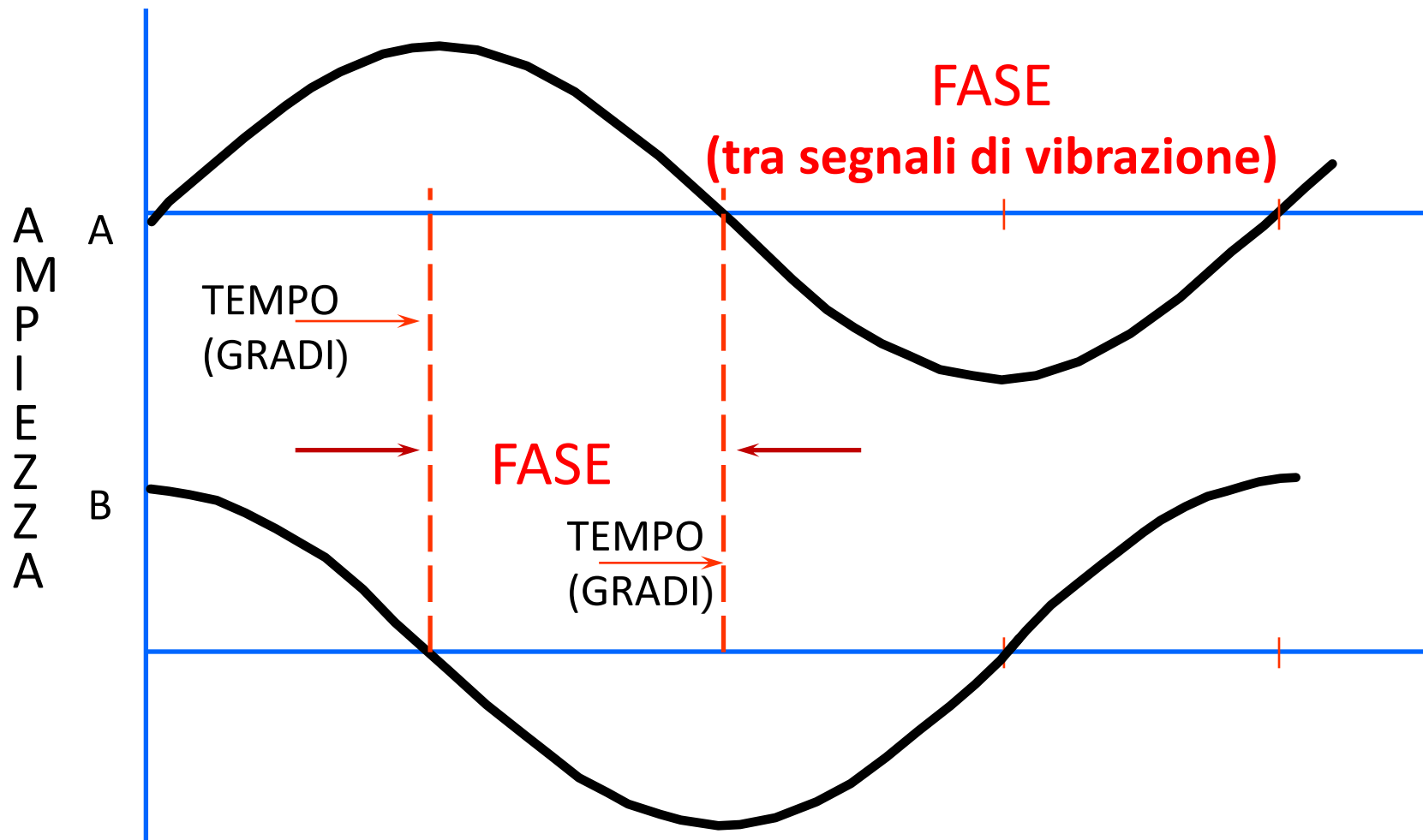


NOTA: La frequenza deve essere la stessa.

La fase rappresenta il ritardo temporale tra la forma d'onda sinusoidale ed un riferimento considerato come inizio dei tempi. La fase assoluta è definita come la distanza temporale tra il segnale di riferimento ed il primo picco positivo della sinusoide. In generale il valore della fase non è mai espresso in secondi, ma in gradi o radianti. Questo perché un periodo completo di una sinusoide può essere pensato come la proiezione nel tempo di un raggio vettore che percorre l'intera circonferenza, cioè 360° o 2π radianti.

L'applicazione tipica nella quale è necessario il rilievo della fase è il bilanciamento dei rotori. In questo caso grazie alla fase è possibile definire l'esatta posizione del peso di bilanciamento.

Allo stesso modo si misura la fase assoluta di vibrazioni con frequenza multipla secondo un numero intero di quella di rotazione. La misura si esprime in gradi di vibrazione, non di rotazione.



E' importante, talvolta, rilevare la **differenza di fase, da 0° a 180°** , tra 2 forme d'onda (**Fase relativa**), **che siano simili e con uguale frequenza**. Da un punto di vista del significato di questa misura il rilevare, per esempio, che tra due punti esiste una differenza di fase di 180° ci dice che i due punti stanno oscillando in maniera opposta, viceversa una fase di 0° ci indica un'oscillazione dei due punti sincrona, nella medesima direzione.

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

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



Perché servono 3 grandezze fisiche ?

L'ampiezza della vibrazione può essere analizzata acquisendone il valore utilizzando tre grandezze fisiche diverse ma strettamente legate l'una all'altra.

Le tre grandezze sono:

Spostamento

Velocità

Accelerazione

Assumendo di avere una vibrazione la cui ampiezza ha uno spostamento costante **S**, le formule per calcolare il valore della velocità e dell'accelerazione sono le seguenti :

$$V = \omega * S$$

$$A = \omega^2 * S$$

Dove $\omega = 2 * \pi * f$

Il simbolo ω (rad/sec.) rappresenta la velocità angolare o pulsazione, il simbolo **f** (Hz) indica la frequenza della vibrazione.

E' possibile ottenere il passaggio tra una grandezza e l'altra, con le semplici formule sopraindicate, solo per i valori ottenuti dallo spettro di Fourier (FFT), perché solo in questo caso conosciamo il valore della frequenza della vibrazione e solo se siamo sicuri che sia una vibrazione sinusoidale.

L'utilizzo di tre grandezze fisiche per l'analisi delle vibrazioni è giustificato dal fatto che il fenomeno vibrazionale può essere meglio analizzato a seconda che si usi un parametro piuttosto che l'altro. La scelta del parametro è determinata dalla frequenza del fenomeno che si vuole studiare. In generale i fenomeni a bassa frequenza possono essere meglio studiati utilizzando lo spostamento e quelli ad alta frequenza con l'accelerazione.

SPOSTAMENTO

- Campo consigliato da 2 a 200 Hz. (10-1000 Hz per sensori no-contact)
- Unità di misura micron o mils (millesimi di pollice)

VELOCITA'

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

ACCELERAZIONE

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

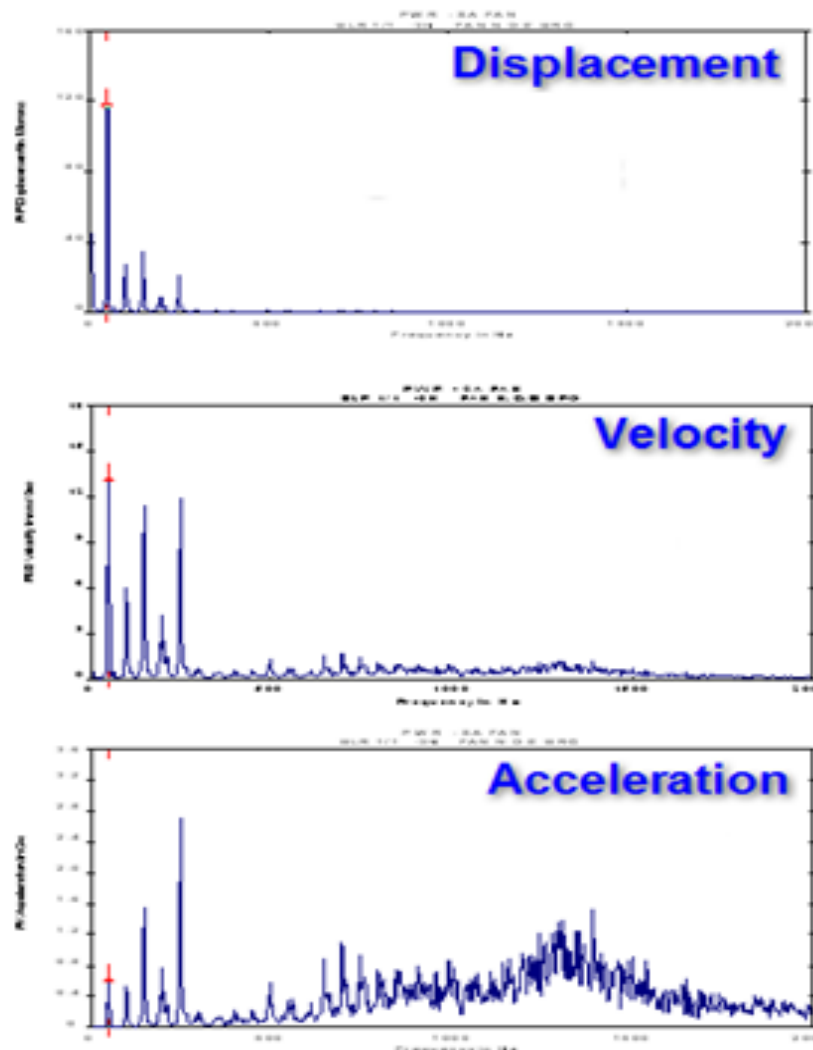
Lo spostamento è la misura più adatta nei casi di bassa frequenza e di elevata componente di movimento, per cui un eventuale guasto grave a rottura potrebbe essere causato non da un elevato valore energetico dello stato perturbato ma ad un eccesso di deformazione manifestatosi anche in maniera “lenta”.

La velocità (RMS è la sua migliore lettura), è una ottima misura per la Valutazione del contenuto Energetico del fenomeno Vibratorio, e come tale, è stata oggetto di studi e Normazioni Internazionali per la Valutazione dei Valori di accettabilità per i Valori delle Vibrazioni.

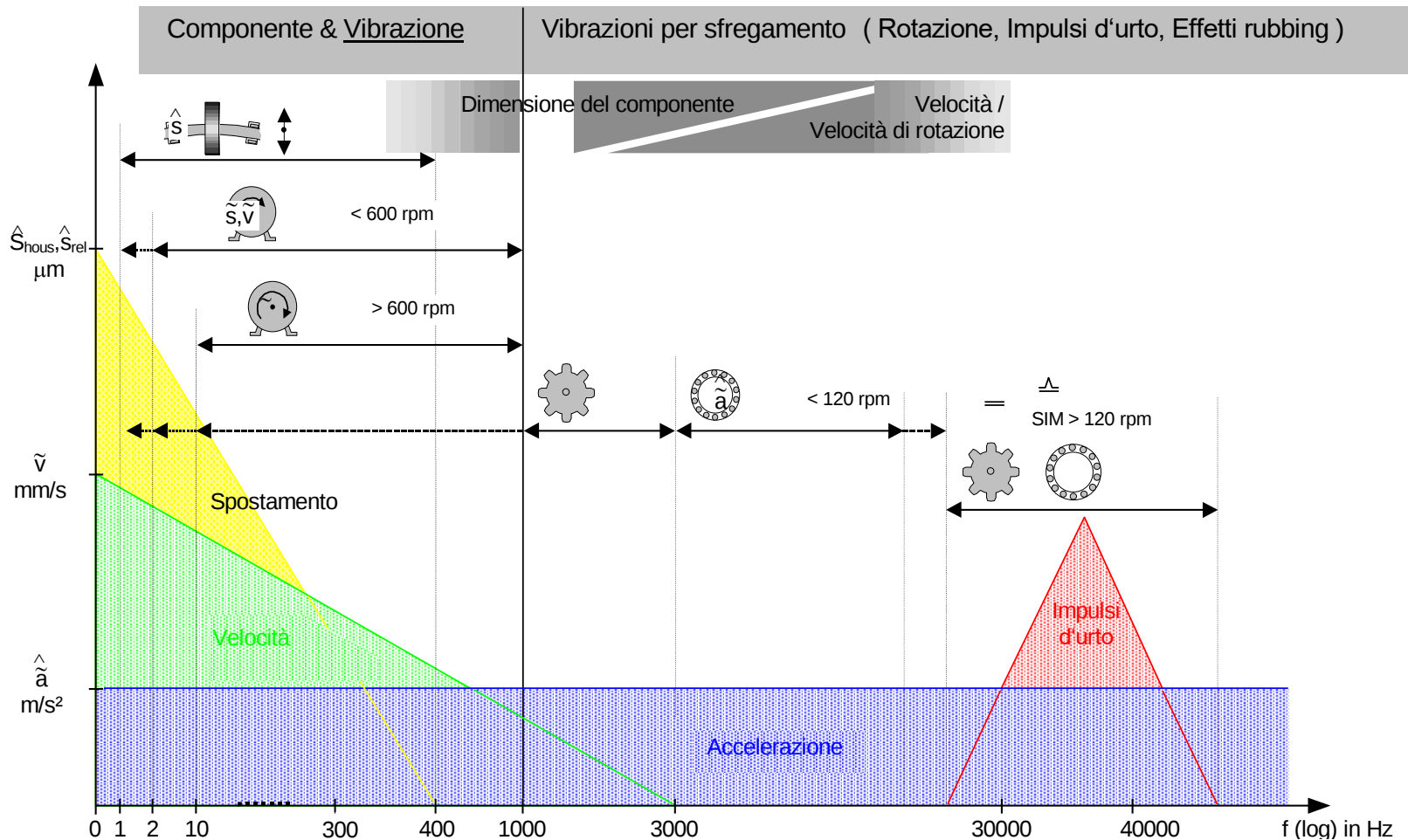
L'accelerazione, di cui si consiglia considerare l'unità di misura m/sec^2 , è particolarmente adatta alle valutazioni nel campo dell' alta frequenza, soprattutto per l'analisi dei Cuscinetti e degli Ingranaggi .

Unità di misura

- C'è ancora molto da dire sugli spettri, ma è già possibile notare l'effetto grafico nell'usare differenti unità di misura.
- E' importante notare le differenze sia alle basse che alle alte frequenze.
- (E' stato rappresentato lo stesso fenomeno vibratorio adoperando tre diverse unità di misura.)



Misure di vibrazioni: tipi e campi di frequenza



- La slide precedente mostra l'andamento dello Spostamento e della Velocità di vibrazione in funzione della frequenza , supponendo che il fenomeno vibratorio analizzato mantenga il suo valore di accelerazione costante in tutto l'intervallo di frequenza preso in esame.

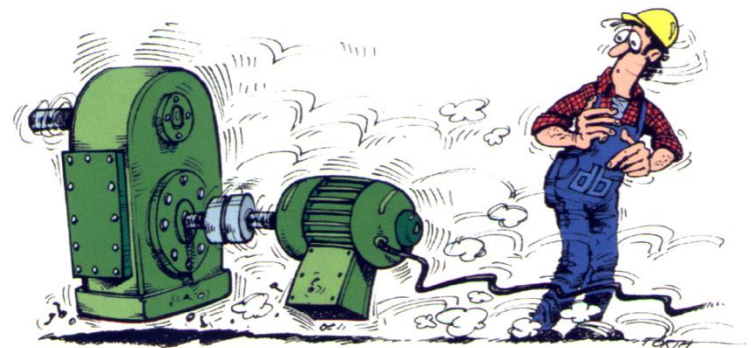
Come si può notare i valori dello spostamento e della velocità sono molto più elevati a bassa frequenza e tendono a decrescere fino ad azzerarsi salendo in frequenza.

- Questa è la ragione per cui è senz'altro più opportuno scegliere lo spostamento per analisi in bassa frequenza, infatti, a parità di accelerazione della vibrazione, i valori dello spostamento sono molto più elevati e quindi meno soggetti a problemi di disturbi e rumore di fondo, in sostanza più affidabili.

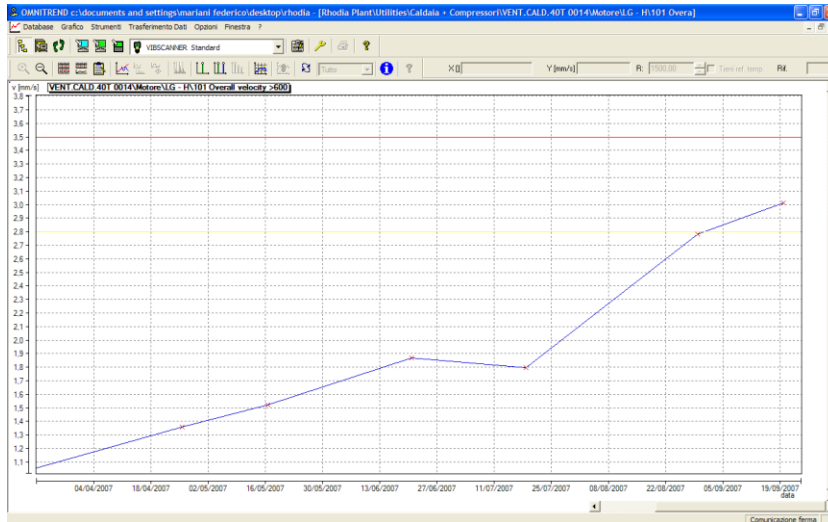
Nella slide si possono notare anche una serie di simboli che indicano la collocazione in frequenza di applicazioni / problemi tipici legati a componenti specifici. Ad esempio il simbolo  in alto a sinistra indica la posizione tipica in frequenza di un sbilanciamento che normalmente corrisponde al numero di giri della macchina (ad esempio 3000 RPM cioè 50 Hz). In questo caso, trattandosi di un frequenza bassa, il fenomeno può essere analizzato utilizzando lo spostamento. Viceversa i simboli indicano la posizione in frequenza dei problemi tipici legati a componenti quali cuscinetti e riduttori. In questo caso la frequenza è molto più elevata e quindi la grandezza più adatta per l'analisi è l'accelerazione.  

La parte del diagramma contraddistinta dalla scritta *Impulsi d'urto* è relativa ad un particolare tipo di analisi per la verifica della condizione dei cuscinetti a volvente basata sul rilievo della rumorosità. Questo tipo di analisi verrà ampiamente descritta in una specifica sezione di questo corso.

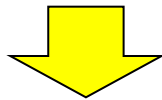
L'analisi vibrazionale



I Livello

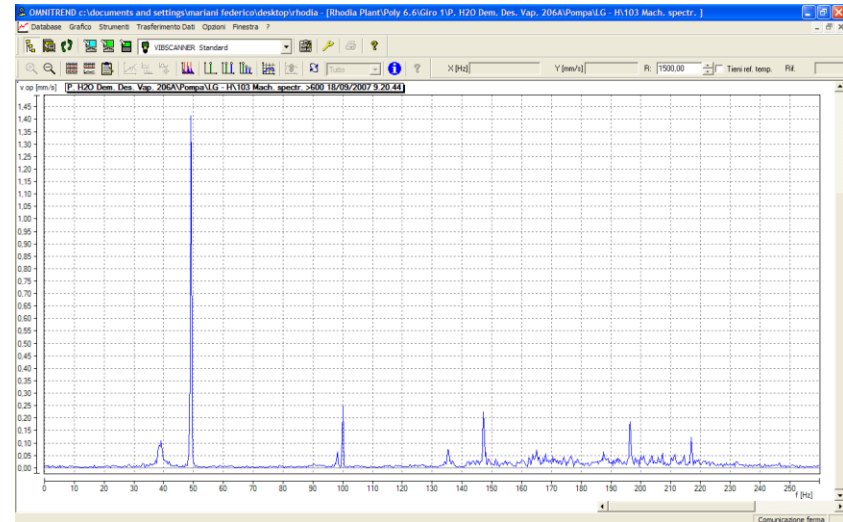


- Valori globali di vibrazione
- Monitoraggio nel tempo di trend
- Confronto con soglie di allarme

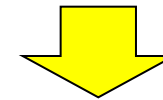


C'è qualcosa che non va??

II Livello

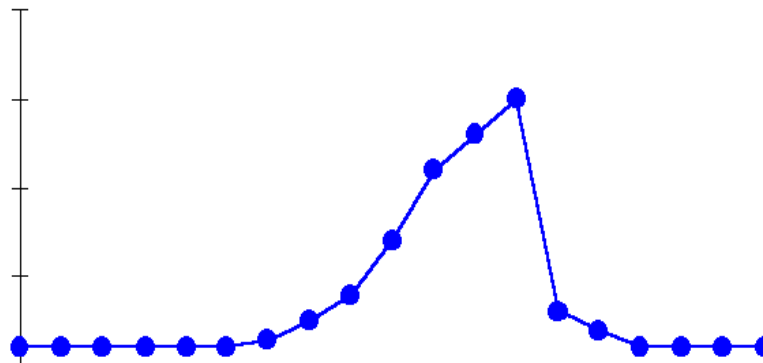


- Spettri FFT e Spettri Envelope
- Diagnostica avanzata dei macchinari
- Richiede dati e competenze maggiori



Quale è il problema??

- Serve a monitorare nel tempo il macchinario per prevedere anomalie !
- Si effettua tramite misure periodiche.
- Richiede personale meno specializzato.

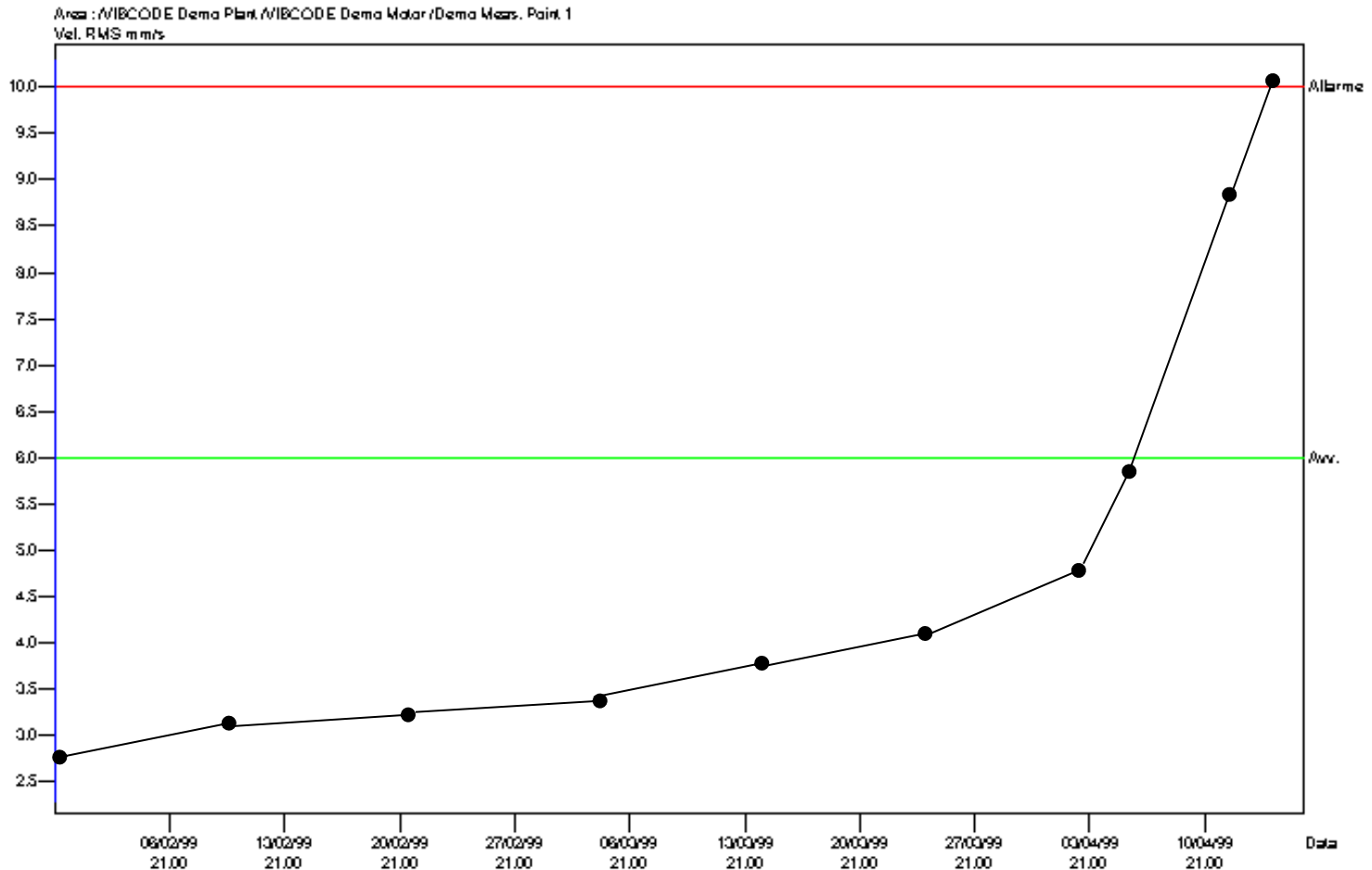


Grafici di Trend
nel tempo.

Si effettua rilevando il valore globale di un grandezza fisica, ad esempio una vibrazione, nel tempo, ad esempio una volta al mese, verificando con un grafico (Trend) l'andamento dei valori. Generalmente, per poter capire se la macchina lavora correttamente o no, i dati acquisiti vengono confrontati con valori che rappresentano le soglie di massima tollerabilità.

Evidentemente non sono possibili diagnosi accurate, perché una grandezza fisica, sotto osservazione, che manifesta un incremento anomalo dopo un certo periodo di tempo, non è detto che possa suggerire comunque la causa dell'anomalia ed il rimedio da porre in atto nell'intervento manutentivo: manca la diagnosi .

Valori



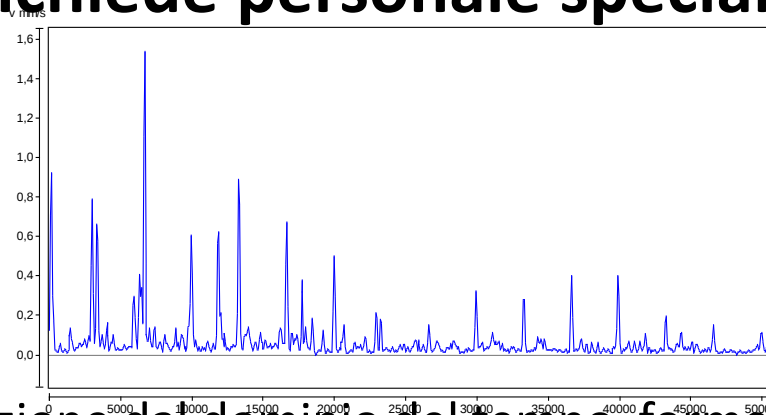
Asse con le varie date di misura

Questo è un classico esempio di grafico di "Trend" del controllo delle condizioni operative di un macchinario. La scala sull'asse delle ordinate indica una velocità di vibrazione (mm/sec. valore globale RMS), quella sulle ascisse le date in cui sono state effettuate le misure. Il grafico mostra inoltre due soglie di tolleranza, una verde d'Allerta (o Avvertimento) ed una rossa d'Allarme.

Notare che nel mondo anglosassone le due soglie vengono definite rispettivamente:

- 1) Alarm (per noi Allerta)
- 2) Trip (= blocco) (per noi Allarme)

- Serve a diagnosticare la macchina dopo il superamento della soglia d'allarme !
- Si effettua tramite misure occasionali con l'obiettivo di individuare il problema.
- Richiede personale specializzato.



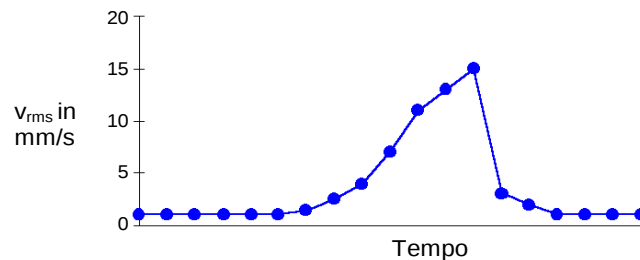
Spettro ed Analisi di Vibrazione.

In questa trasformazione dal dominio del tempo, forme d'onda, al dominio delle frequenze con lettura dei relativi picchi d'intensità, si comincia un' analisi delle possibili cause di vibrazione in quanto si identificano le frequenze proprie delle varie origini di vibrazione e si può iniziare una sistematica ricerca delle forzanti. (inizia la lettura della "Carta di Identità" delle forzanti.).

Strategia di monitoraggio 1° Livello / 2° Livello

1° Livello: Monitoraggio della curva dei valori

- Globalità delle macchine
- basato sul lungo termine
- Personale meno specializzato



Monitoraggio della macchina

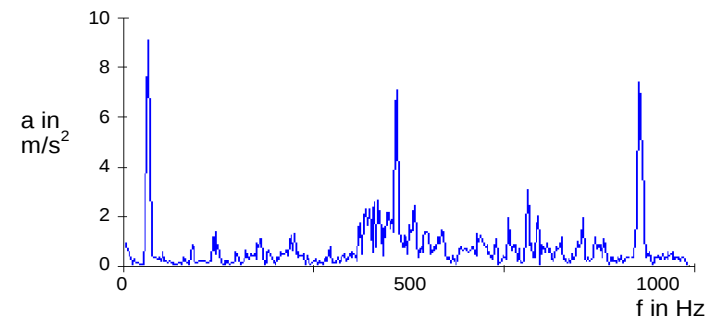
Livello di vibrazione
Condizione del cuscinetto

Valori utilizzati

V_{rms}	Valore globale della vibrazione
S_{max}	Spostamento
a_{rms} , $a_{0/p}$	Accelerazione
dB_m , dB_c	Impulso d'urto per la valutazione del cuscinetto
T	Temperatura
n	RPM
dB_{cav}	Cavitazione della pompa

2° Livello: Diagnosi della vibrazione dopo il superamento dell'allarme

- Diagnosi del componente
- Misura occasionale
- Persona specializzata

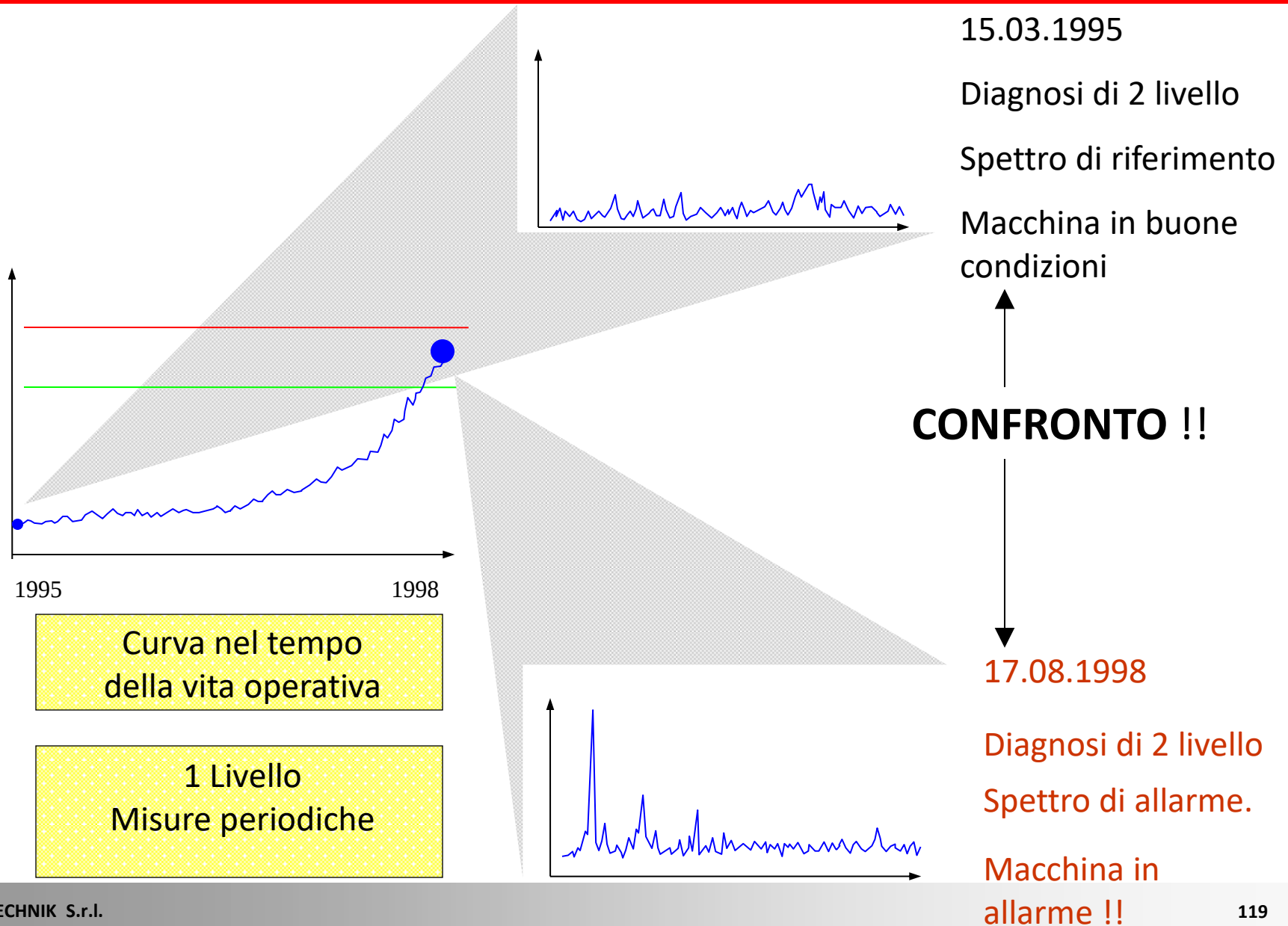


Ricerca del difetto tramite l'analisi dello spettro

Sbilanciamento del rotore, disallineamento dell'albero, ingranaggio danneggiato, turbolenza, avvolgimenti, diagnosi del cuscinetto, etc.

Analisi del segnale

Spettro dell'ampiezza
Spettro con vari filtri
Forma d'onda
Analisi delle armoniche
Funzioni "Cepstrum"
Diagramma di Bode



Applicazione

Nella slide precedente è brevemente descritta la procedura standard per l'acquisizione dei dati con una strategia di manutenzione predittiva.

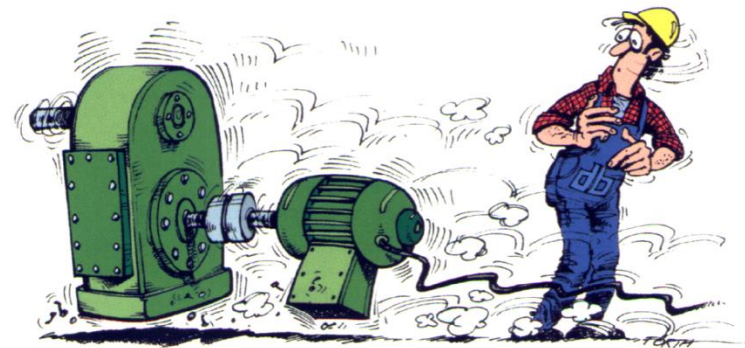
L'acquisizione si basa su ronde periodiche per le macchine selezionate, sempre negli stessi punti e, possibilmente, con la stessa modalità per garantire la massima affidabilità e ripetibilità dei dati rilevati.

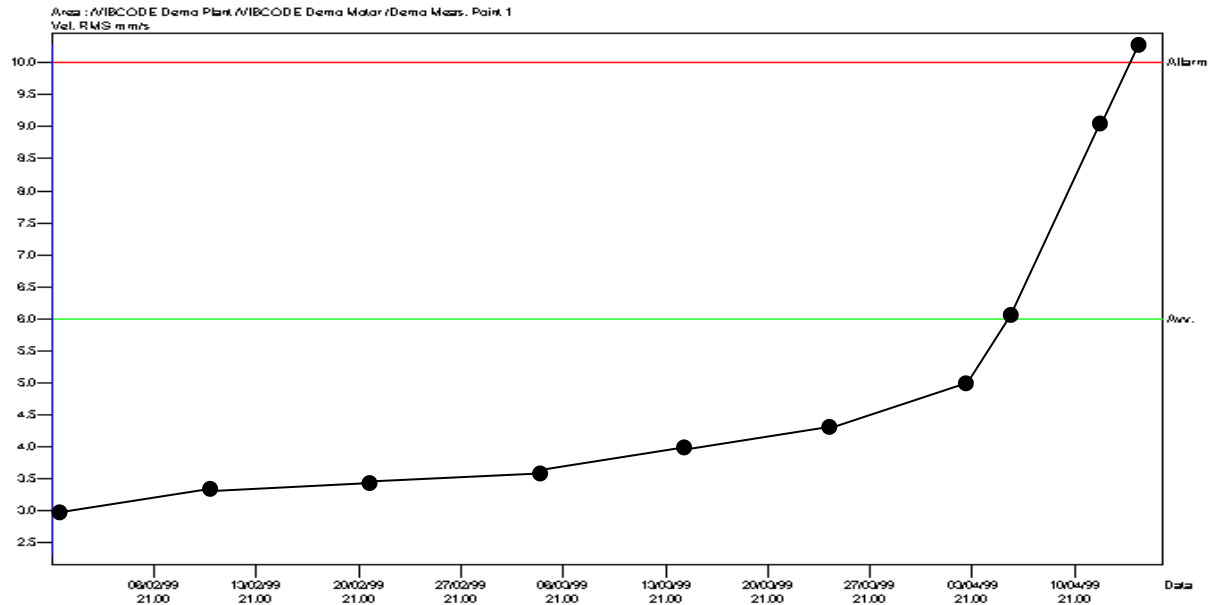
In generale la prima volta che si effettua una ronda su di una certa macchina sarebbe bene acquisire sia i valori globali che gli spettri in frequenza.

Questa prima acquisizione potrà essere utilizzata come misura di confronto e costituisce la firma della macchina.

Le successive ronde prevederanno l'acquisizione dei valori globali e solo in caso di superamento delle soglie d'allarme anche degli spettri in frequenza.

Analisi di 1° livello e normative di riferimento





**Quando alto è:
TROPPO ALTO?**

- Si confrontano i valori globali rilevati con delle soglie di allarme
- Si osserva la variazione del trend nel tempo

- Definisce le modalità di una corretta analisi vibrazionale e le linee guida per l'interpretazione dei risultati.
- E' così suddivisa:

Parte 1: Guide generali

Parte 2: Grossi impianti di turbine a vapore con potenza superiore a 50 MW

Parte 3: Macchine industriali con una potenza nominale superiore a 15 kW e velocità nominale compresa tra 120 giri/min e 15000 giri/min misurate in sito

Parte 4: Turbine a gas escluso quelle per aerei

Parte 5: Macchine generatori di potenza idraulica e impianti di pompaggio

Parte 6: Macchine alternative di potenza superiore ai 100kW

Parte 7: Pompe rotative per applicazioni critiche e per applicazioni normali.

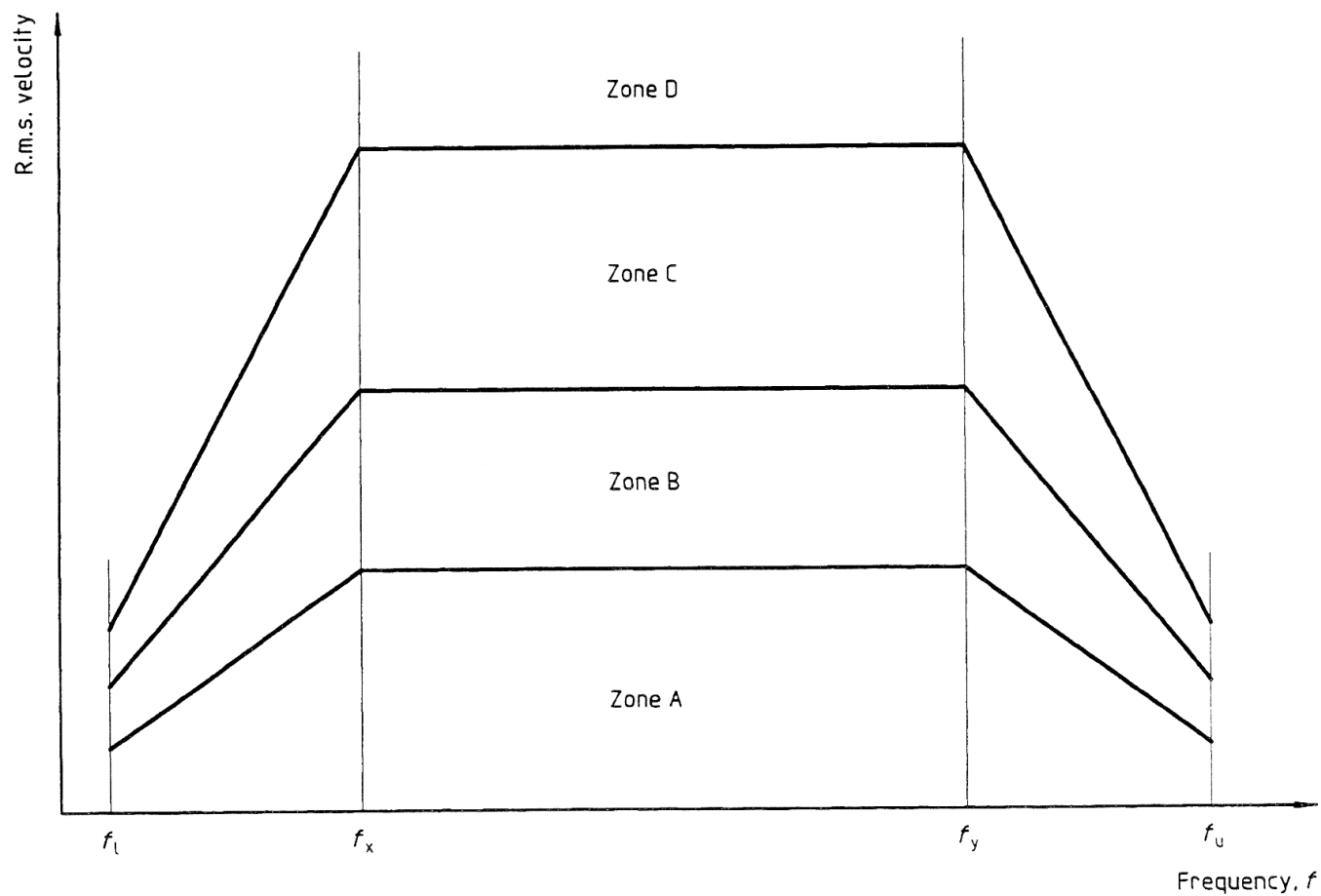
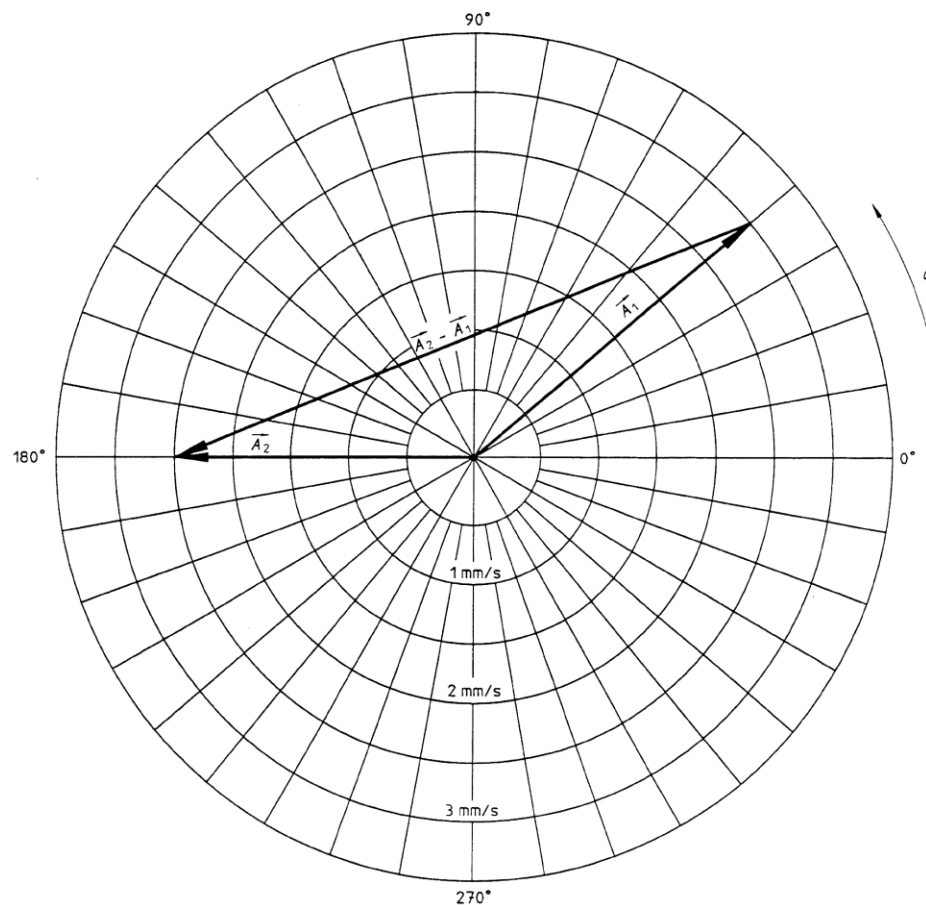


Figure 6 — General form of vibration velocity acceptance criteria



Initial steady-state vector	$ \vec{A}_1 = 3 \text{ mm/s (r.m.s.)}, \alpha = 40^\circ$
Steady-state vector after change	$ \vec{A}_2 = 2,5 \text{ mm/s (r.m.s.)}, \alpha = 180^\circ$
Change in vibration magnitude	$ \vec{A}_2 - \vec{A}_1 = -0,5 \text{ mm/s (r.m.s.)}$
Vector of change	$ \vec{A}_2 - \vec{A}_1 = 5,2 \text{ mm/s (r.m.s.)}$

Figure D.1 — Comparison of vector change and change in magnitude for a discrete frequency component

- A** newly commissioned
- B** unrestricted long-term operation
- C** restricted long-term operation
- D** vibration causes damage

Norma ISO 10816-3

La tabella inserita nella slide è relativa alla norma ISO 10816-3 che stabilisce le soglie di tollerabilità alle vibrazioni per i gruppi motore-pompa.

Possiamo notare che la grandezza scelta per definire le soglie di confronto è la Velocità di vibrazione (valore RMS), questo perché costituisce il miglior compromesso per l'intervallo di frequenze d'interesse (10 – 1.000 Hz per macchine con giri > 600 RPM e 2 – 1.000 Hz per macchine con giri > 120 RPM), inoltre le soglie sono 3 che indicano rispettivamente pre-allerta (verde), allerta (giallo), allarme (rosso). Se la macchina è inserita all'interno di una strategia di manutenzione predittiva, quindi monitorata periodicamente, il superamento delle soglie deve essere interpretato come il segnale per intensificare la frequenza dei controlli fino al superamento della soglia d'allarme, al di là della quale la macchina deve essere fermata.

La tabella è suddivisa in 2 parti, quella di destra per i motori e quella di sinistra per le pompe. Le soglie per le pompe (Group 3 - Group 4) sono definite considerando la potenza (al di sotto dei 15 kW non vengono fissate soglie) ed il tipo di attacco al motore (motore esterno o integrato). Per i motori (Group 1 - Group 2) si tiene conto della potenza e dell'altezza dell'albero da terra. Infine, per entrambe le macchine, la scelta delle soglie di confronto corrette dipende dalla tipologia di basamento (rigido o flessibile).

Norma ISO 10816-3

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A

New machine condition

C

Short-term operation allowable

B

Unlimited long-term operation allowable

D

Vibration causes damage

Norma ISO 10816-6



PRÜFTECHNIK

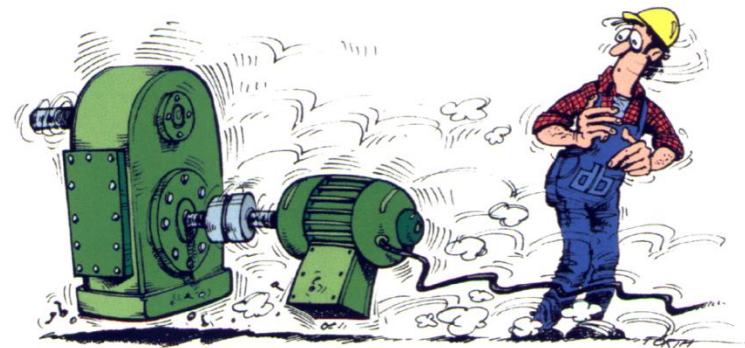
Vibration severity grade	Maximum values of overall vibration measured on the machine structure			Machine vibration classification number						
	Displacement μm (r.m.s.)	Velocity mm/s (r.m.s.)	Acceleration m/s² (r.m.s.)	1	2	3	4	5	6	7
				Evaluation zones						
1,1	17,8	1,12	1,76	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
1,8		1,78	2,79							
2,8		2,82	4,42							
4,5		4,46	7,01							
7,1	113	7,07	11,1	C	C	C	C	C	C	A/B
11	178	11,2	17,6							
18	283	17,8	27,9							
28	448	28,2	44,2							
45	710	44,6	70,1							
71	1125	70,7	111							
112	1784	112	176							
180										

Key to zones

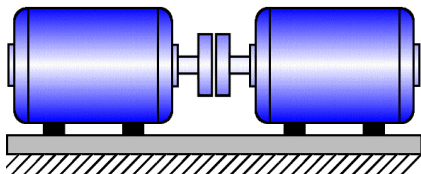
- A: The vibration of newly commissioned machines would normally fall within this zone.
- B: Machines with vibration within this zone are normally considered acceptable for long-term operation.
- C: Machines with vibration within this zone are normally considered unsatisfactory for long-term continuous operation. Generally, the machine may be operated for a limited period in this condition until a suitable opportunity arises for remedial action.
- D: Vibration values within this zone are normally considered to be of sufficient severity to cause damage to the machine.

NOTE — Vibration values for reciprocating machines may tend to be more constant over the life of the machine than for rotating machines. Therefore zones A and B are combined in this table. In future, when more experience is accumulated, guide values to differentiate between zones A and B may be provided.

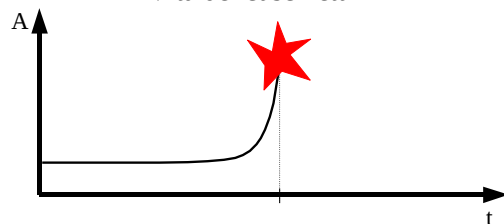
Effetto del basamento



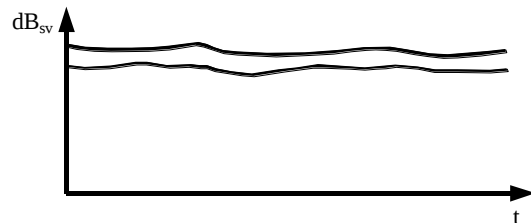
Basamento rigido



Vita dei cuscinetti



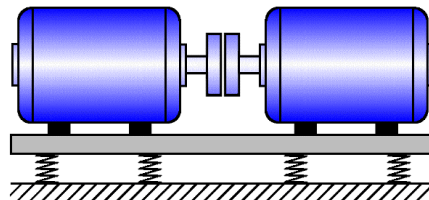
Livello di rumorosità dei cuscinetti



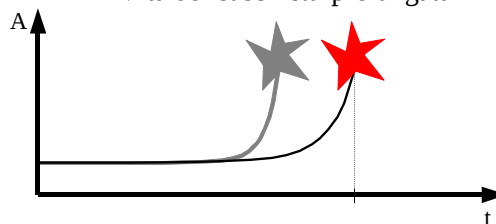
Livello vibrazione di macchine



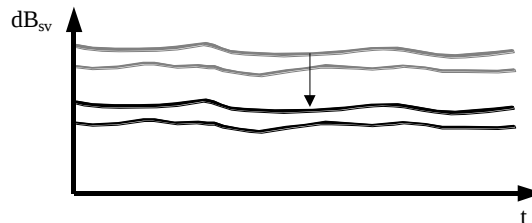
Basamento flessibile



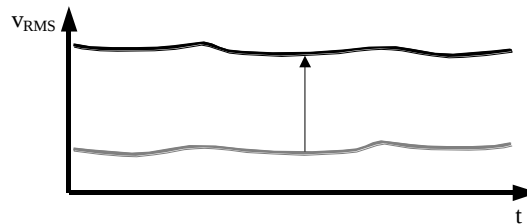
Vita dei cuscinetti prolungata



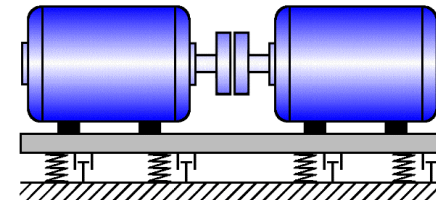
Livello di rumorosità dei cuscinetti



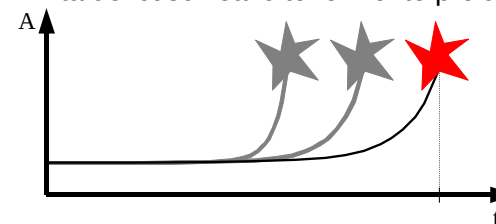
Livello vibrazione di macchine



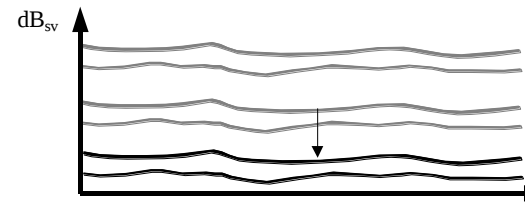
Basamento flessibile e ammortizzato



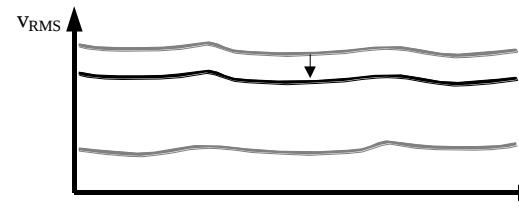
Vita dei cuscinetti ulteriormente prolungata



Livello di rumorosità dei cuscinetti



Livello vibrazione di macchine



Effetto del basamento

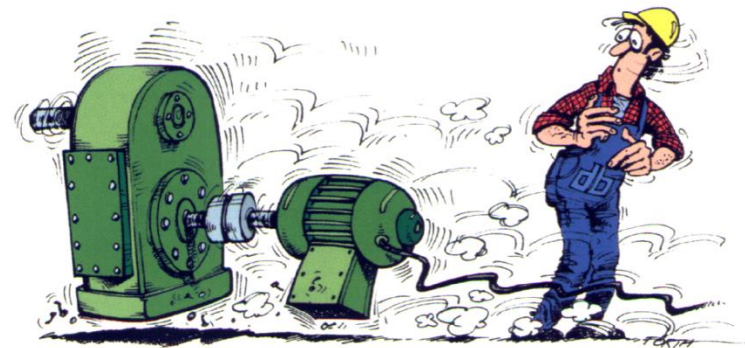
La norme ISO 10816 definiscono le soglie di tolleranza ai livelli vibrazionali considerando anche la tipologia di basamento del gruppo.

Il motivo è chiaramente evidenziato nella slide, infatti come si può notare su macchine con basamento rigido la vita media dei cuscinetti risulta essere inferiore rispetto a quella delle macchine con basamento ammortizzato, anche se il livello della vibrazione rilevato è più elevato sulle seconde.

Questo fatto, che può sembrare a prima vista paradossale, si manifesta perché nel caso di macchine a basamento rigido tutta l'energia associata alla vibrazione viene scaricata sui vincoli e cioè sui supporti dei cuscinetti e quindi sui cuscinetti, viceversa su quelle a basamento ammortizzato buona parte dell'energia viene scaricata verso terra.

Per questo motivo la normativa prevede per macchine con basamento flessibile soglie di tollerabilità alle vibrazioni superiori a quelle stabilite per le macchine con basamento rigido.

I Sensori



- **Esistono in commercio tre tipi di trasduttori per la misura delle vibrazioni:**
 - **Accelerometri**
 - **Velocimetri**
 - **Trasduttori di prossimità**

Le vibrazioni sui macchinari possono essere misurate con diversi sensori.

Gli accelerometri ed i velocimetri sono sensori a contatto di tipo **sismico** (con una massa interna) in grado di misurare la vibrazione assoluta.

I sensori di prossimità o proximiter misurano lo spostamento relativo di una parte rispetto ad un riferimento.

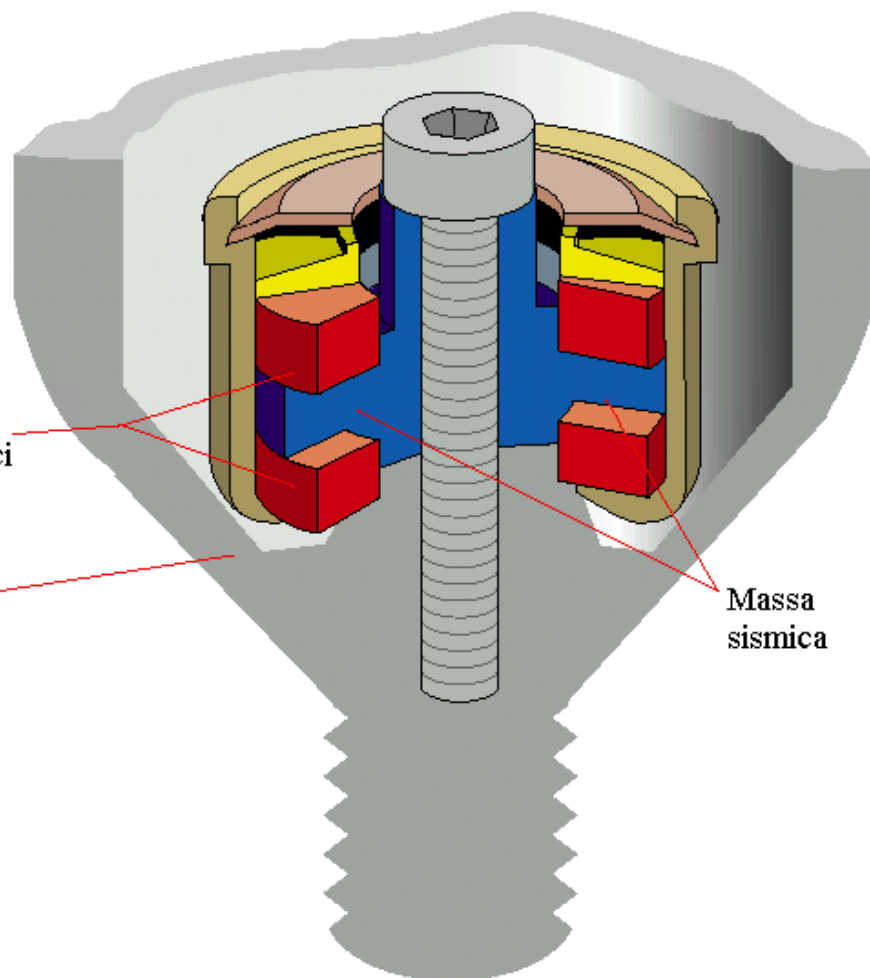
- **Gli accelerometri convertono una vibrazione meccanica in un segnale elettrico proporzionale all'accelerazione della vibrazione.**
- **La misura viene espressa in g o m/s^2 .**

Grazie ai suoi molti benefici al momento l'accelerometro rappresenta il sensore più utilizzato.

Sono molto compatti, economici ed hanno campi di risposta lineare molto ampi.

Unità di misura correlate tra di loro. La misura in “g” è meno scientifica: “g” equivale alla accelerazione di gravità che , pur non essendo costante sul nostro pianeta (è differente in valore fra i Poli e l'Equatore) viene generalmente valutata in $9,8 \text{ m/sec}^2$

E' consigliabile, malgrado il grande uso di “ g “, usare i m/sec^2 .



La sonda brevettata Tandem-Piezo unisce i vantaggi degli accelerometri tradizionali (Shear-Type e Compressor-Type) e presenta i seguenti vantaggi:

- Campo lineare: da 1 Hz a 20 kHz
- Bassa sensibilità agli sforzi parassiti dalla base
- Bassa sensibilità agli sbalzi di temperatura
- Bassa sensibilità agli sforzi trasversali
- Alta resistenza agli urti
- Filtro integrato per la soppressione delle risonanze
- Costruzione industriale robusta per una elevata stabilità nel tempo
- Versione antideflagrante disponibile a richiesta

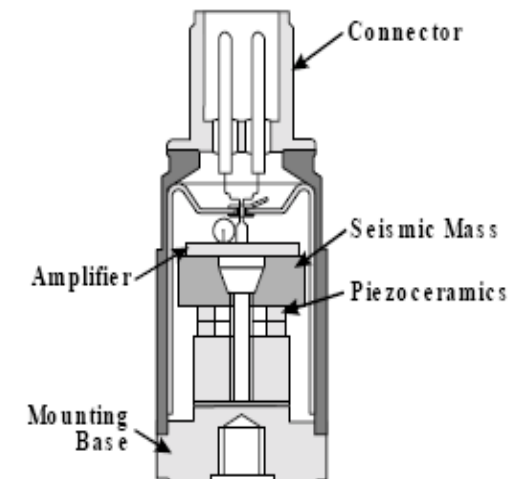
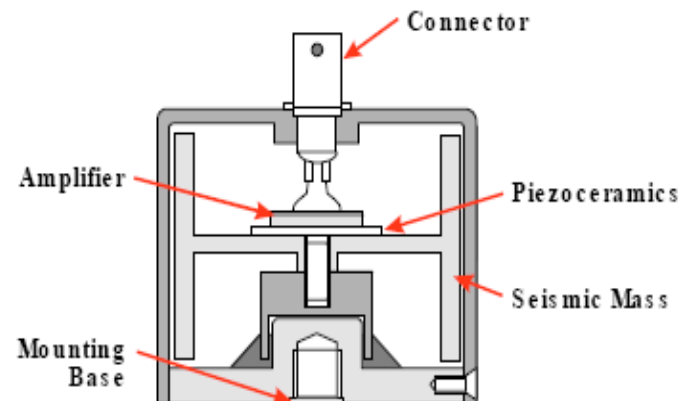
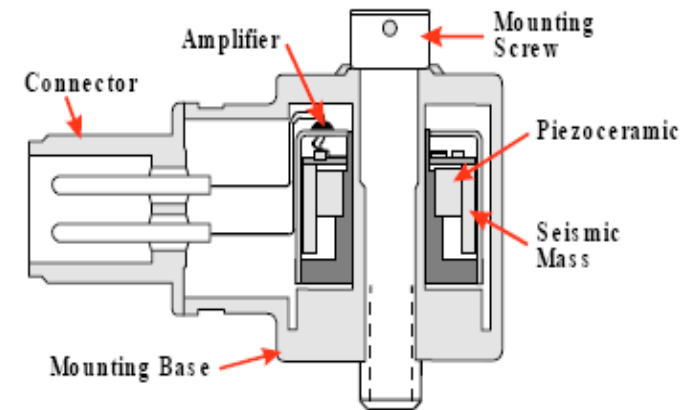
L'accelerometro piezoelettrico funziona grazie ad un cristallo piezoelettrico.

Esempio del giradischi : la punta del braccetto bilanciato del lettore di dischi audio (dischi in VINILE) è un cristallo piezoelettrico che traduce le sollecitazioni assiali di compressione e rilascio generate dal solco nel disco in un segnale di tensione elettrica che viene interpretato ed amplificato dall' amplificatore il quale, attraverso sempre segnali elettrici, invia alle Casse acustiche il messaggio che si traduce nel Suono.

Un elemento piezoelettrico è un cristallo che, se sollecitato lungo il suo asse principale, emette cariche elettriche proporzionali alla sollecitazione.

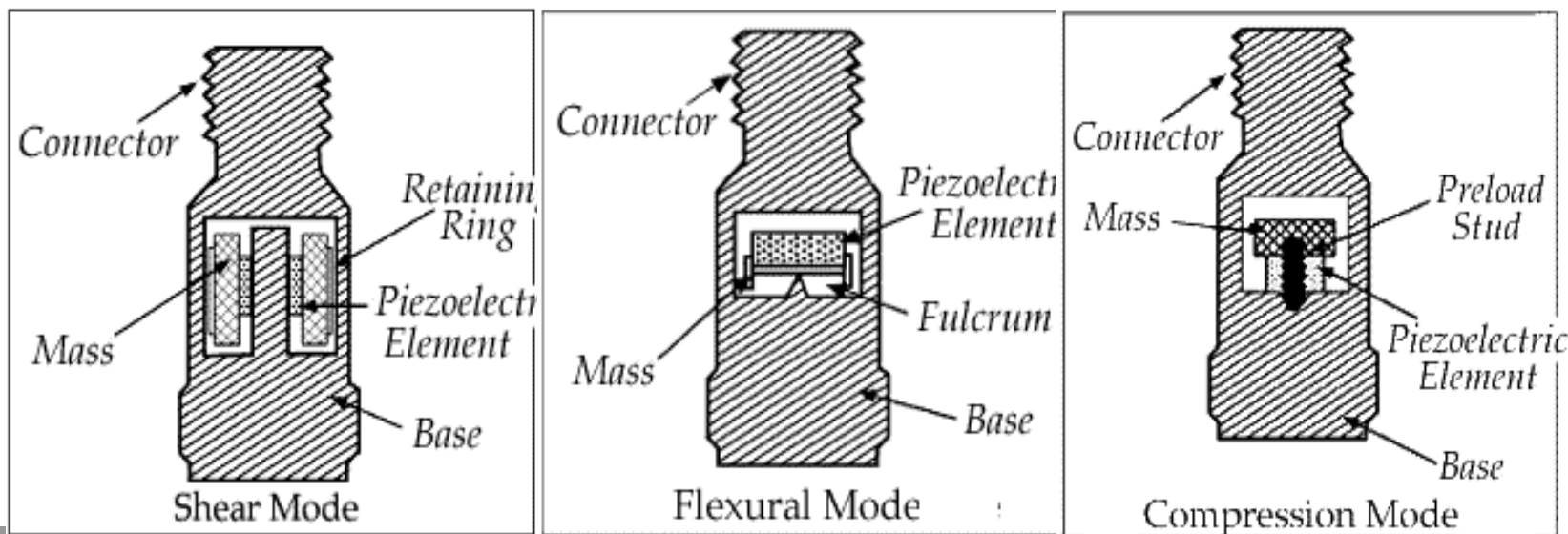
Gli accelerometri si presentano con differenti configurazioni per differenti requisiti:

- accessibilità
- ambientali
- costo

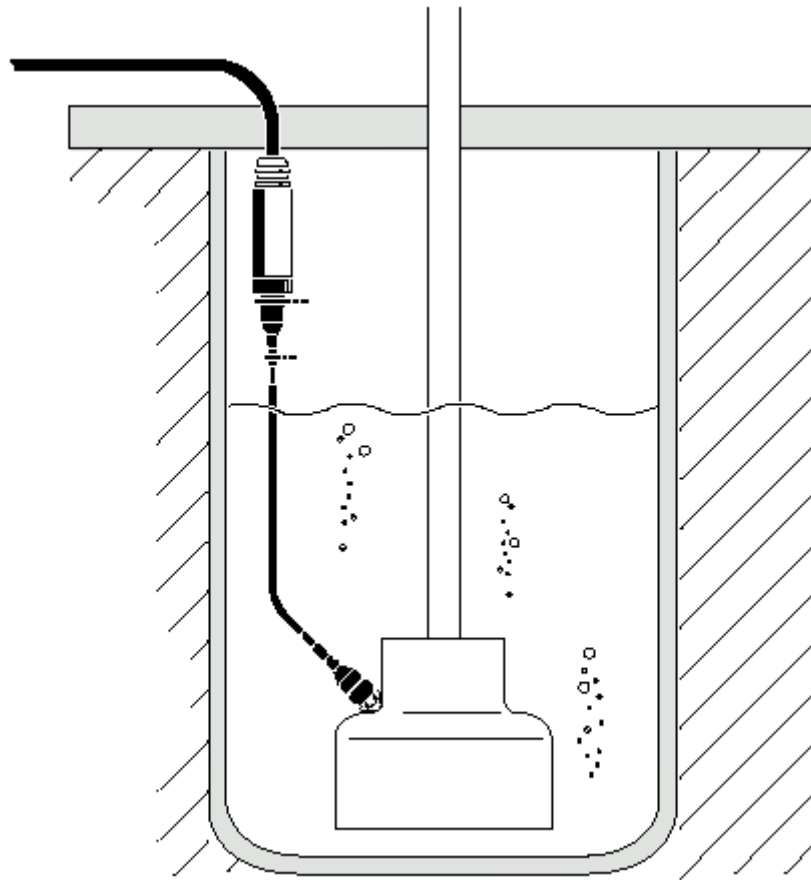


Le tre più comuni configurazioni: “a flessione”, “a compressione” e “a taglio”:

- Il tipo a compressione comprime il cristallo sotto una massa – comunemente utilizzato nelle nostre applicazioni.
- Il tipo a taglio sottopone l'elemento sensibile ad uno sforzo di taglio – comunemente utilizzato.
- Nel tipo a flessione l'elemento piezoelettrico è fissato alla massa sismica nella forma di una doppia trave a sbalzo – non comunemente utilizzato.



- il tipo a **compressione** è il più comunemente usato.
- il tipo a **taglio**, comunemente utilizzato, ha l'asse di sensibilità **non in linea** con la superficie di montaggio per cui elimina «falsi segnali» dovuti ad esempio a «base strain» o a transienti termici.
- il tipo a **flessione**, poco usato, è caratterizzato da altissima sensibilità, dell'ordine di $100 \text{ V} / \text{g}$, ed è adatto per livelli di vibrazione molto bassi e per frequenze basse.



Versione IP 68

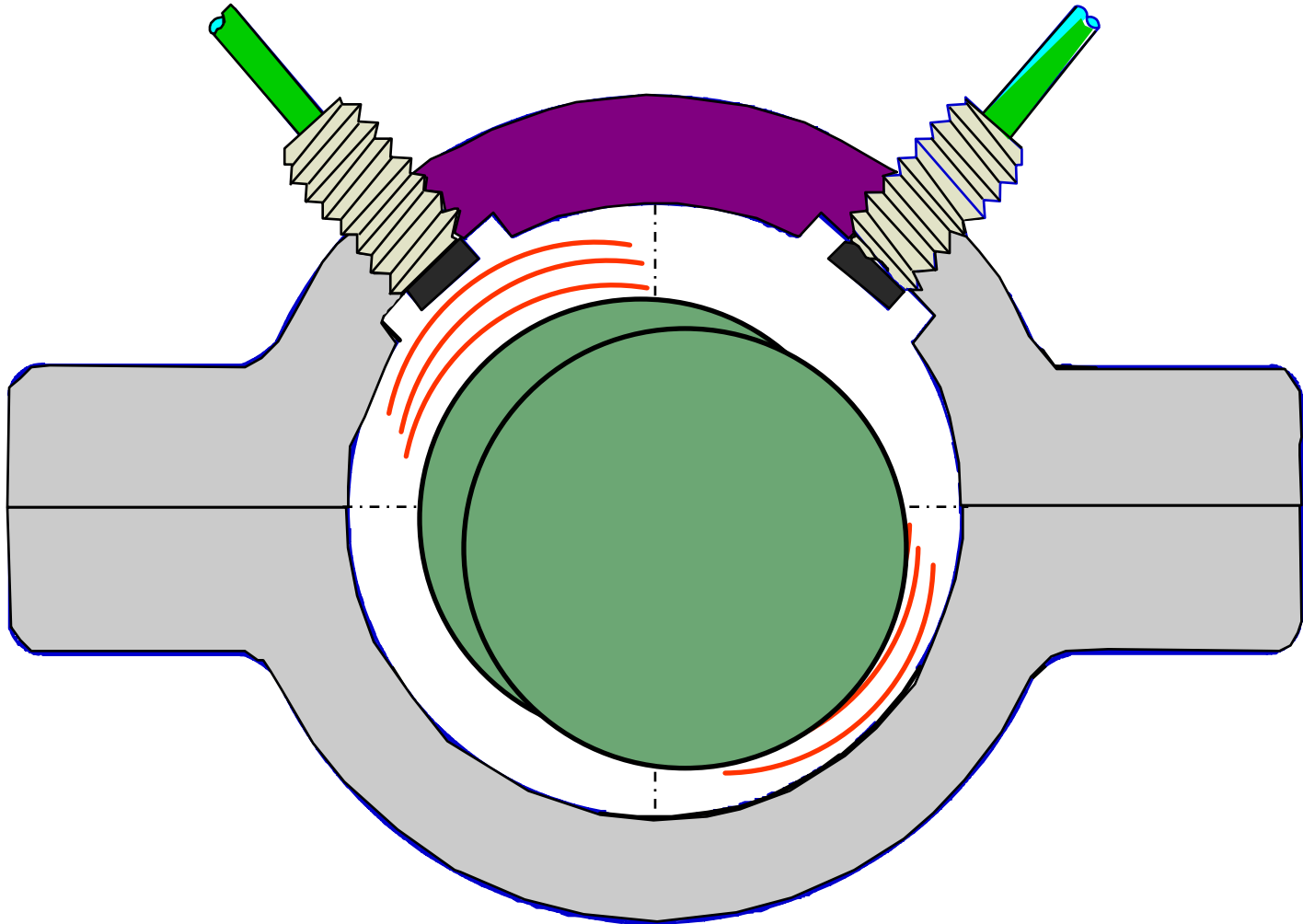
Gli accelerometri piezoelettrici sono anche disponibili in versione a tenuta stagna, esempio per Torri di raffreddamento o Pompe sommerse.

- I velocimetri convertono una vibrazione meccanica in un segnale elettrico proporzionale alla velocità della vibrazione.
- I velocimetri vengono utilizzati per misurare la vibrazione della cassa della macchina e dei supporti.
- La misura viene espressa in inch/sec (in/s) o millimetri/s (mm/s).

Il Velocimetro, chiamato anche “Trasduttore sismico di velocità” , è sostanzialmente costituito da una bobina in rame, fissata al corpo del trasduttore, nel cui interno può scorrere un magnete permanente di forma opportuna, supportato da sistemi elastici. Sotto l’effetto delle vibrazioni il magnete si muove e genera nella bobina un segnale di tensione elettrica proporzionale alla Velocità di Vibrazione.

Difetti:

- è pesante ed ingombrante e quindi di non sempre agevole montaggio
- è sensibile alla temperatura (la resistenza specifica ρ del rame varia con la stessa)
- è sensibile ai campi magnetici esterni.

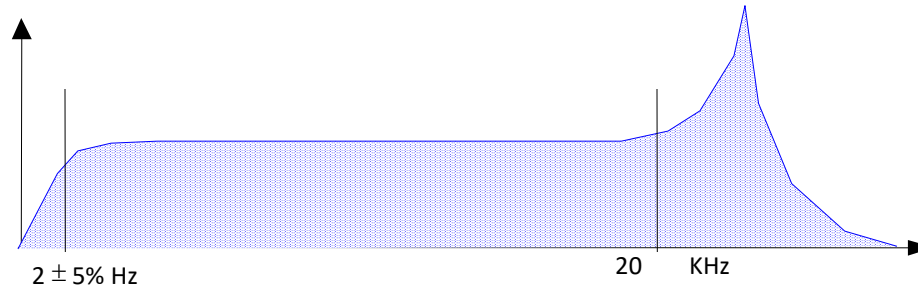


- **Il trasduttore di prossimità converte una vibrazione meccanica in un segnale elettrico proporzionale all'ampiezza dello spostamento.**
- **Il trasduttore di prossimità è utilizzato per misurare direttamente lo spostamento del rotore radialmente o assialmente.**
 - ◆ **Lo spostamento può essere espresso in mils, micron o millimetri e solitamente si misura in picco-picco.**

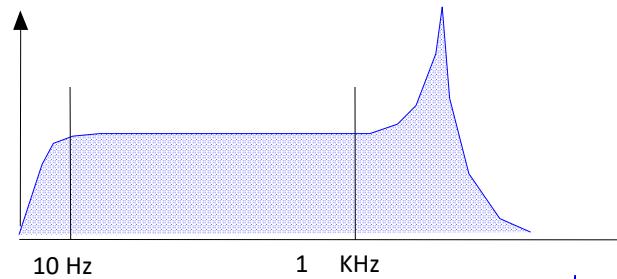
L'utilizzo degli accelerometri e dei velocimetri è molto semplice ed efficace quando i cuscinetti montati sulla macchina sono ad elementi volventi in grado quindi di trasmettere molto bene le vibrazioni. Quando invece i cuscinetti montati sulla macchina sono a strisciamento l'utilizzo di velocimetri ed accelerometri è sconsigliato perché il film d'olio tra supporto ed albero tende a smorzare la vibrazione stessa. In questo caso è d'obbligo l'impiego dei sensori di prossimità che non forniscono l'indicazione della vibrazione assoluta di cassa ma dello spostamento relativo tra albero e supporto.

Di solito il supporto viene equipaggiato con una coppia di sensori annegati radialmente nel supporto ad un angolo di 90° l'uno dall'altro. L'angolo di 90° non è casuale, infatti i segnali ricevuti dai sensori vengono miscelati ottenendo un grafico tipo XY che è la base per la diagnosi della macchina effettuata con l'analisi dell'orbita.

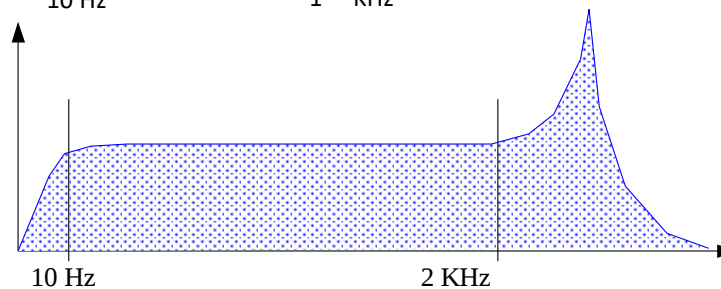
Accelerometri



Prossimità



Velocimetri



Tutti i sensori presi in considerazione sono caratterizzati da due principali parametri che sono la sensibilità e la curva di risposta in frequenza:

Sensibilità Per quanto riguarda ad esempio un accelerometro un valore di sensibilità può essere $100 \text{ mV} / \text{m/s}^2$ oppure $1 \mu\text{A} / \text{m/s}^2$. E' un valore che ci indica quanti mV o μA vengono generati per ogni m/s^2 di accelerazione di vibrazione rilevato sulla struttura. E' un parametro molto importante perché deve essere selezionato correttamente sull'analizzatore se non si vuole incorrere in grossi errori di misura.

È il caso di segnalare il vantaggio in affidabilità di un accelerometro che emette un segnale in corrente (μA) rispetto ad uno che lo emette in tensione (mV).

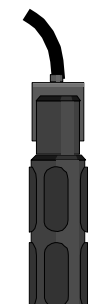
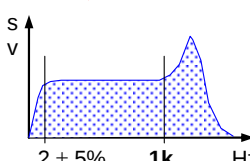
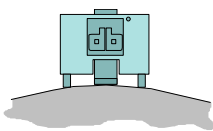
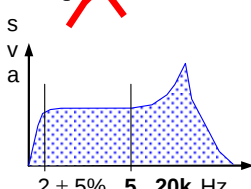
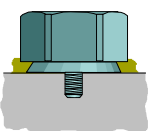
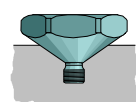
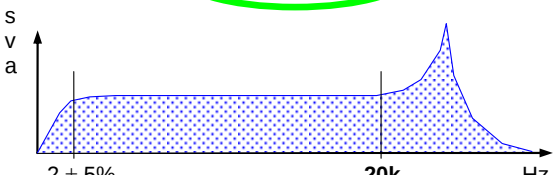
Anche in presenza di un cavo di collegamento tra sensore e strumento “lungo” , col segnale in corrente non si rischiano attenuazioni di segnale che invece si verificano inevitabilmente con un segnale in tensione.

Risposta in frequenza La curva di risposta in frequenza (nella slide sono indicate le curve tipiche dei sensori per le vibrazioni) è un altro parametro molto importante. Infatti la sensibilità di un sensore è garantita solo dove la curva di risposta in frequenza è piatta. Nella slide possiamo notare come gli accelerometri abbiano una zona di curva piatta molto più ampia rispetto ai velocimetri ed ai sensori di prossimità. Questo significa che hanno la possibilità di rilevare problemi a frequenze più basse e più elevate e quindi utilizzabili per un più ampio spettro di applicazioni.

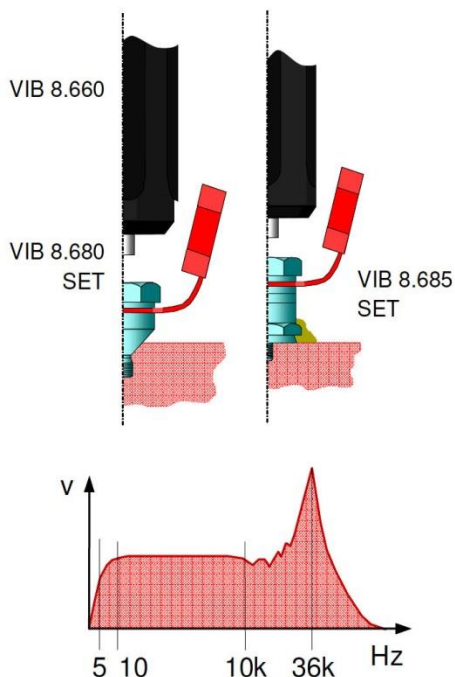
Quando si deve scegliere un sensore è sempre meglio selezionarne uno con un'elevata sensibilità, che sia cioè in grado di rilevare anche piccole vibrazioni. Esiste però un limite poiché una maggiore sensibilità, per esempio, in un accelerometro è ottenuta aumentando la massa interna (m) e quindi di conseguenza si riduce anche l'intervallo di frequenza in cui il sensore è utilizzabile. Infatti aumentando la massa interna si sposta verso il basso il valore della frequenza propria o di risonanza del sensore (picchi mostrati nei grafici di risposta in frequenza della slide).

$$\text{FREQUENZA DI RISONANZA: } F = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{K / m}$$

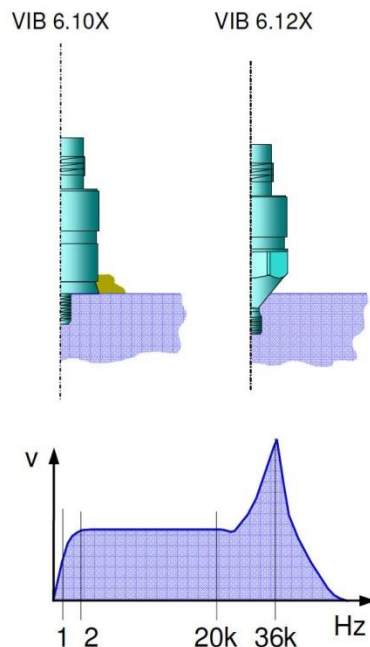
Trasduttori e sistemi di fissaggio

Sonde manuali		Sonde magnetiche	Adattatori a filetto o incollati		
VIB 6.14X Trasduttore mobile  VIB 8.606 TIPTECTOR  VIB 3.450  Superfici metalliche non preparate Impulsi d'urto  2 ± 5% 1k Hz		VIB 6.14X Trasduttore Mobile  VIB 8.736  Superfici metalliche curve o piatte Impulsi d'urto  2 ± 5% 5...20k Hz	Trasduttore mobile VIB 6.14X VIB 6.146 VIB 6.147 isolato ± 5% 2 Hz... 4 kHz ± 3dB 0,3 Hz...10 kHz  VIB 6.140 VIB 6.142 isolato ± 5 % 2 Hz... 8 kHz ± 10% 1 Hz...20 kHz Adattatore incollato M5 VIB 3.430  Diam. Ø 3,6 mm Adattatore filettato M5 VIB 3.435  Foro filettato M5 / 120° Adattatore filettato M8 VIB 3.440  Foro filettato M8 / 90° Impulsi d'urto  2 ± 5% 20k Hz		

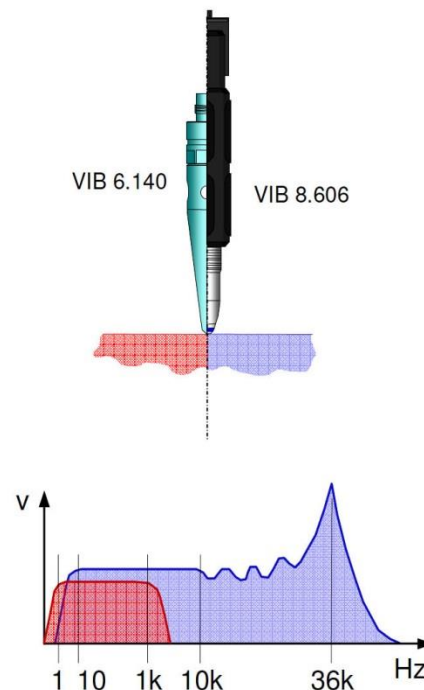
Screw & bonded studs



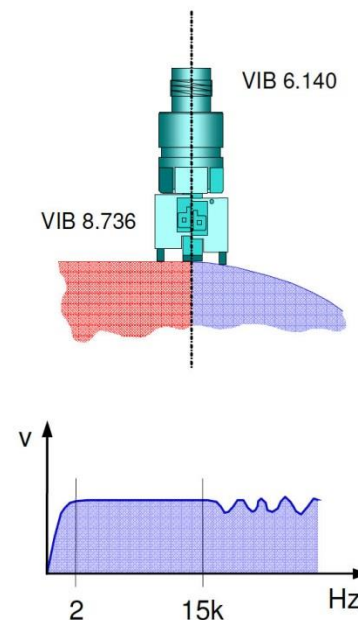
Screw & bonded sensors



Hand-held probe



Magnet for curved surfaces



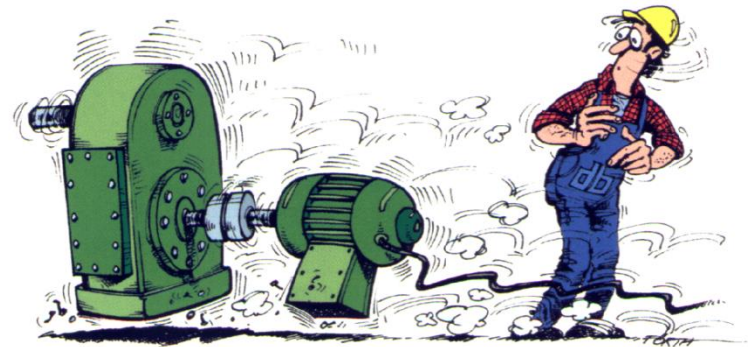
PRÜFTECHNIK - Industrial design - Solutions for every application - Mounting for reproducible data collection

- Additional linearity range
- Combined vibration/shock pulse sensor
- Simple practical mounting on the machine for high frequency coupling
- Insulated sensors
- VIBCODE® studs with measurement location recognition
- Sensors for different temperature ranges 80 °C/130 °C
- Robust patented bonded solution (80 kg/50 Nm)
- Low sensor mass
- Range of screw and bonded adapters, screw adapter with locking nut, screw extensions

E' importante sottolineare che la bontà di una misura di vibrazioni è fortemente legata al tipo di attacco tra il sensore e il punto della macchina su cui viene effettuato il rilievo. In generale più l'attacco è rigido e migliore è la qualità della misura. La questione è soprattutto legata alla frequenza della vibrazione che vogliamo analizzare. Infatti, come indicato nelle varie casistiche della slide, mentre per l'analisi delle vibrazioni fino ad 1 kHz la tipologia d'attacco non incide molto, la cosa cambia completamente man mano che si sale in frequenza.

Il problema si pone soprattutto quando si vogliano diagnosticare problemi legati a cuscinetti e riduttori che per loro natura possono evidenziare sullo spettro picchi a frequenze elevate. In questo caso se l'attacco non è sufficientemente rigido si rischia di leggere valori di vibrazioni molto più bassi del loro valore reale.

Cuscinetti a rotolamento e metodo shock pulse



Metodo ad Impulsi d'Urto (SPM) per valutare la condizione del cuscinetto

Questo metodo rileva gli impulsi d'urto che emergono durante il contatto metallo-metallo, presente nei cuscinetti danneggiati.

Per valutare la condizione del cuscinetto vengono rilevati due valori, il **valore di fondo (dB_c)** e il **valore di picco (dB_m)**.

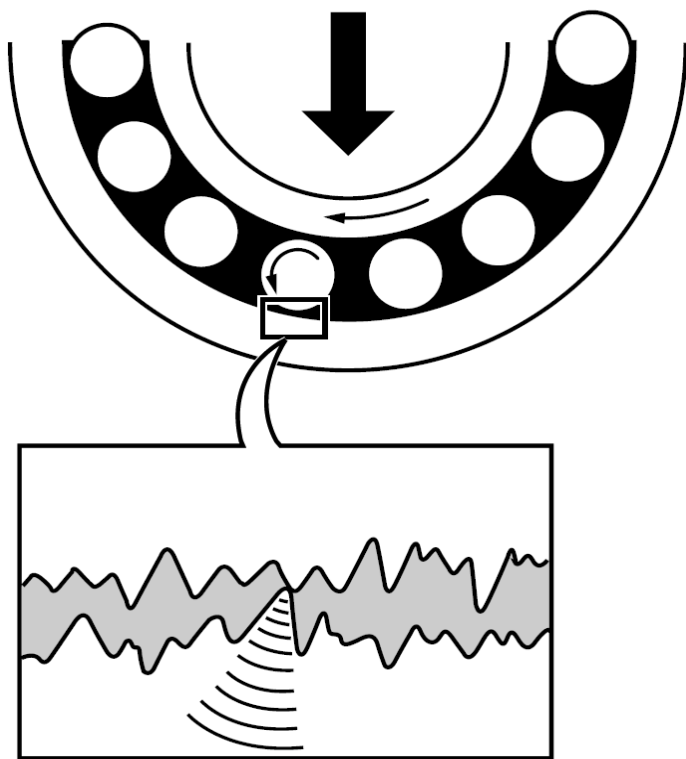
Man mano che il danno al cuscinetto progredisce, i livelli totali e la differenza fra questi valori aumentano.

Gli impulsi d'urto sono notevolmente influenzati dalla dimensione e dalla velocità di rotazione e pertanto il metodo tiene conto dell'RPM e del diametro interno dei cuscinetti, in modo tale che le letture possano essere normalizzate (**dB_N**).

Il supporto del cuscinetto deve essere preparato per la misurazione mediante installazione di trasduttori montati in modo permanente.

Cosa sono gli impulsi d'urto?

Gli impulsi d'urto sono impulsi di pressione di breve durata che vengono generati da impatti meccanici. Si verificano impatti meccanici in tutti i cuscinetti a rotolamento, ciò a causa delle irregolarità nella superficie delle piste e degli elementi volventi. La forza degli impulsi d'urto dipende dalla velocità d'impatto e dall'area della superficie.



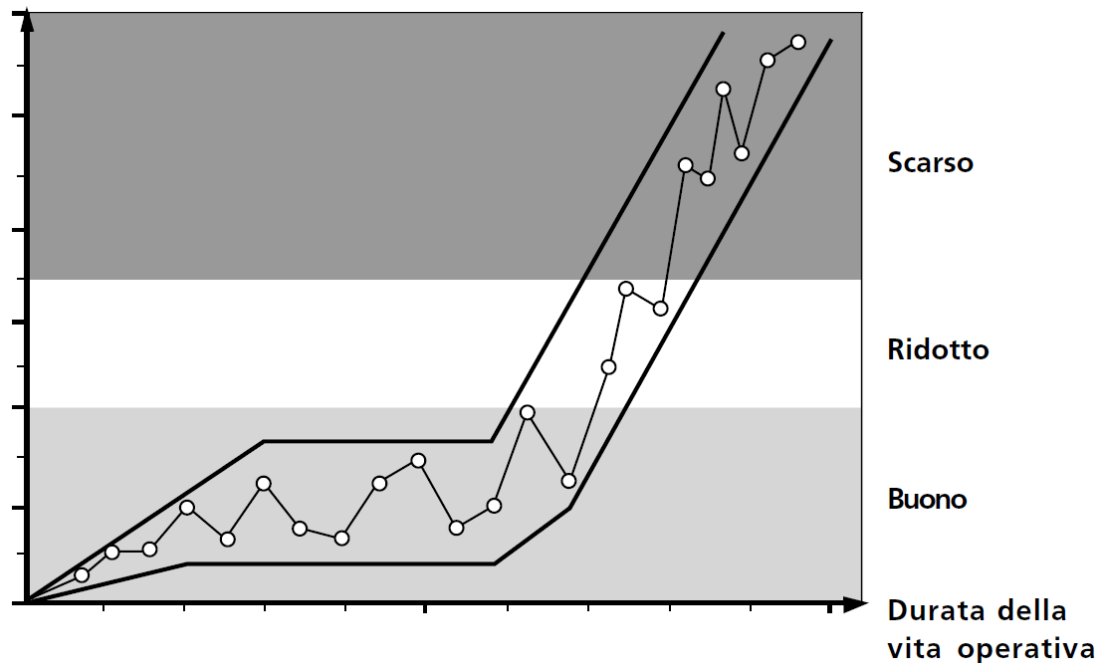
Dove si verificano gli impulsi d'urto?

Gli impulsi d'urto sono generati nell'interfaccia di rotolamento fra gli elementi volventi (sotto carico) e la pista del cuscinetto.

La superficie del cuscinetto è ruvida e dà origine a variazioni di pressione nella pellicola d'olio che separa le superfici mobili, nonché a collisioni fra i picchi delle superfici. Questi fattori producono impulsi d'urto, che si propagano attraverso il materiale del cuscinetto, la sede di supporto e le parti macchina adiacenti.

Come vengono misurati gli impulsi d'urto?

Gli impulsi d'urto **eccitano la frequenza di risonanza** (tipicamente attorno a 30 kHz) dell'accelerometro, posto in prossimità della zona di emissione. Per eliminare le componenti di bassa frequenza, come quelle causate da disallineamento degli alberi o sbilanciamento del rotore, viene usato un filtro passa-alto. Il segnale rimanente viene elaborato dal computer allo scopo di ottenere i parametri degli impulsi d'urto.



In questo modo è possibile valutare la condizione del cuscinetto senza introdurre termini e fattori complicati.

Nota 1:

poiché la rugosità delle superfici viene costantemente creata e levigata durante il funzionamento, i valori di misura possono aumentare o diminuire bruscamente in modo considerevole per brevi periodi di tempo. Per questo motivo, una singola misura 'istantanea' della condizione del cuscinetto spesso è meno utile ed affidabile di una misura di tendenza e del monitoraggio lungo un determinato arco di tempo.

Nota 2:

a causa dei molti fattori implicati nella misura degli impulsi d'urto, i risultati possono variare fra strumenti di diversi costruttori.

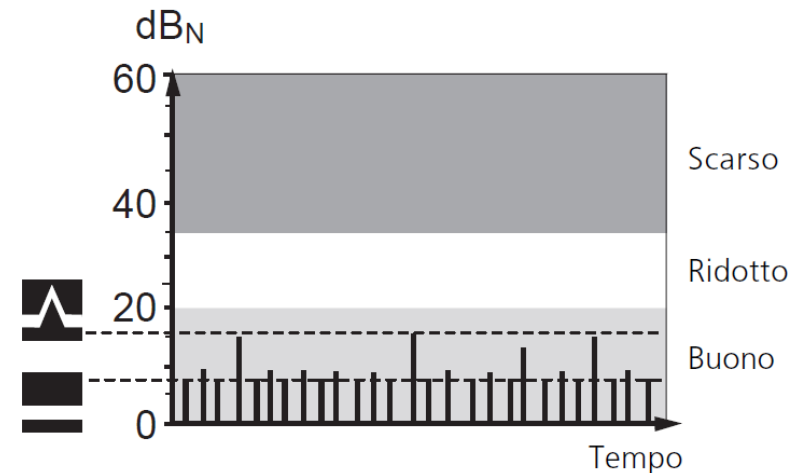
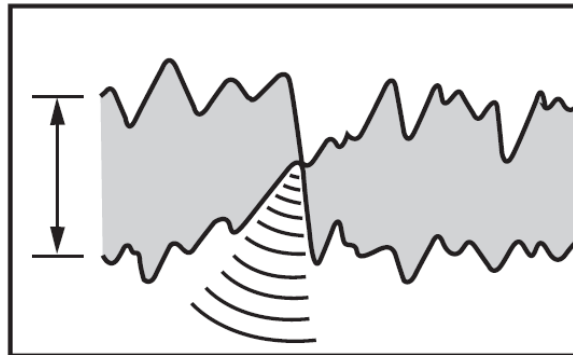
Il valore di fondo

La rugosità della superficie provoca una rapida sequenza di impulsi d'urto minori che assieme costituiscono la base d'urto del cuscinetto. La forza della base d'urto è espressa dal valore di fondo (valore di fondo in decibel). Il valore di fondo fornisce informazioni importanti riguardanti la lubrificazione dei cuscinetti, la validità del montaggio dei cuscinetti e il modo in cui i cuscinetti sono sottoposti a carico (per esempio a causa di disallineamento).

Il valore di fondo è direttamente correlato allo spessore della pellicola lubrificante sulla superficie di rotolamento. Il valore di fondo è basso quando la superficie degli elementi di rotolamento e la sede di rotolamento sono completamente, o quasi completamente, separati da un velo di lubrificante.

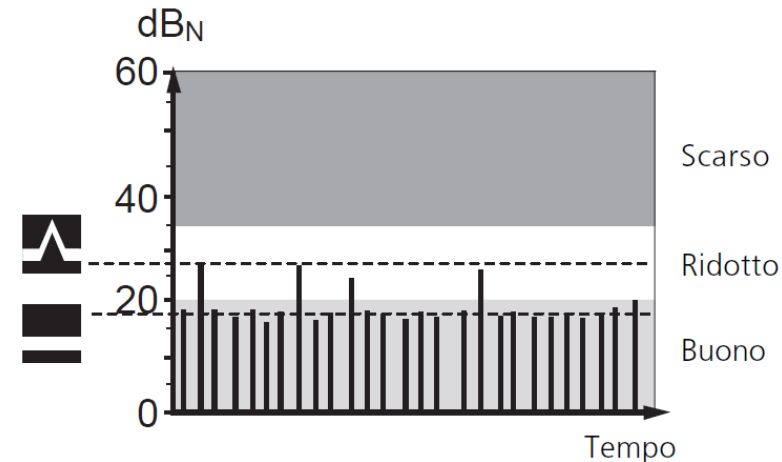
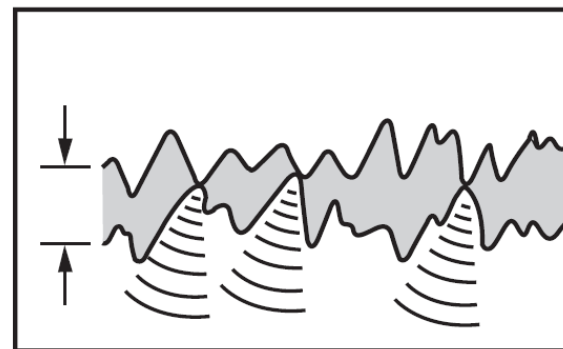
Shock Pulse Method

Il valore di fondo è basso quando gli elementi di rotolamento e la sede di rotolamento sono separati da una pellicola lubrificante abbondante.



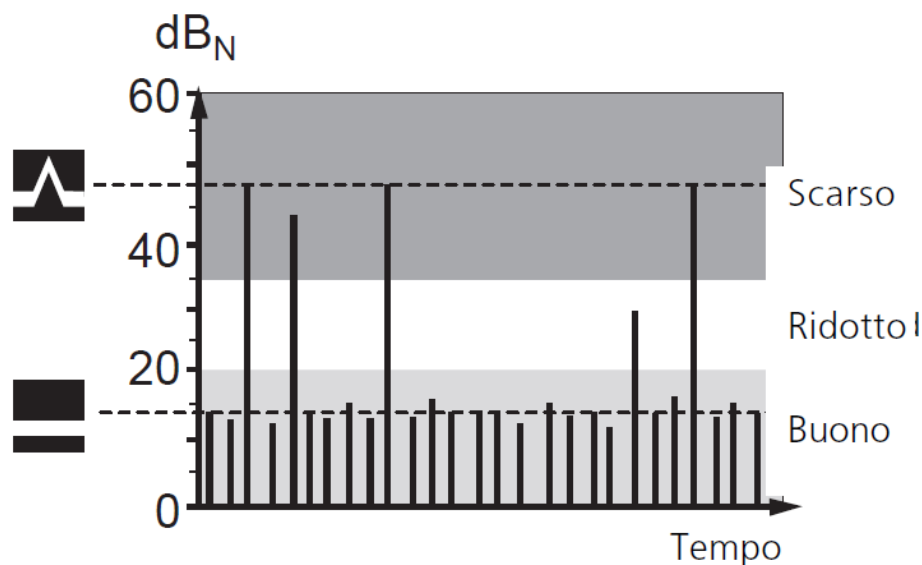
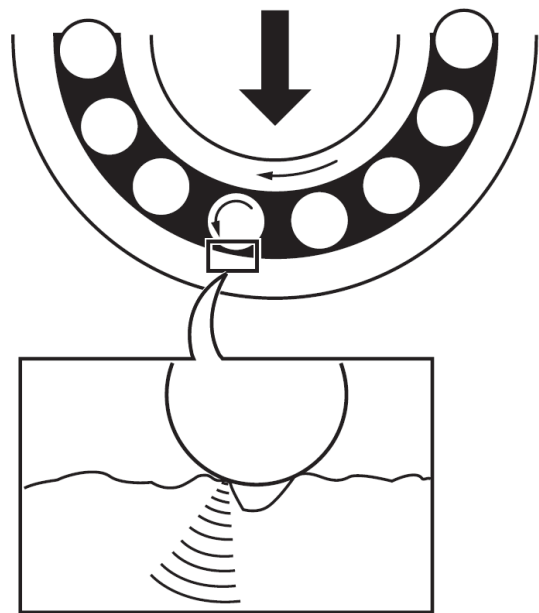
Il valore di fondo aumenta quando lo spessore della pellicola lubrificante diminuisce e il contatto metallo-metallo aumenta fra le superfici del cuscinetto. Il diagramma successivo illustra l'entità d'incremento del valore di fondo.

Il valore di fondo è aumentato quale risultato diretto della diminuzione dello spessore della pellicola lubrificante.



Valore massimo

Un danno al cuscinetto (cioè irregolarità relativamente grandi sulle superfici) provoca impulsi d'urto singoli con forze maggiori a intervalli casuali (vedere il diagramma sotto riportato), **che talvolta possono essere uditi appoggiando un cacciavite all'orecchio per ascoltare il rumore del cuscinetto**. Il valore d'impulsi d'urto più alto misurato su un cuscinetto è chiamato valore massimo (valore di picco in decibel). Il valore di picco viene usato per determinare la condizione di esercizio del cuscinetto, nonché il danno già verificatosi.



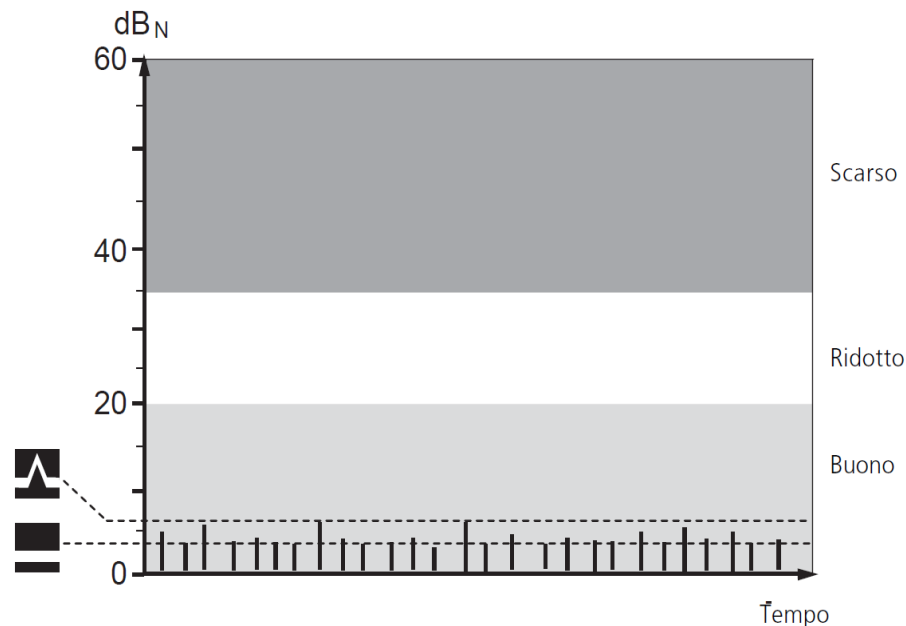
La scala della condizione

I diagrammi di seguito riportati illustrano lo sviluppo del valore di fondo e del valore di picco d'impulso misurati.

1. Condizione di esercizio buona

Il diagramma successivo è tipico per un cuscinetto in buona condizione di esercizio. Il valore di fondo basso indica che installazione, lubrificazione e carico sono normali. Questo è confermato da un valore di picco soltanto leggermente superiore al valore di fondo.

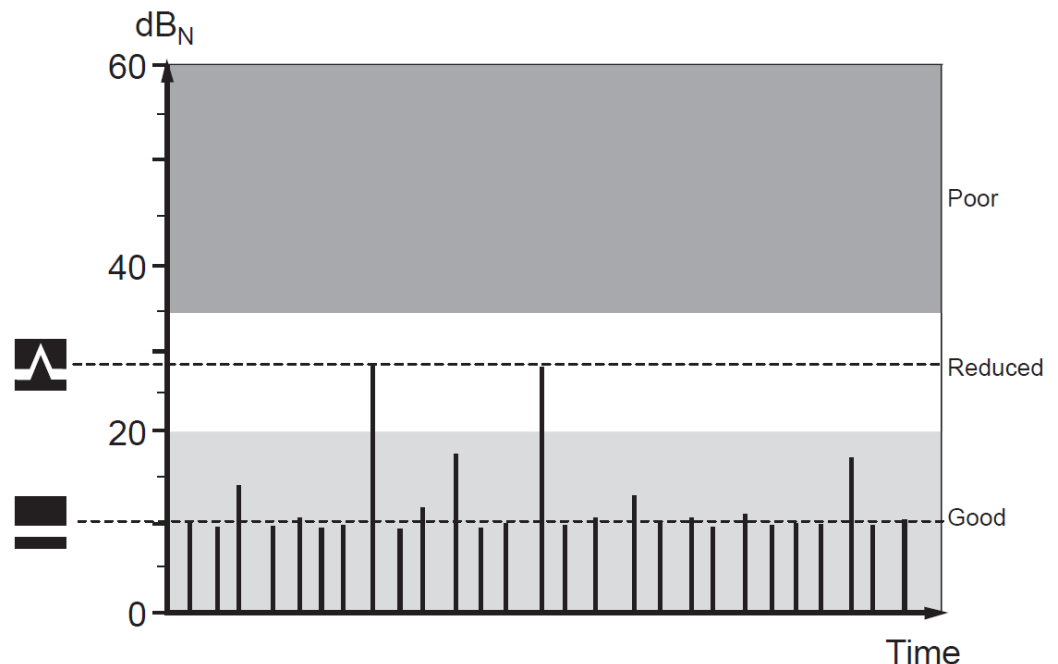
Un basso valore di fondo indica che installazione, lubrificazione e carico sono normali.



2. Condizione di esercizio ridotta

Un aumento significativo nella curva di sviluppo è il primo segno di avvertimento. Lo sviluppo del danno al cuscinetto inizia a ridurre la condizione di esercizio. Il valore di picco raggiunge un livello di condizione di esercizio ridotta e la differenza fra il valore di picco e il valore di fondo diventa maggiore. Vedere diagramma sotto.

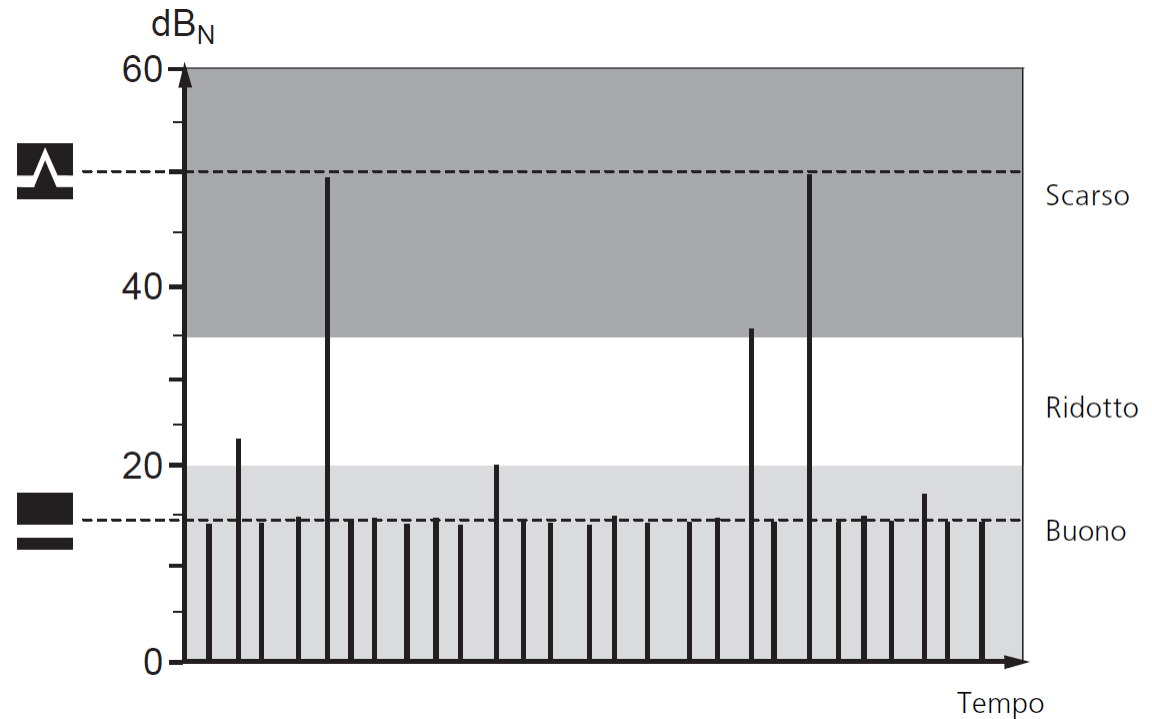
Un aumento significativo nel valore di fondo, così come un aumento nella differenza fra il valore di fondo e il valore di picco, sono un segno sicuro di danno al cuscinetto in sviluppo.



3. Condizione di esercizio scarsa

Valori massimi nel livello di condizione di funzionamento scarsa, una grande differenza fra il valore di picco e di fondo e, talvolta, un aumento nel valore di fondo indicano danno visibile. Quando il valore di picco raggiunge il livello di condizione di funzionamento scarsa, il rischio di rottura è molto alto.

Quando il valore di picco raggiunge il livello di condizione di esercizio scarsa e i picchi raggiungono livelli di circa tre volte il valore di fondo, il rischio di rottura è molto alto.



La curva di durata

Variazioni di entità minore nelle letture del cuscinetto sono normali. Queste variazioni possono essere causate da variazioni di temperatura e carico, tempo dal reingrassaggio, oppure da variazioni nella condizione di esercizio della macchina e dei cuscinetti.

Su un cuscinetto danneggiato, le letture alte scenderanno quando il danno viene parzialmente spianato. Aspetti importanti per pianificare la sostituzione del cuscinetto sono il trend delle letture e la velocità di variazione delle letture. I cuscinetti con letture alte (condizioni di esercizio ridotta e scarsa) devono essere misurati con maggiore frequenza rispetto a cuscinetti in condizioni buona e stabile.

Intervalli di misura raccomandati

Gli intervalli fra le misure dipendono dai seguenti aspetti:

- la stabilità delle misure
- la condizione di esercizio corrente del cuscinetto
- la velocità di sviluppo del danno al cuscinetto

Cuscinetti nuovi

Controllate la qualità dell'installazione dopo un periodo di funzionamento di circa un giorno. Misurate entrambi i valori e una volta alla settimana per un mese. Quando si stabilizzano, registrate i livelli per un futuro raffronto. Impostate i livelli di allarme e avvertimento sulla base di questi valori.

Condizione di esercizio buona

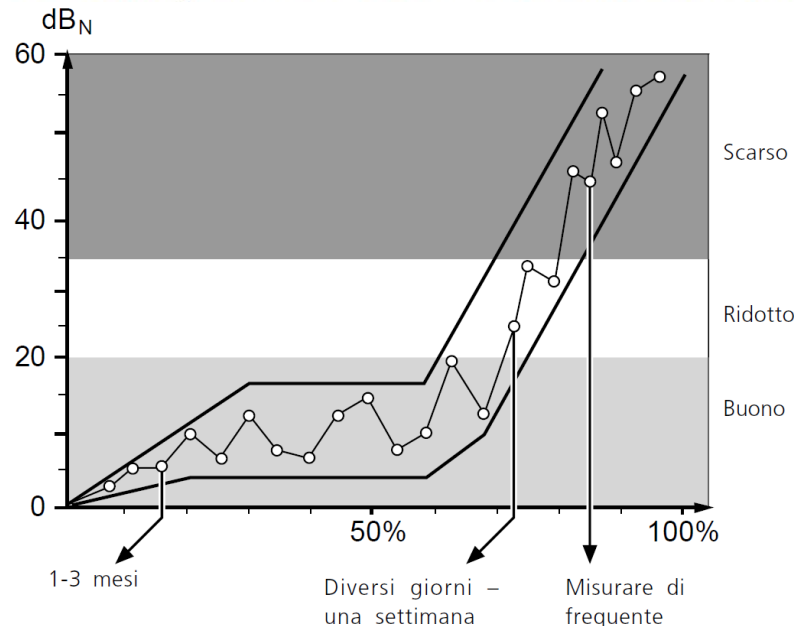
Effettuate controlli di routine una volta al mese.

Condizione di esercizio ridotta

Valutate la lettura e ricercate la causa. In caso di danno al cuscinetto in sviluppo, misurate 1-2 volte alla settimana. Misurate meno di frequente se la lettura rimane stabile o se aumenta molto lentamente.

Condizione di funzionamento scarsa

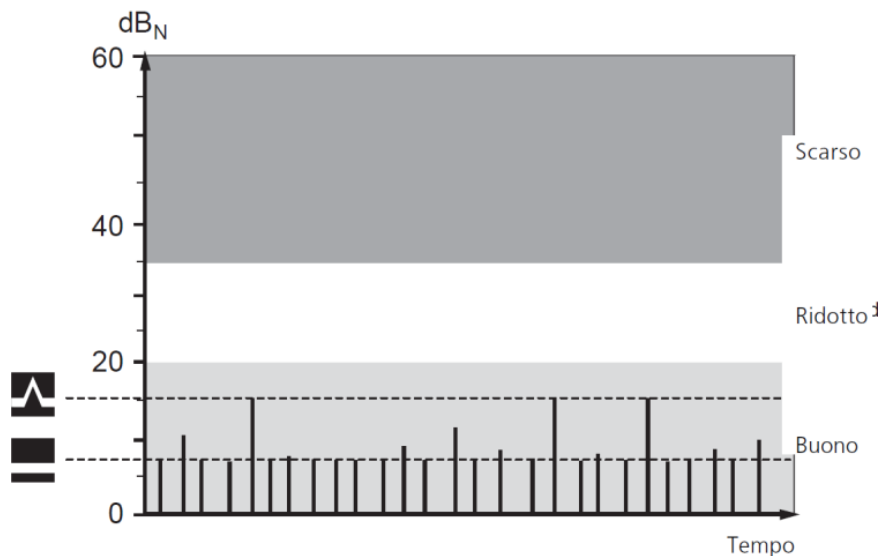
Misurate più di frequente. Pianificate la sostituzione. Il cuscinetto può durare ancora per alcune settimane, ma deve essere controllato attentamente.



Diagrammi tipici degli impulsi d'urto

Cuscinetti in buona condizione

Valori massimi compresi tipicamente fra 0 dBN e 20 dBN non necessitano di valutazione. La condizione di esercizio è buona.

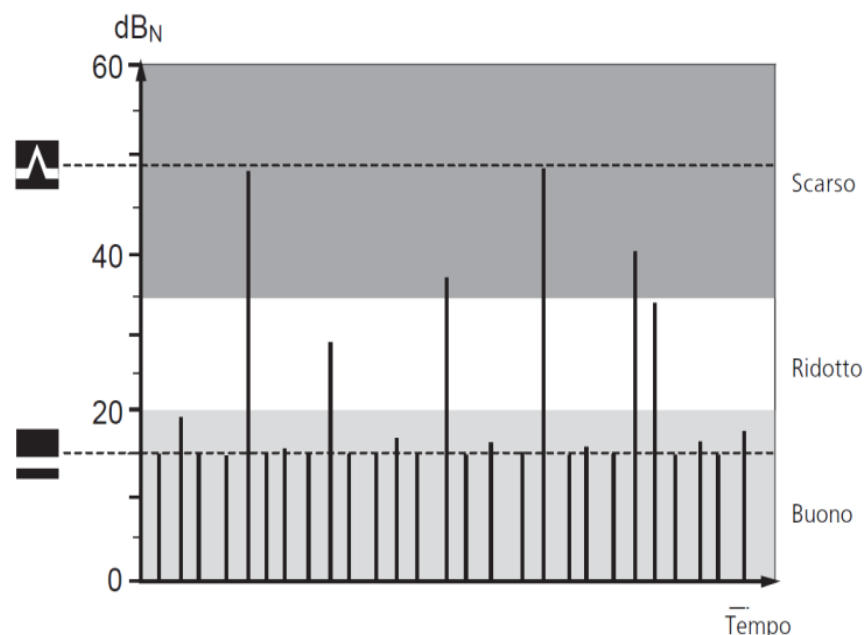


Nota:

Quando i valori misurati sono molto bassi, spesso la causa può essere un punto di misura non adatto oppure una tecnica di misura non corretta.

Danno al cuscinetto o particelle estranee nel lubrificante

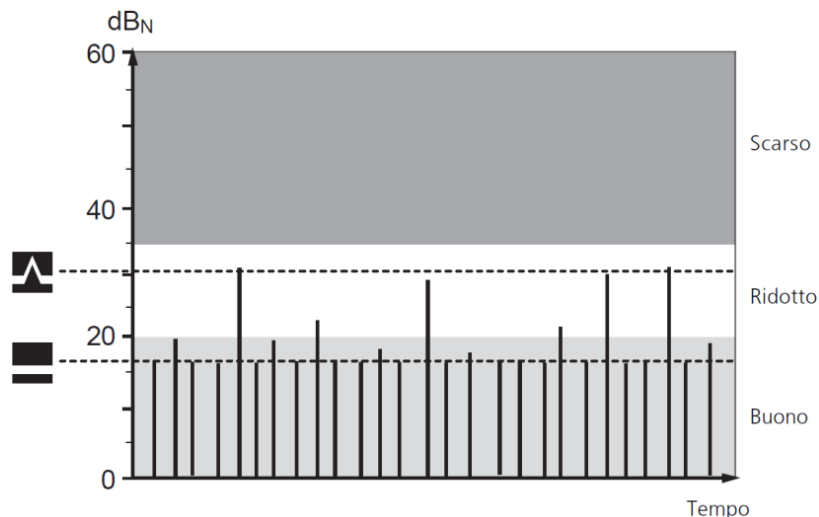
Urti casuali con valori più alti, assieme a un valore di fondo abbastanza basso, indicano tipicamente, danno al cuscinetto o particelle estranee nel lubrificante. Rilubrificare il cuscinetto o esaminare l'olio prima di decidere la sostituzione del cuscinetto.



Un valore di fondo abbastanza basso ed alti picchi isolati sono tipici di danno al cuscinetto o segnalano la presenza di particelle estranee nel lubrificante.

Errori di installazione o lubrificazione insufficiente

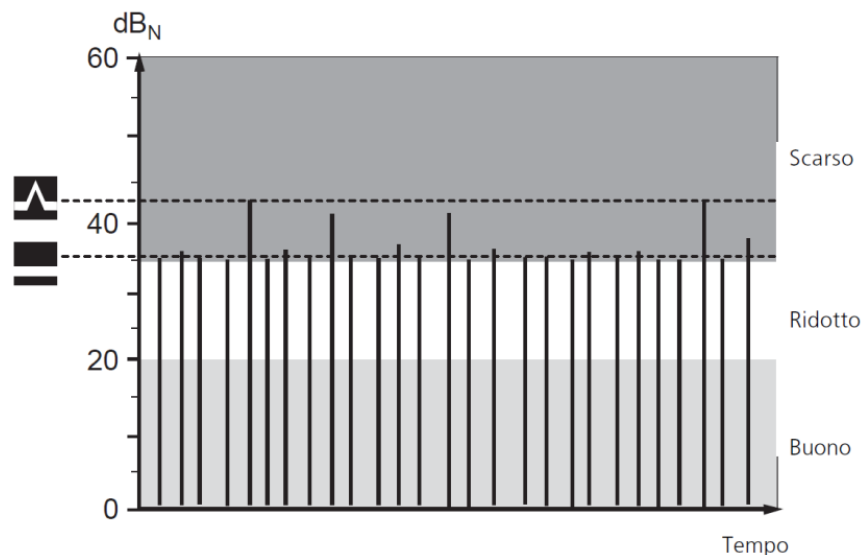
Un valore di fondo alto e un valore di picco solo leggermente superiore, ma entro il livello di condizione di esercizio ridotta, indicano errori di montaggio o lubrificazione insufficiente. Lubrificate il cuscinetto e misurate nuovamente dopo alcune ore. Il valore scenderà in caso di lubrificazione insufficiente, ma rimarrà invariato in caso di installazione errata.



Un valore di fondo alto e un valore di picco entro il livello di condizione di esercizio ridotta indicano errori di installazione o lubrificazione insufficiente.

Funzionamento a secco del cuscinetto o cavitazione

Il diagramma illustra un valore di fondo molto alto e un valore massimo che è soltanto leggermente superiore. Questo indica un funzionamento a secco del cuscinetto o cavitazione in pompe. In questo caso il valore scende quando il cuscinetto viene lubrificato. In caso di cavitazione, il valore degli impulsi d'urto è maggiore sul corpo della pompa e non viene influenzato dalla lubrificazione del cuscinetto.



Un valore di fondo molto alto e un valore di picco leggermente superiore sono indici di funzionamento a secco del cuscinetto o cavitazione in pompe.

La posizione di misura

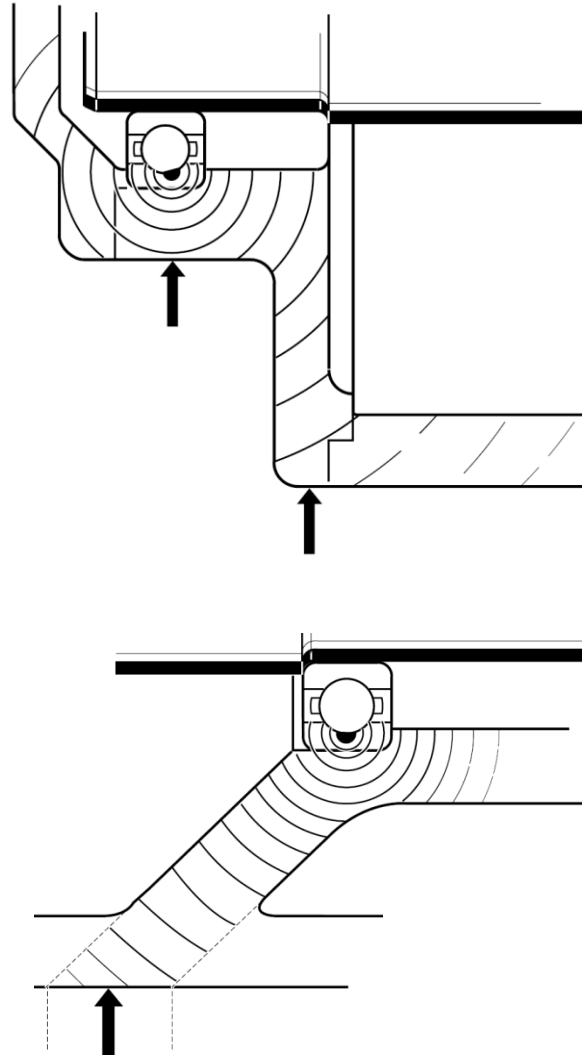
I punti di misura preferiti sono dove l'energia di vibrazione viene trasmessa al sensore il più direttamente possibile. Per macchine che includono masse rotanti, i cuscinetti ed i punti di montaggio della macchina sono punti di misura ideali.

1. Una sola interfaccia meccanica

Ogni interruzione (o giuntura) nel materiale smorza il segnale da misurare. Pertanto, il percorso del segnale deve contenere soltanto un'interfaccia meccanica, quella fra il cuscinetto e la sede di supporto.

2. Il più vicino possibile!

Il percorso di segnale fra il cuscinetto e il punto di misura deve essere il più breve e diretto possibile.



L'entità della perdita di segnale in un'interfaccia può essere notevole. Le saldature, per esempio, sono considerate delle interfacce.

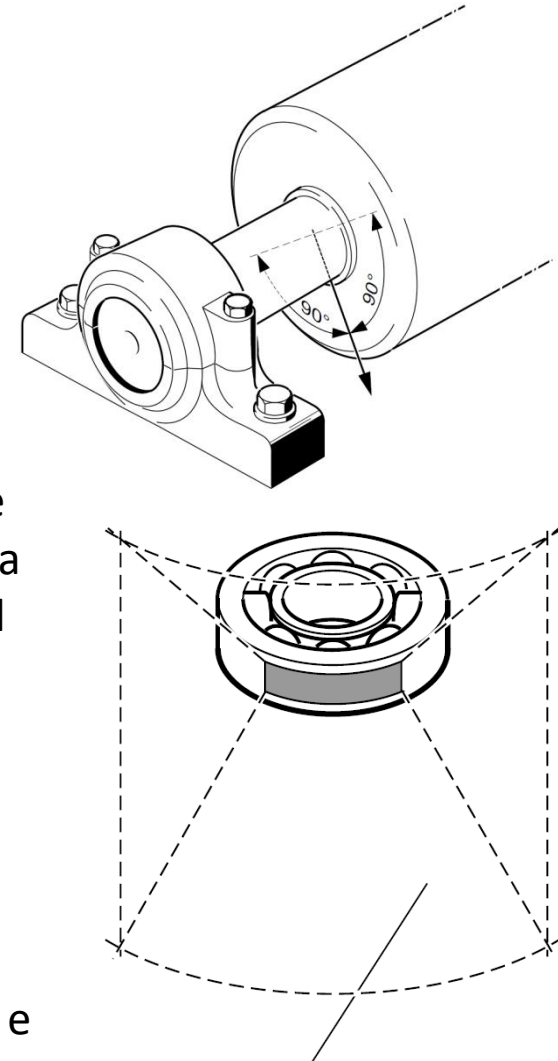
Gli impulsi d'urto perdono forza in un percorso di segnale lungo (soprattutto quando esso ha una sezione trasversale grande) e vengono smorzati se deviati da curve nel percorso. Si noti che la misurazione può essere eseguita soltanto nell'area definita dalle linee tratteggiate.

3. Zona caricata

Gli impulsi d'urto vengono generati principalmente all'interfaccia di rotolamento, dove l'elemento rotante (sotto carico) tocca la pista. Pertanto, la misura deve essere effettuata nella zona caricata del cuscinetto (definita dalla finestra di emissione del cuscinetto). Idealmente, il punto di misura dovrebbe essere in linea con la direzione di carico.

Finestra di emissione del cuscinetto

Per cuscinetti radiali, la regione caricata copre un settore di 90° centrato attorno alla direzione di carico. Dalla pista esterna, gli impulsi d'urto vengono trasferiti alla sede del supporto. Poiché la larghezza del cuscinetto è limitata, la radiazione diretta degli impulsi d'urto è limitata a un settore di $\pm 60^\circ$ dalla perpendicolare all'area di contatto fra gli elementi di rotolamento del cuscinetto e la pista. Questi limiti definiscono la cosiddetta finestra di emissione del cuscinetto. All'esterno della finestra di emissione possono essere misurati impulsi d'urto riflessi e smorzati.



Finestra di emissione

4. Direttamente sul cuscinetto

Gli impulsi d'urto vengono smorzati quando attraversano una giuntura meccanica o sono deviati dal loro percorso rettilineo. Pertanto, è importante rilevare gli impulsi d'urto prima che una parte significativa della forza del segnale venga persa. Si raccomanda quindi di eseguire la misurazione direttamente sul cuscinetto.



5. Superficie metallica, piatta e pulita (preferibilmente lavorata)

Effettuando le misure del cuscinetto, è necessario posizionare correttamente lo strumento. Se la sonda viene posizionata in modo non corretto sulla macchina, potrebbero risultarne valori di misura non attendibili. Quindi, occorre accertarsi che la superficie di montaggio sia piatta e pulita (preferibilmente lavorata di macchina). Rimuovere ogni traccia di vernice, grasso o sporco, diversamente la gamma di frequenza potrebbe risultarne ridotta a causa di un contatto insufficiente.

Misure degli impulsi d'urto normalizzate e non normalizzate

Il valore degli impulsi d'urto è legato alla velocità di rotazione dei cuscinetti. Un cuscinetto che ruota lentamente produce un valore di impulsi d'urto basso. Lo stesso cuscinetto che ruota velocemente produce un valore di impulsi d'urto più alto.

Misurazione non normalizzata

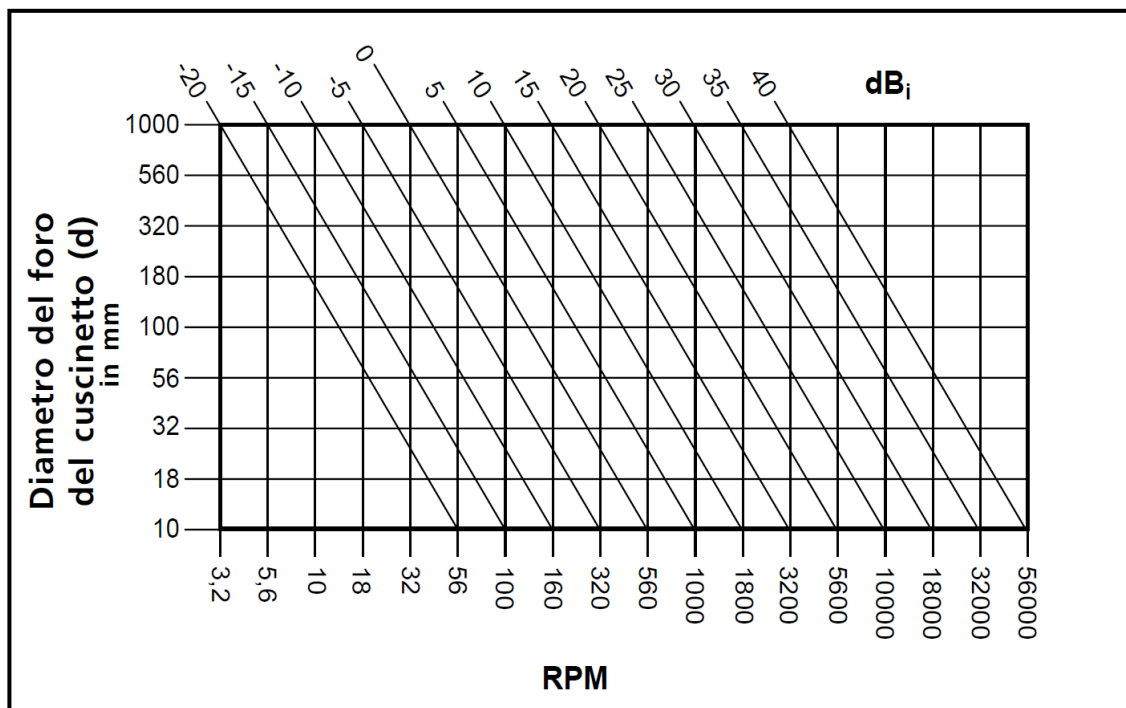
Le 'pure' letture assolute del livello d'impulsi d'urto in dB_{sv} sono di valore pratico solo se prese a intervalli regolari per osservarne l'andamento. Il valore assoluto cresce man mano che le condizioni del cuscinetto peggiorano. Le tolleranze devono essere determinate empiricamente e impostate individualmente per ogni cuscinetto.

Misurazione normalizzata

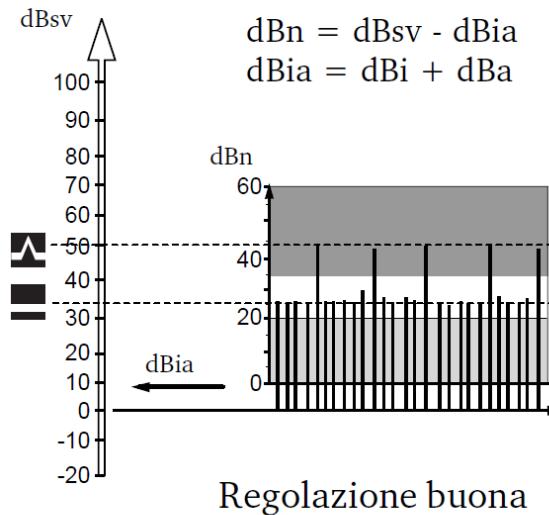
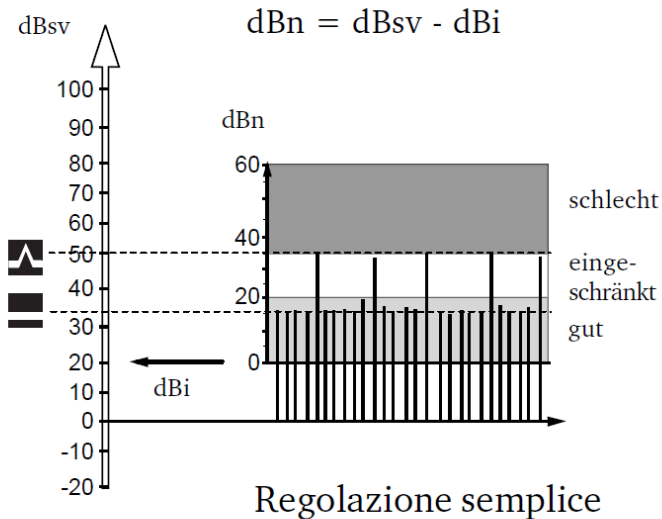
Se le 'pure' letture dell'impulso d'urto sono regolate per tener conto di maggiori fattori influenzanti, il valore risultante normalizzato permette l'uso di tolleranze, indipendenti da punti di misurazione e parametri operativi dei cuscinetti. Il fattore principale è la velocità di rotolamento, determinata mediante il diametro del cuscinetto e il numero di giri. Questi sono usati per calcolare il valore iniziale dell'impulso d'urto dB_i , il quale può essere convertito in misura normalizzata. Questo valore e la scala della misurazione normalizzata sono poi raffinate con il valore di regolazione dB_a , determinato dall'influenza di carico del cuscinetto e incostanza del segnale.

dB_i (dB - Iniziale)

È il valore di “rumore” iniziale dei cuscinetti. Il dB_i è un valore medio empirico, basato su misurazioni di un gran numero di cuscinetti nuovi, perfettamente funzionanti. Il valore di “rumore” iniziale esprime, in dB_i, il livello di impulsi d’urto normale per cuscinetti singoli in condizioni di esercizio ottimali. Il valore dB_i è il punto di partenza della scala di misura normalizzata. Viene calcolato dal diametro del foro del cuscinetto (d) e dall’RPM, il grafico di seguito riportato può essere di aiuto nel valutarne il valore.



Normalizzazione



Regolazione normalizzata semplice

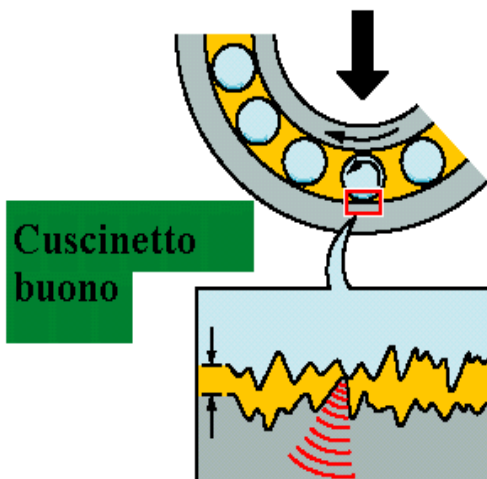
La scala delle misurazioni normalizzate comincia al valore iniziale (= 20 dB_i)

Regolazione normalizzata buona

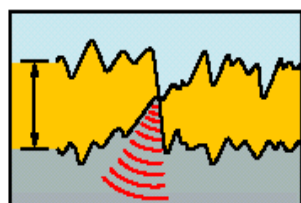
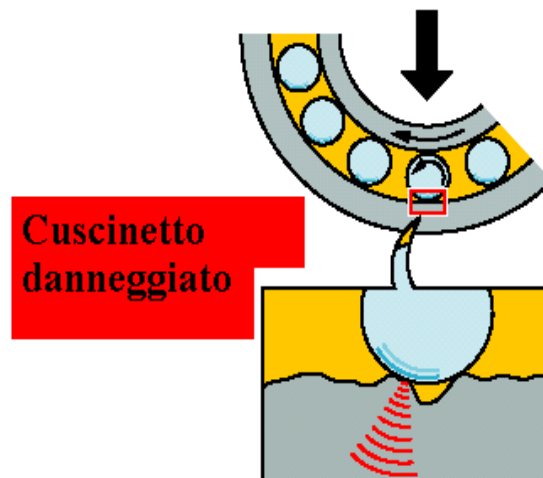
Il valore iniziale (dB_i) è ulteriormente regolato (= 10 dB_{ia})

Regolazione normalizzata

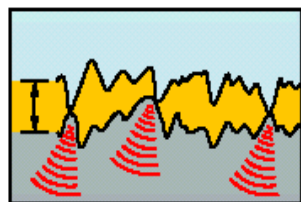
- 'Buona' condizione operativa del cuscinetto e andamento costante delle misurazioni negli ultimi tre mesi
- Il valore normalizzato di fondo di 'buona' condizione del cuscinetto è **5dBn** (± 2 dB).



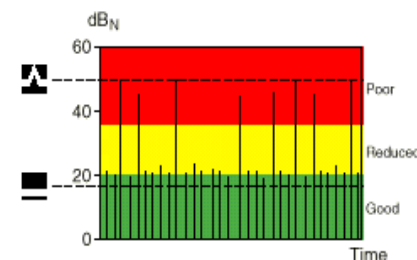
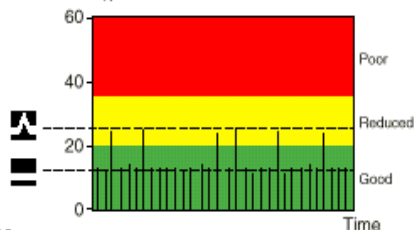
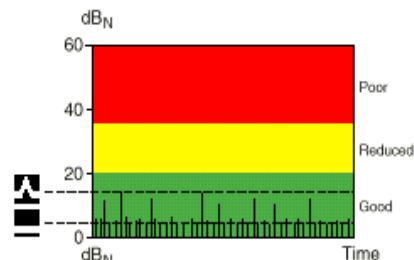
Videata tipo



Lubrificazione corretta



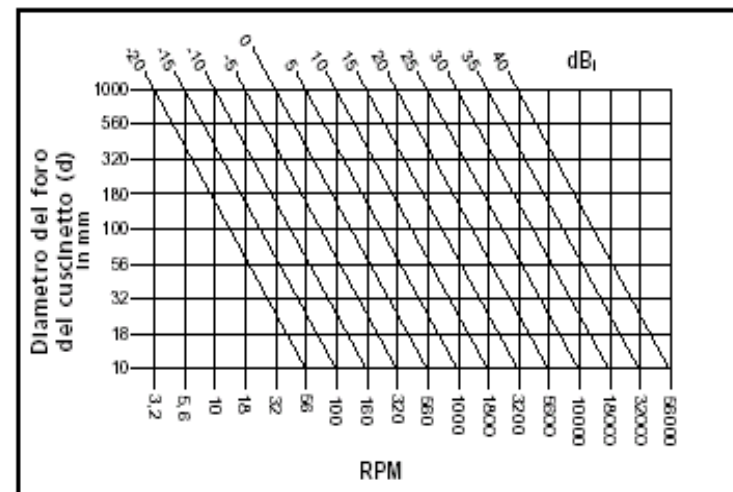
Lubrificazione insufficiente



Nota:
La scala dei colori è solo a scopo indicativo:
la diagnosi del cuscinetto è più affidabile
tramite il trending (andamento).

Esempio Pratico : Dobbiamo controllare il cuscinetto posteriore installato su un motore elettrico

1° Operazione : individuare Numero di giri 1485
e diametro di calettamento 80 mm.



2° Operazione : inserire questi valori nello strumento, verrà creato in automatico il valore dB_i (valore iniziale del cuscinetto in ottime condizioni).

3° Operazione : Misura sul supporto posteriore del motore, Valore di fondo dB_c misurato :
- 9

Eppure il cuscinetto è nuovo !! Ma i dati sono giusti ?

Questo è un esempio numerico che ha lo scopo di chiarire meglio il concetto di normalizzazione delle misure.

Anzitutto dobbiamo ricordare che un cuscinetto nuovo e perfettamente installato avrà comunque un suo valore vibrazionale iniziale, dovuto alle tolleranze ed alle proprie dimensioni costruttive.

Questo valore iniziale prende la sigla di dBi , dove “ i ” sta per “ Valore iniziale “.

Tale valore è calcolato in automatico dallo strumento sulla base del diametro di calettamento interno e del numero di giri.

L'uso dei valori normalizzati (dBn) è importante perché dopo l'operazione di impostazione del valore iniziale, consente di avere le stesse soglie d'allarme per tutti i cuscinetti.

Infatti impostando il valore iniziale per ogni cuscinetto, si cambia sempre la scala di partenza ma mai il valore di allarme o avvertimento.

Esempio un cuscinetto di diametro 80 mm con numero di giri 1485 avrà come valore iniziale 20 dB e questo valore diventerà il nuovo zero, cioè questo valore verrà sottratto al valore di rumore letto dallo strumento. Questa operazione (normalizzazione) consente di confrontare il livello di rumorosità letto con la soglia di riferimento (di allarme) di 35 dBn.

Un altro cuscinetto di diametro 200 mm con numero di giri 2980 avrà un valore iniziale di 31 dB che però normalizzato diventerà il nuovo zero e quindi anche questo cuscinetto andrà in allarme a 35 dBn.

4° Operazione : *Ulteriore taratura sulla specifica*

*applicazione in campo ! dBia = Valore iniziale tarato o in
lingua inglese “ dbia = dB Initial Adjust “*

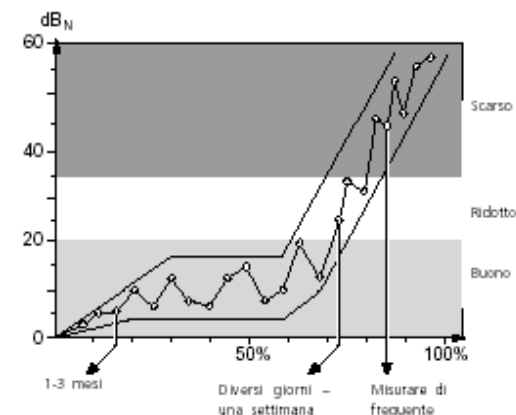
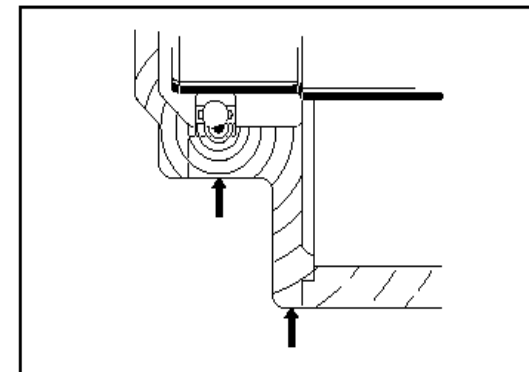
5 ° Operazione : Inserimento valore correttivo dovuto alla
applicazione, inserimento valore – 9 .

6° Operazione : Valore di fondo ri-parte da 0 zero
e si controllerà il suo sviluppo nel tempo.

oltre 35 dBn necessario controllare di frequente (15)

20 – 35 dBn è opportuno maggiore controllo (10 – 15)

0 – 20 dBn Valori Ottimi (0 – 10)

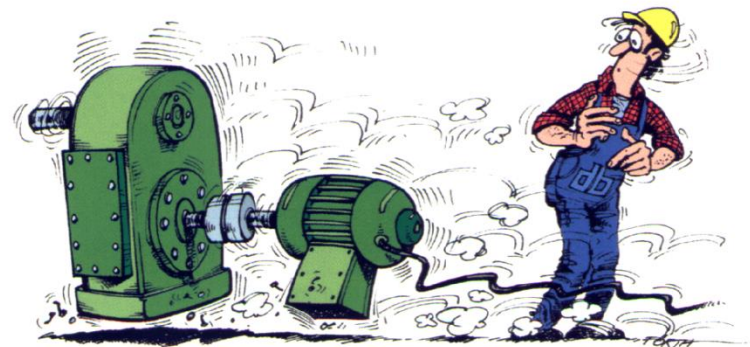


Oltre al valore iniziale che è dovuto ai dati dimensionali del cuscinetto (numero di giri e diametro) è possibile effettuare un'ulteriore taratura del valore di partenza e quindi di conseguenza della soglia d'allarme sulla base della reale applicazione in impianto.

Un cuscinetto di recente e corretta installazione dovrebbe avere un valore di fondo tra 0 e 5 dBn. Se quando effettuiamo la misura sulla macchina ci accorgiamo che il valore è negativo oppure troppo alto, ma noi siamo assolutamente sicuri che il cuscinetto è in ottime condizione, possiamo inserire il valore che leggiamo (nell'esempio -9) come valore di compensazione dovuto allo smorzamento del segnale che la struttura della macchina effettua sul segnale stesso.

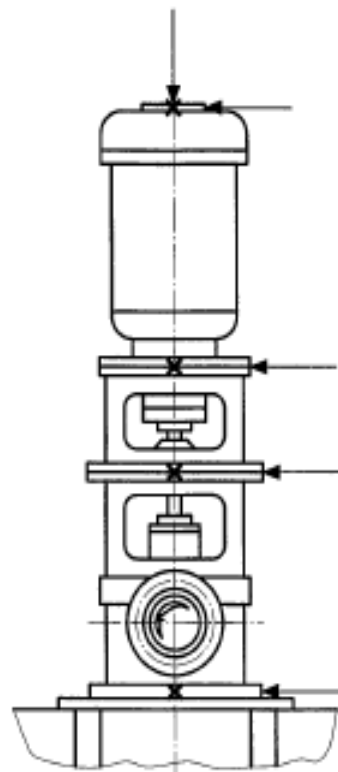
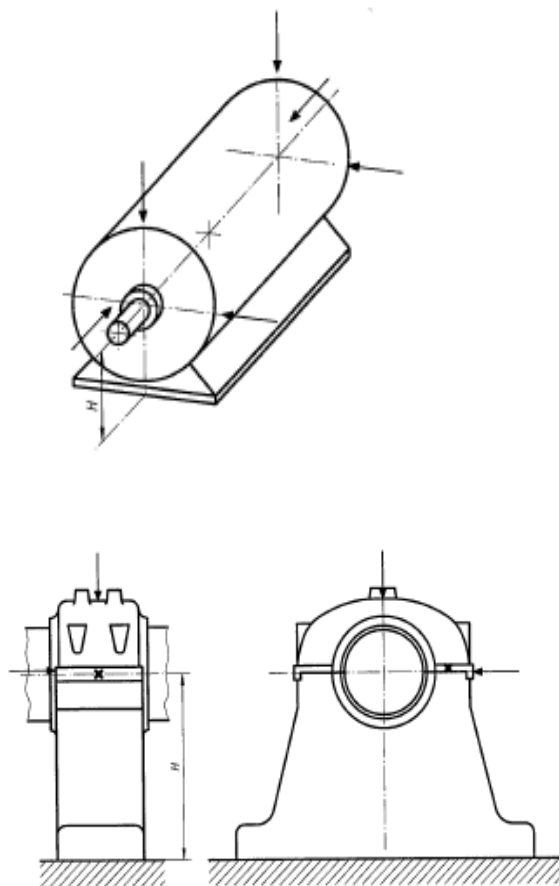
Come già visto, per ridurre al minimo tale smorzamento è importante cercare di misurare il segnale sempre il più possibile vicino al cuscinetto stesso ed in direzione del carico.

Accorgimenti per effettuare le misure negli impianti

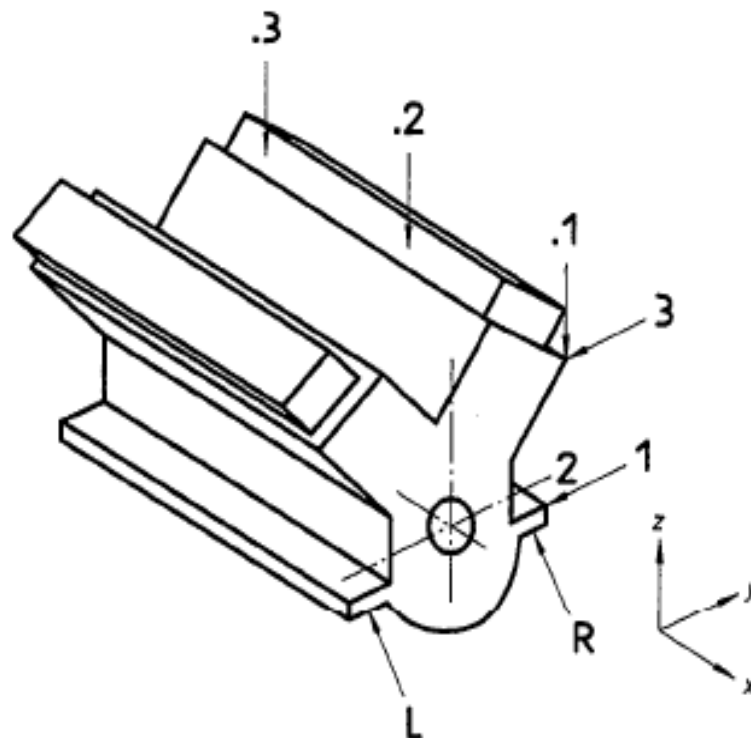
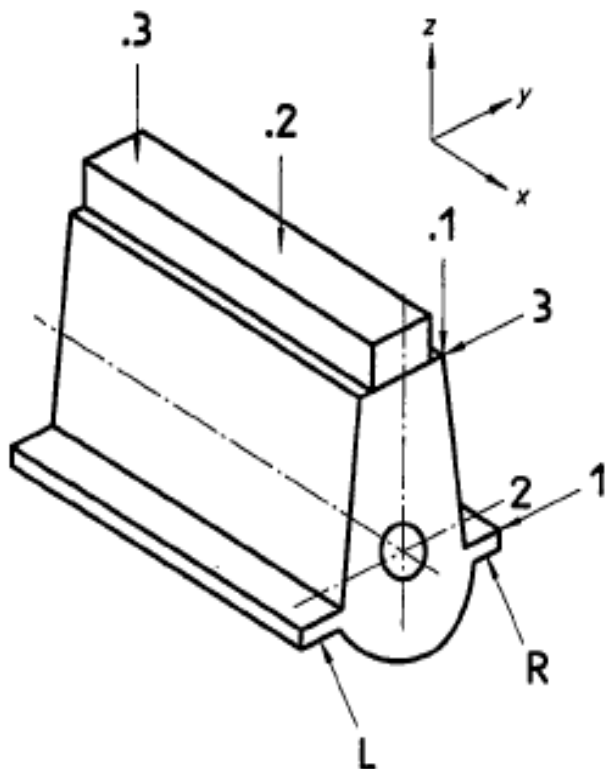




Punti di misura



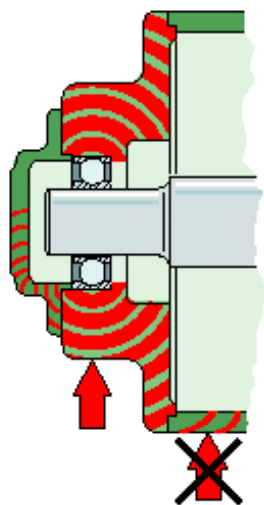
**Punti di
misura**



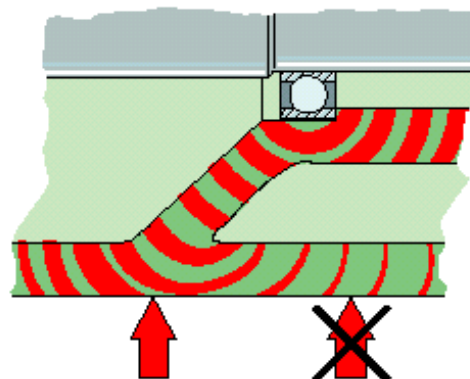
**Punti di
misura**

Dove misurare?

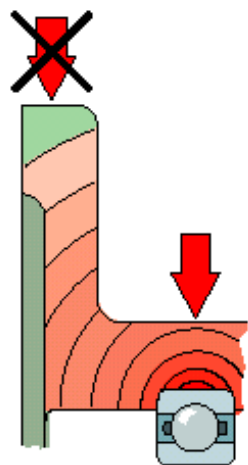
1. Una sola interfaccia meccanica



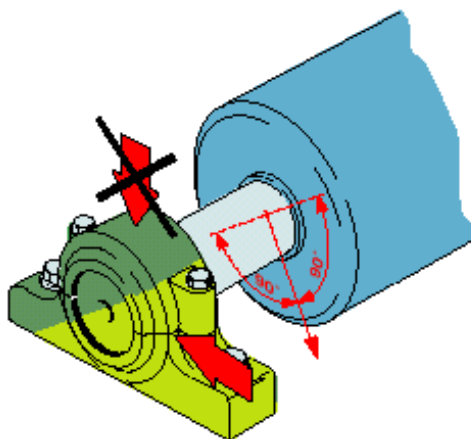
2. Il percorso più diretto



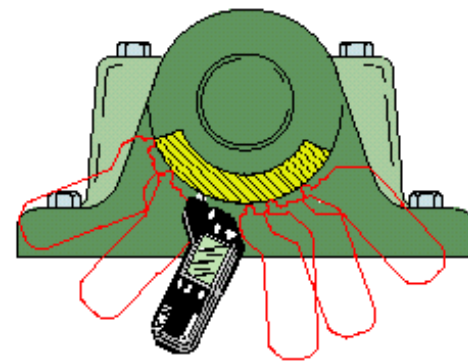
3. Il più vicino possibile

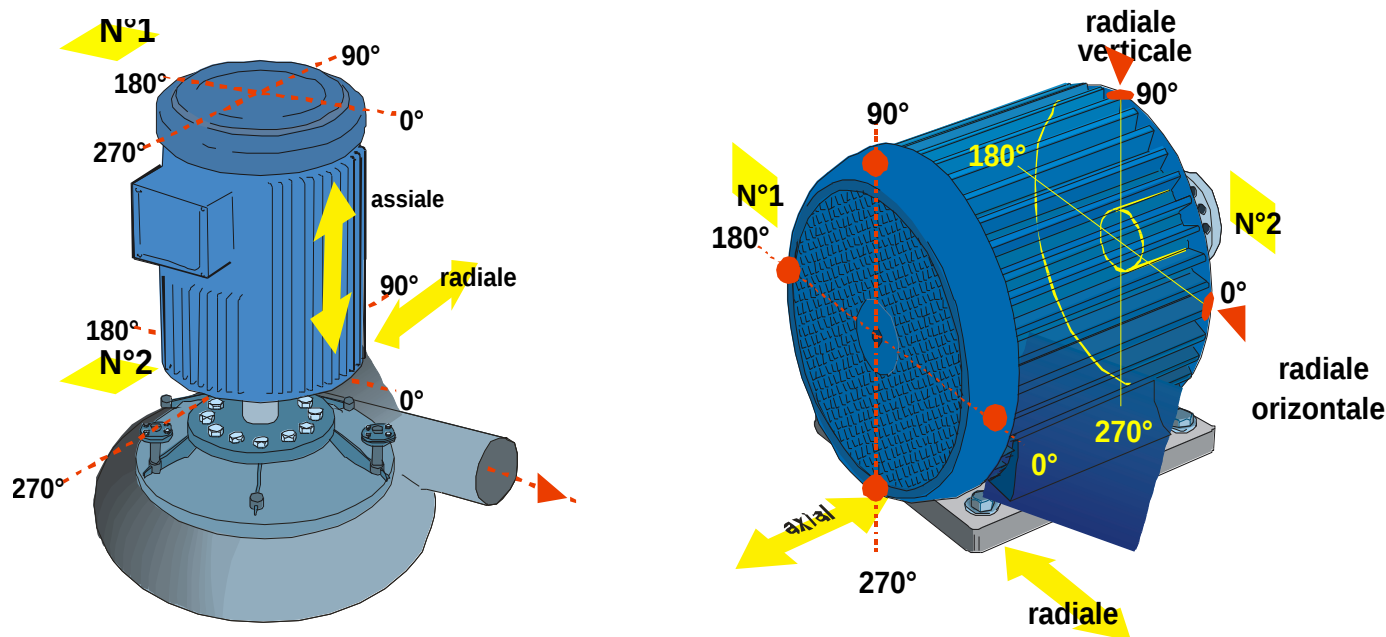


4. Misurare nella direzione di carico



Cercare sempre la zona con il segnale più forte!





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

Le misure se possibile si effettuano sui 3 assi :

Assiale , nello stesso senso dell'albero della macchina.

Radiale Orizzontale, a 90 o 270 gradi rispetto l'albero della macchina.

Radiale Verticale , a 0 o 180 gradi rispetto l'albero della macchina.

A volte un compromesso accettato è una misura intermedia a 45 gradi.

Talvolta si può effettuare una prima diagnosi sulla macchina senza l'utilizzo dell'analisi in frequenza, ma andando a verificare eventuali variazioni sui valori globali di vibrazione.

E' importante, in questo caso, verificare in quale direzione si sia manifestata la maggiore variazione.

L'aumento del livello vibrazionale in una certa direzione può essere associato a ad una causa specifica.

Ad esempio un aumento del livello vibrazionale nella direzione orizzontale può essere ricondotto ad un problema di sbilanciamento mentre un aumento nella direzione assiale ad un disallineamento.



Diagnosi del cuscinetto



Cavitazione



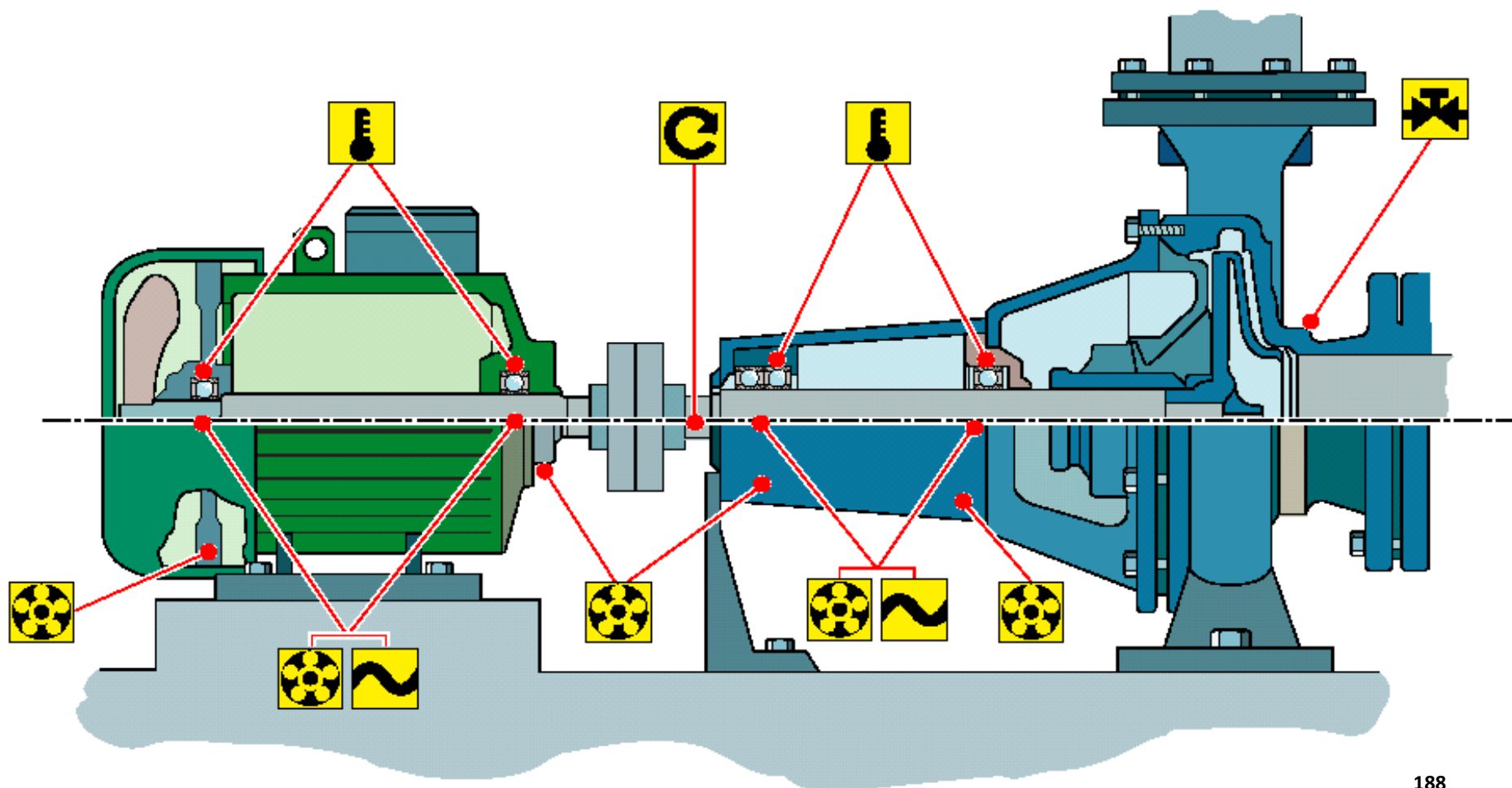
Temperatura



Vibrazione



RPM



L'immagine nella slide precedente indica i punti su cui normalmente vengono effettuati i rilievi per la verifica della condizione della macchina.

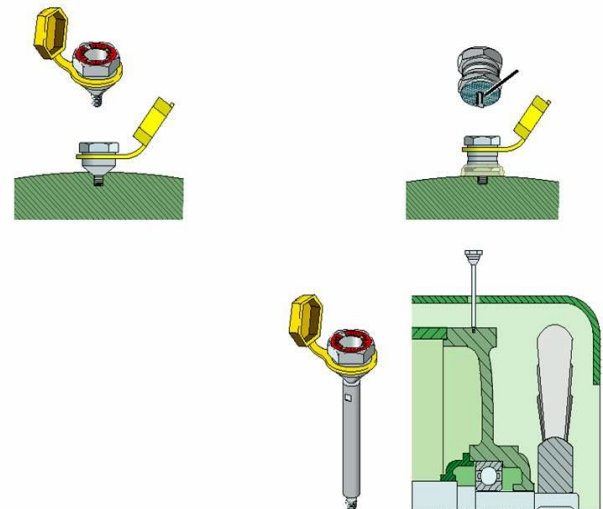
In generale i punti su cui effettuare la misura sono i vincoli su cui la vibrazione si scarica e quindi i supporti dei cuscinetti.

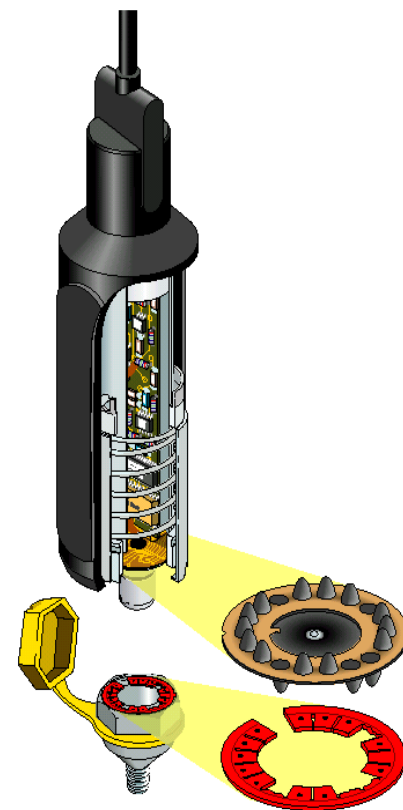
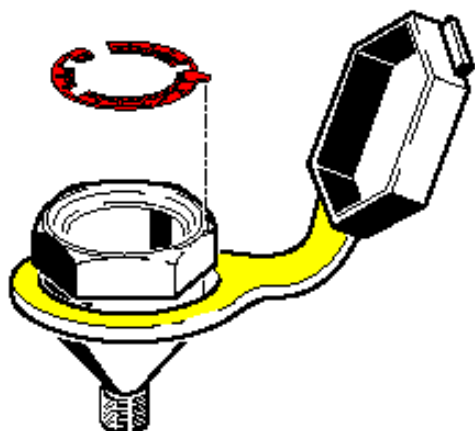
Per quanto riguarda il rilievo della condizione dei cuscinetti, soprattutto se si usa il metodo shock pulse, è fondamentale effettuare la misura il più vicino possibile alla sede del cuscinetto.

- Marchiare in maniera univoca il punto di misura.

In alternativa sistema VIBCODE.

- Effettuare le misure sempre con gli stessi parametri di funzionamento , se possibile.
- Reperire e registrare i dati macchina, anche se faticoso.

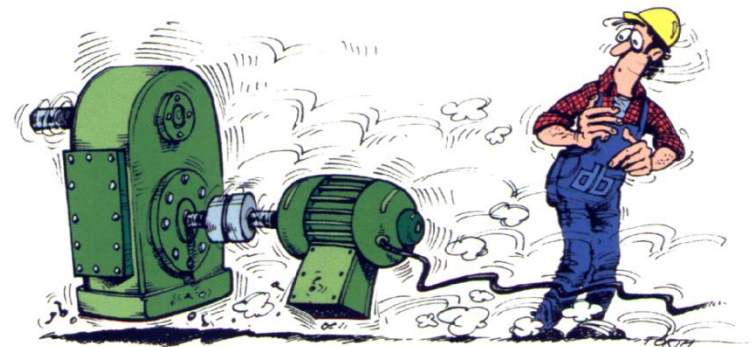




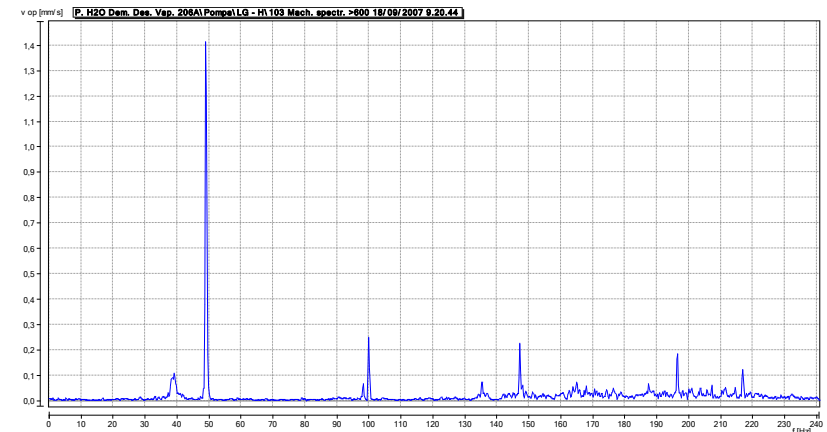
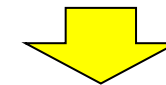
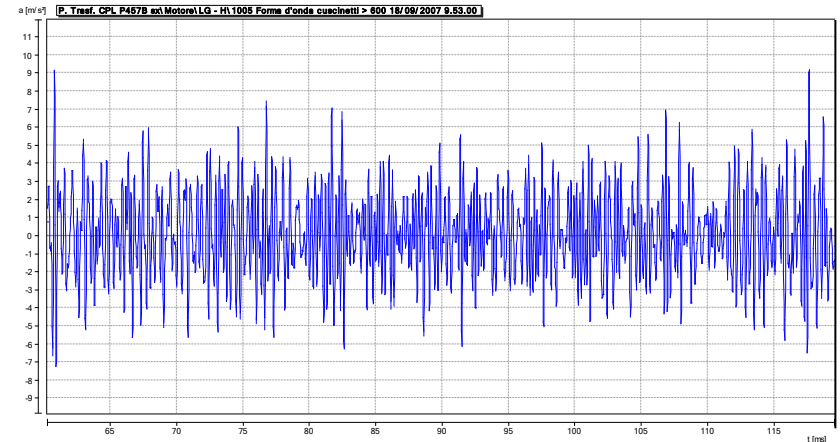
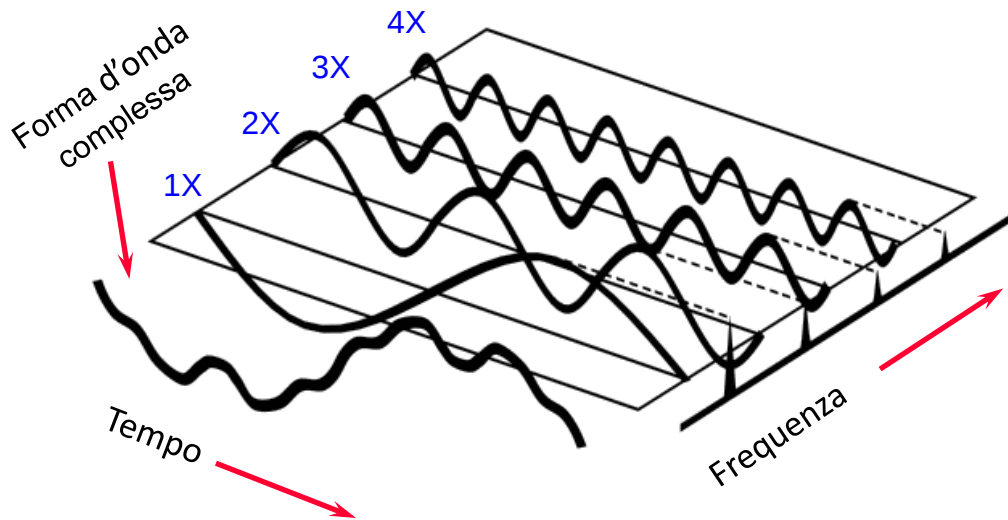
Trend e Misure più affidabili !!

Il sistema brevettato Vibcode® garantisce la massima affidabilità e ripetibilità nella misura grazie all'attacco tra sonda e perno perfettamente rigido, che consente di rilevare le vibrazioni anche ad alta frequenza senza perdita di segnale e all'anello codificato che permette di effettuare in automatico le ronde di misura.

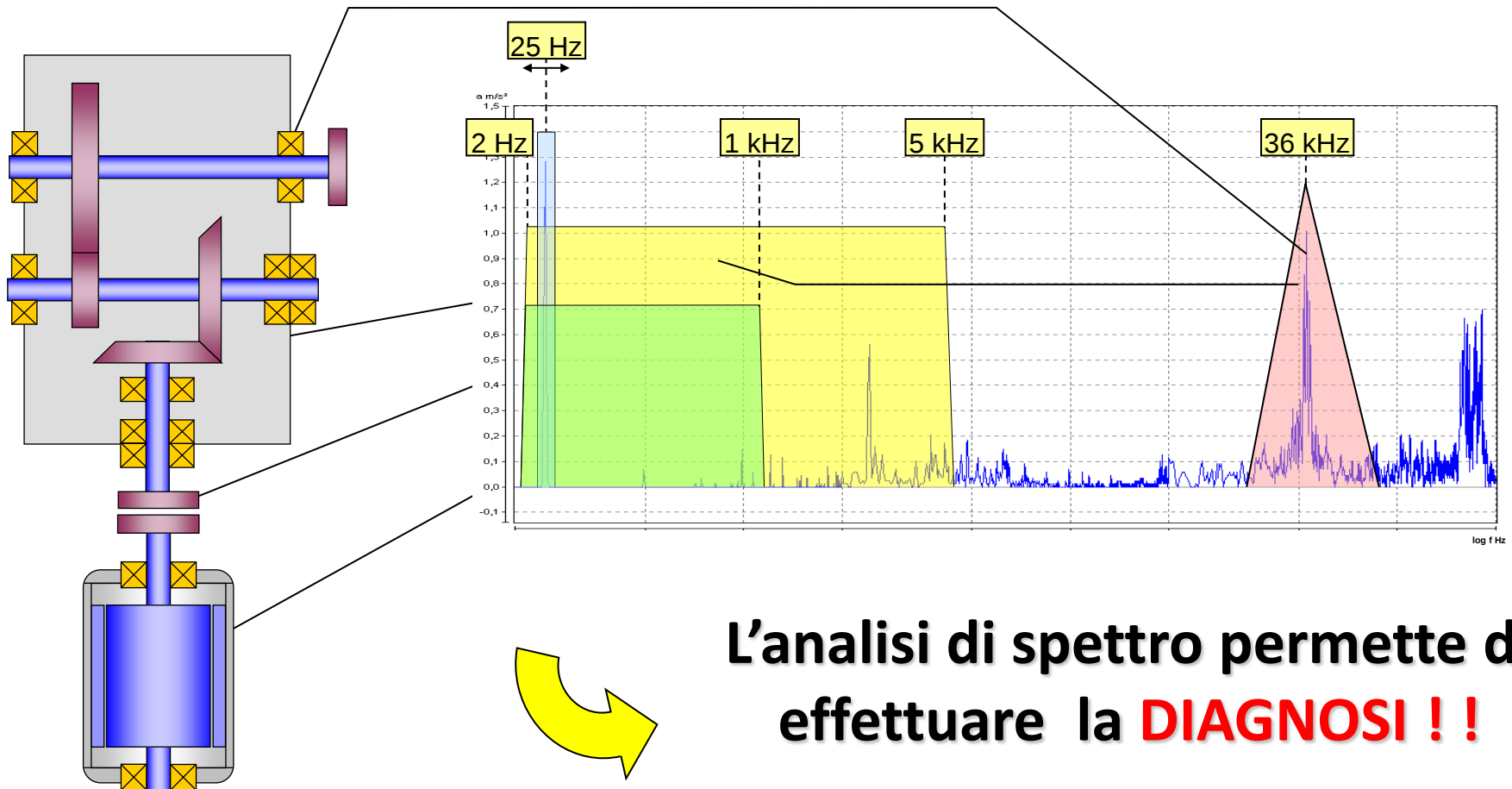
Analisi di spettro FFT



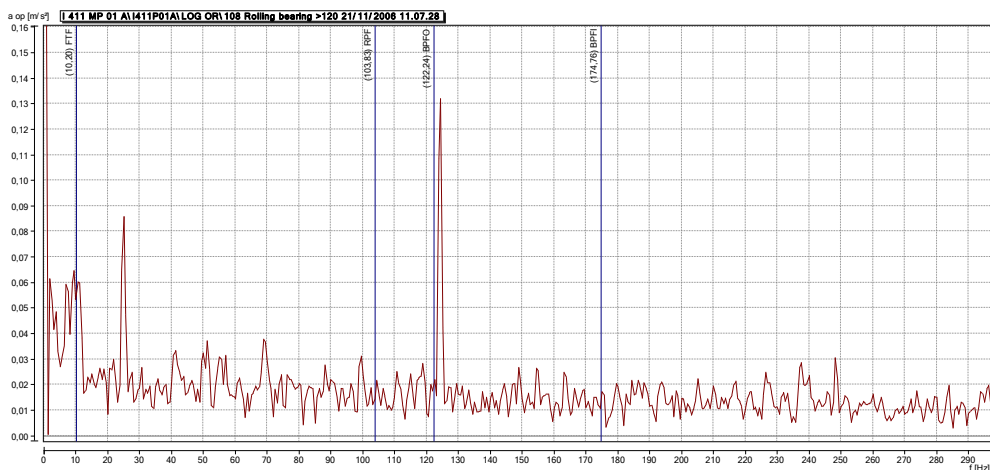
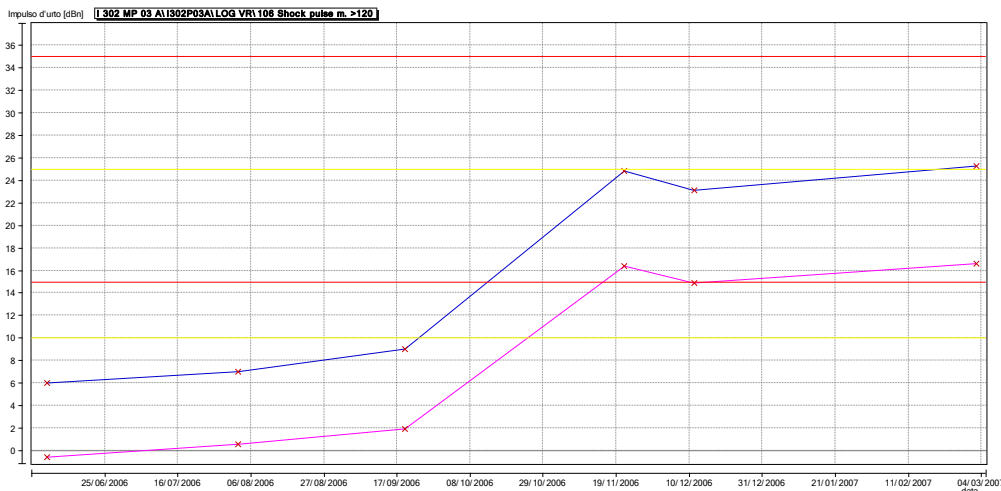
- Consente di “scomporre” una vibrazione complessa nelle varie frequenze che la compongono



- Si basa sul fatto che a determinate tipologie di guasto corrispondono determinate modalità di vibrazione, identificate da diverse frequenze.



L'analisi di spettro permette di effettuare la **DIAGNOSI !!**



I Livello

Metodo Shock-Pulse

➤ Valutazione tramite valori globali della “rumorosità” dei cuscinetti:

1. Stato della lubrificazione
2. Eventuali danni

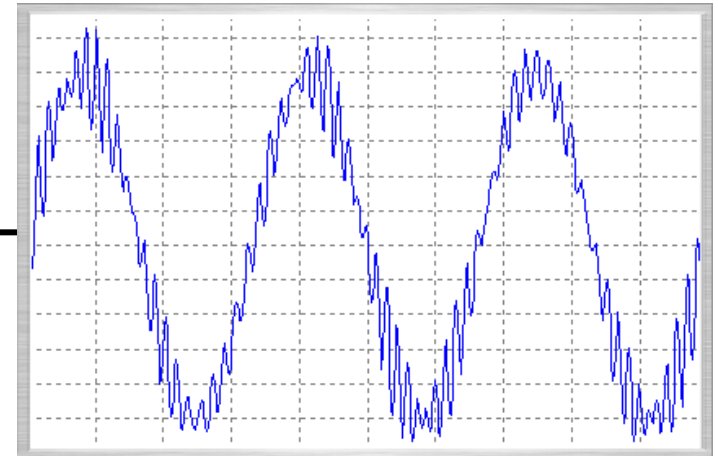
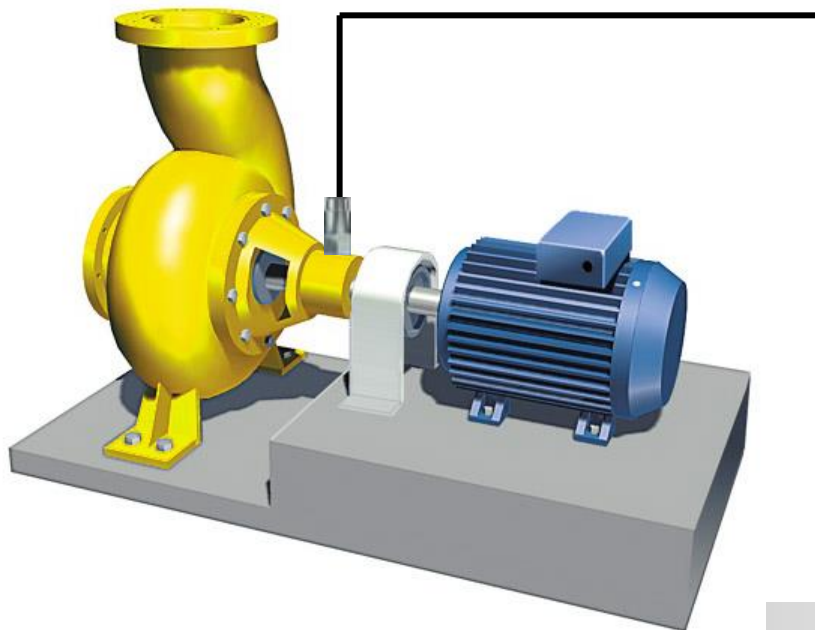
II Livello

Spettri Envelope

- Spettri in accel. opportunamente elaborati per mettere in risalto le frequenze dei cuscinetti.
- Tali frequenze vanno confrontate con le frequenze caratteristiche di rottura dei cuscinetti.

Spesso la forma d'onda può essere molto complessa.

Dalla sola visione della forma d'onda è difficile capire cosa sta accadendo dentro la macchina.

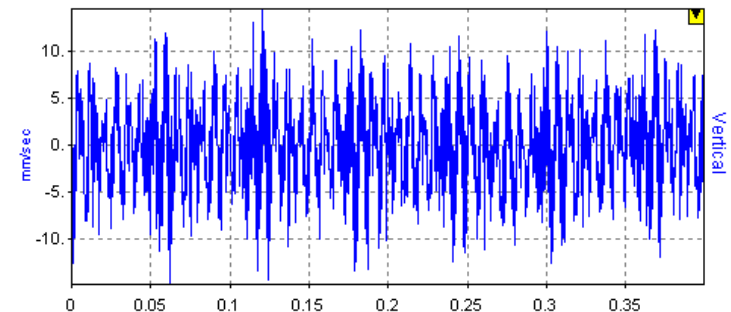
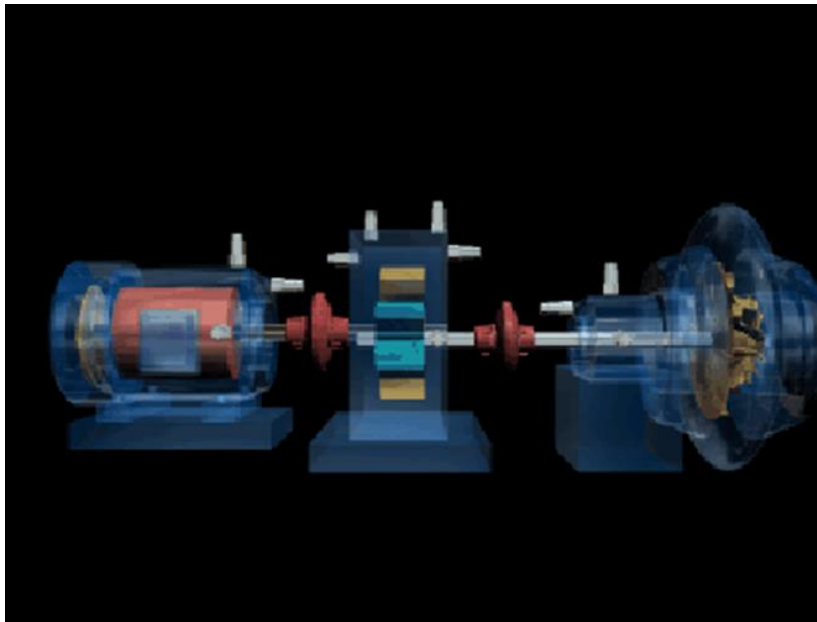


Vogliamo “vedere” l’interno della macchina.

▶ La vibrazione fornisce ottime informazioni.

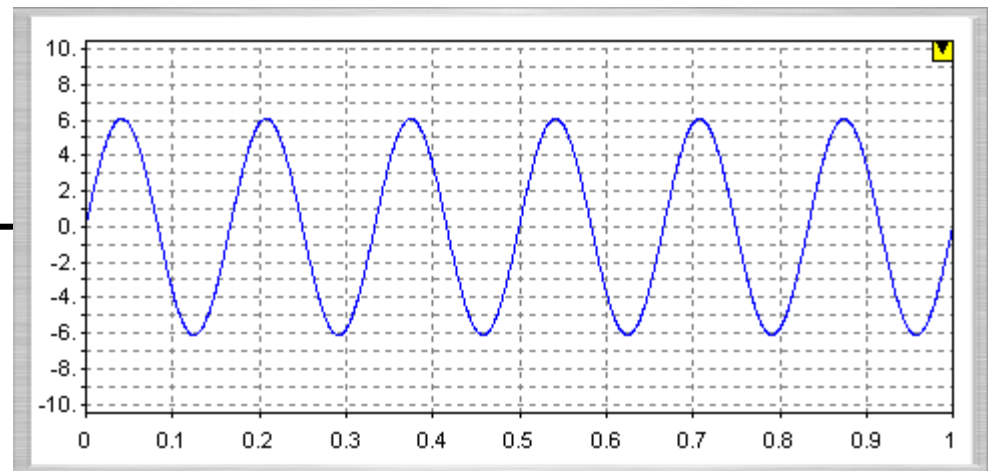
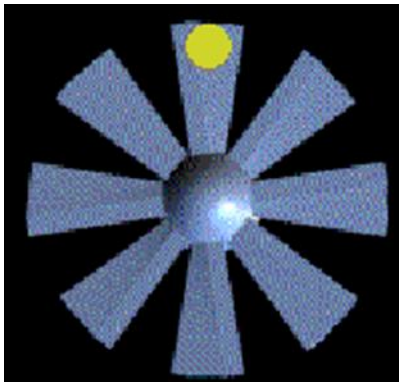
Purtroppo la vibrazione è un insieme di fattori non sempre legati tra loro.

▶ Tutti gli effetti di rotazione e di attrito si combinano tra loro.

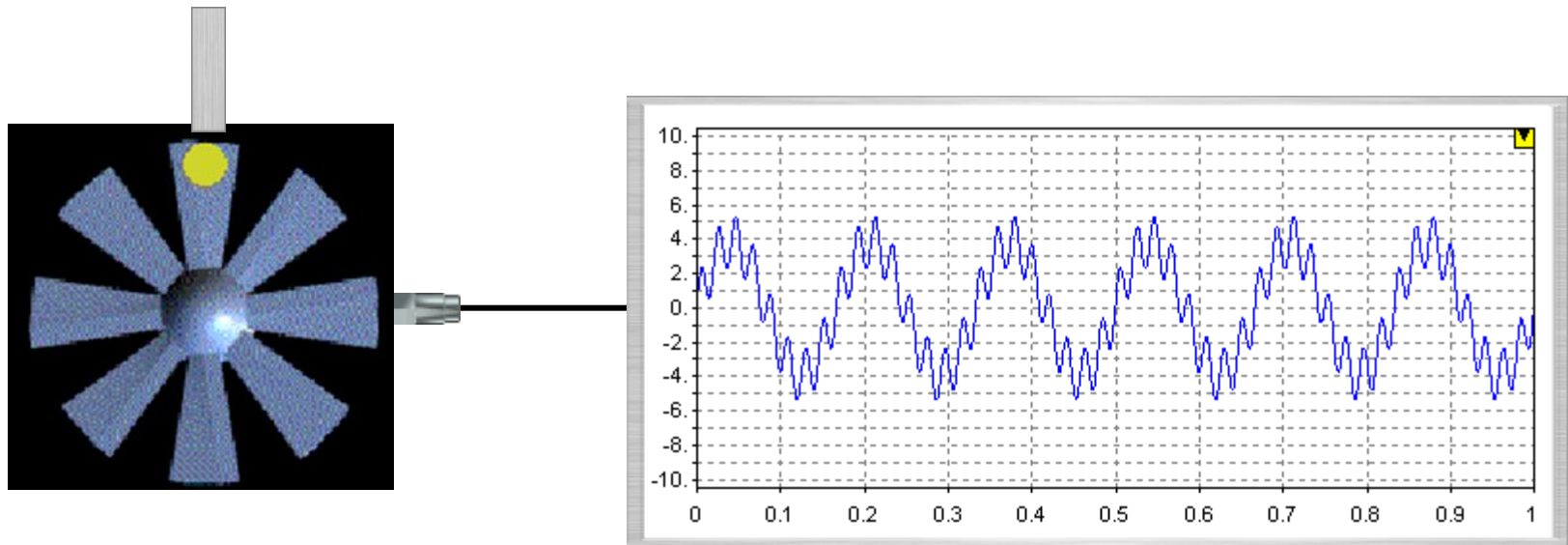


Poniamo l'attenzione ancora una volta sulla nostra ventola.

Le forza di sbilanciamento crea una sorgente di vibrazione.

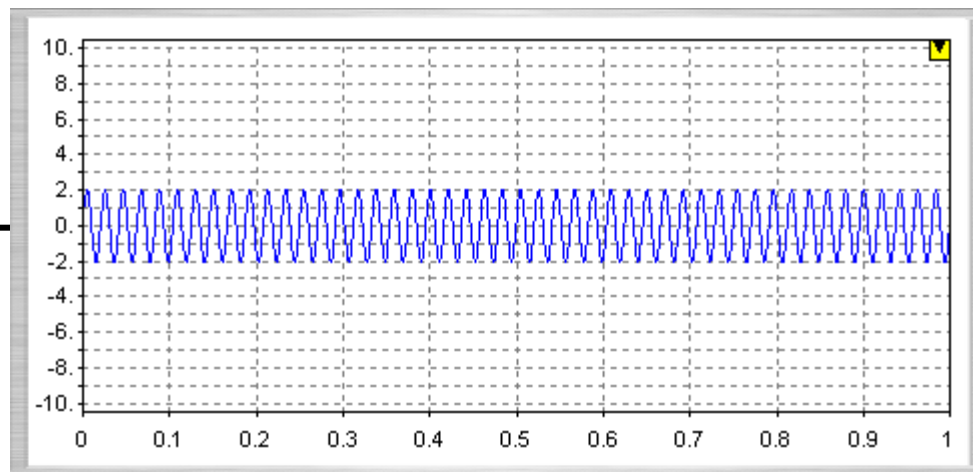
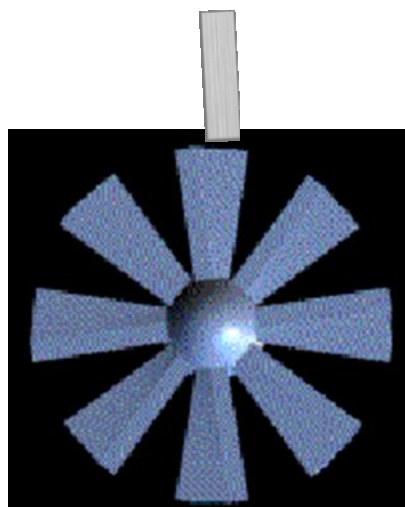


La forma d'onda cambia e diventa molto più complessa quando si introduce un elemento di disturbo come una cartolina che tocca le pale della ventola.

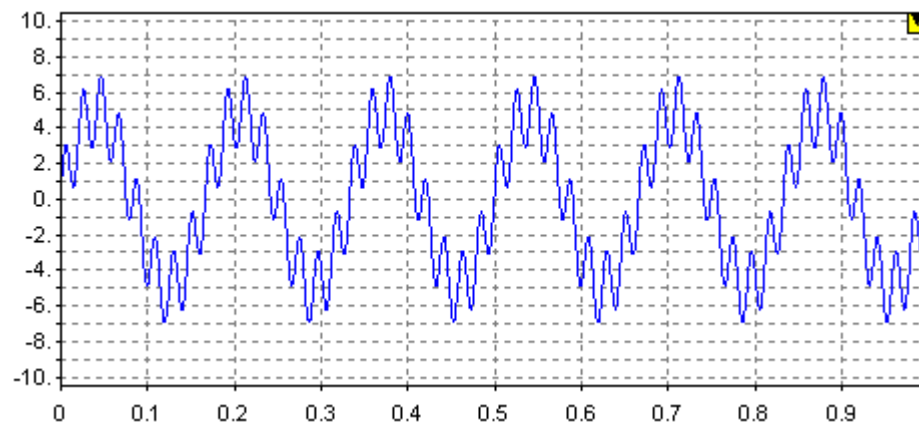
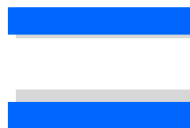
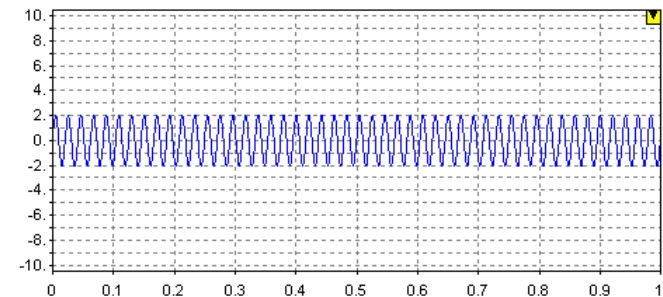
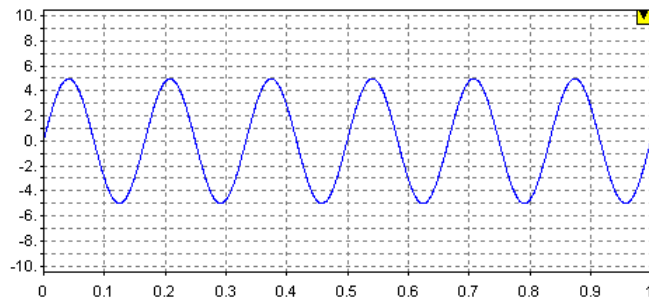


Introduzione allo spettro

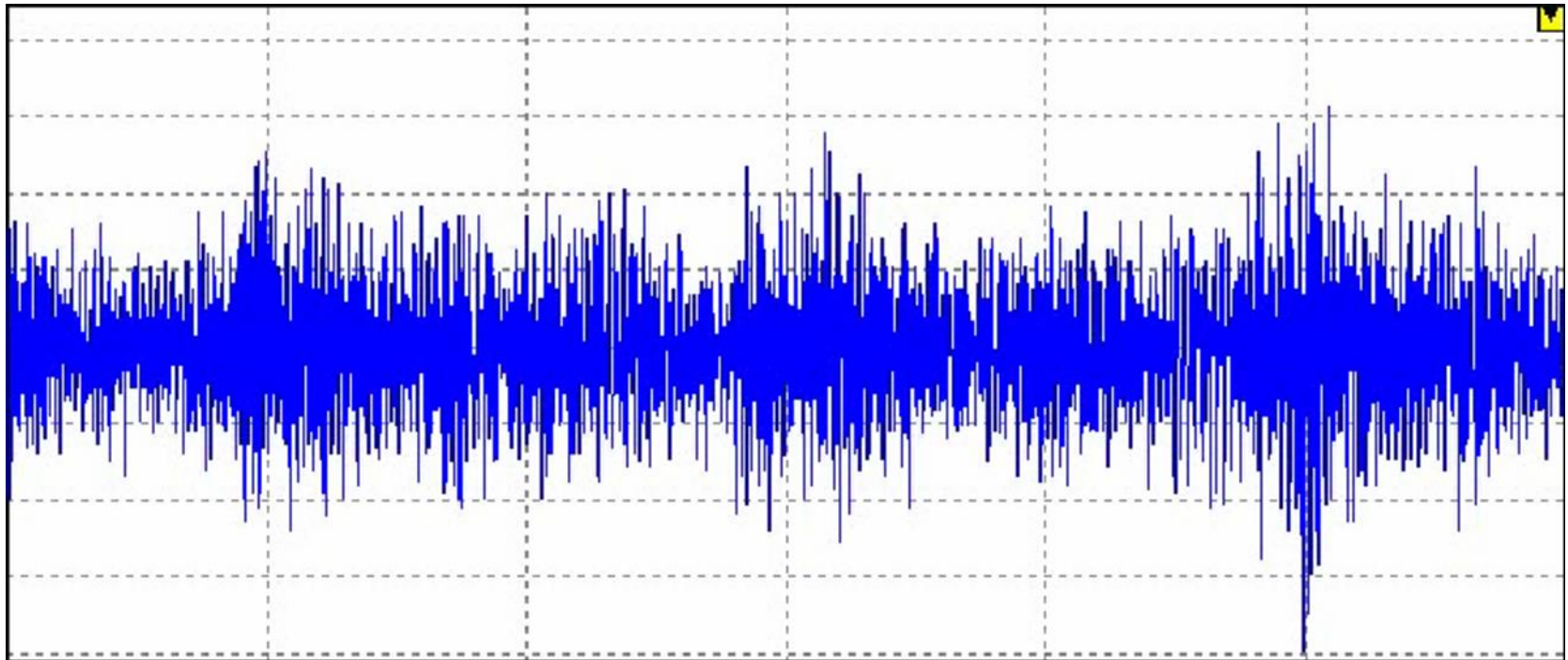
Effettuando la bilanciatura della ventola e mantenendo l'elemento smorzante rimane la frequenza di vibrazione più alta, cioè quella dovuta alla cartolina contro le pale.



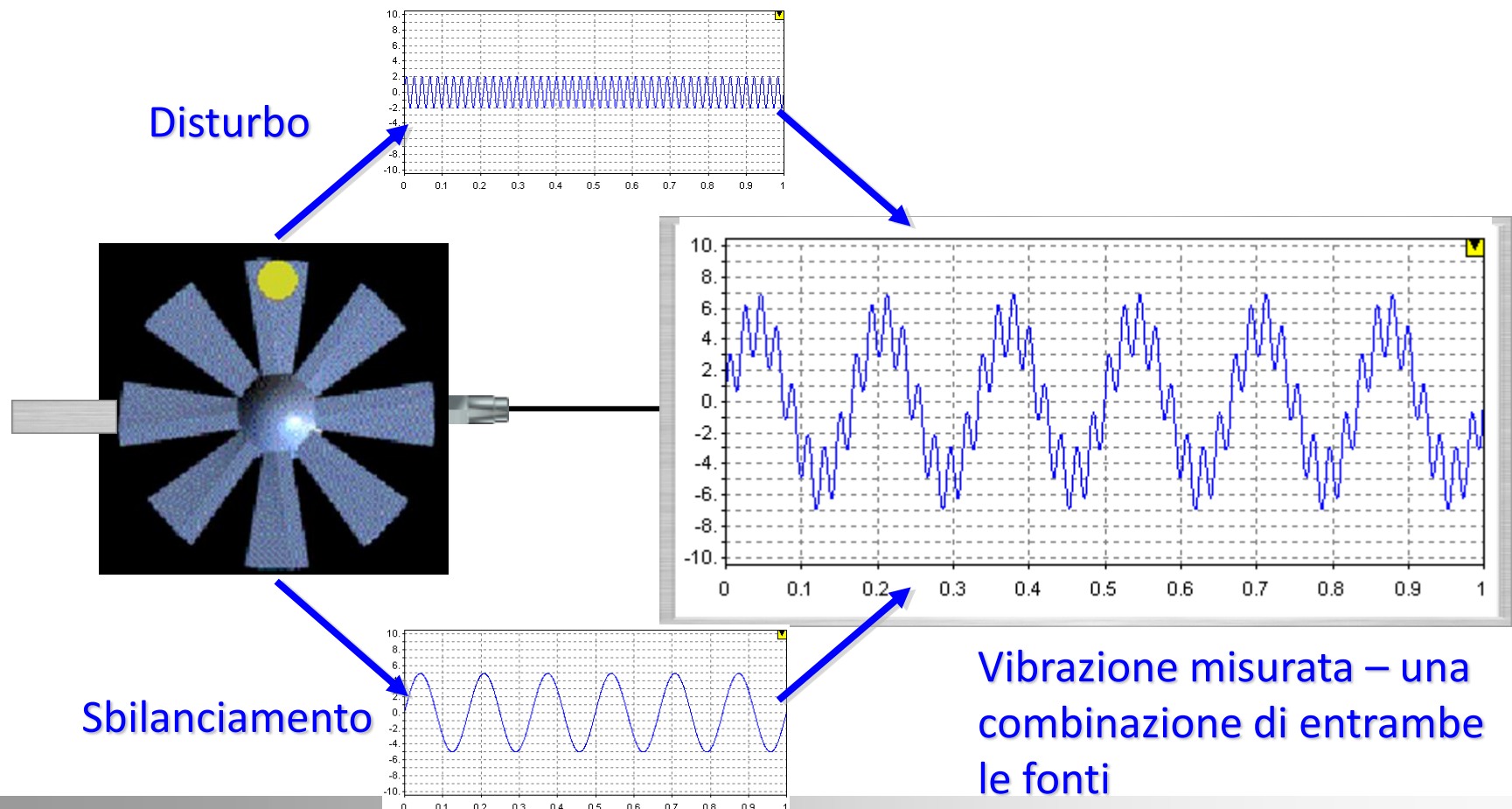
- La forma d'onda misurata è quindi una combinazione di diverse sorgenti di vibrazioni



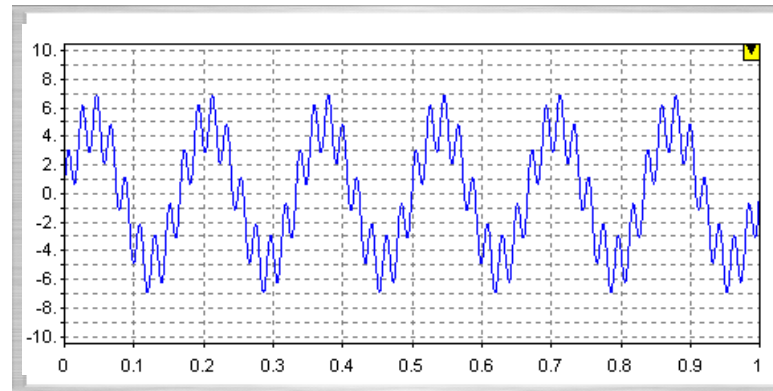
La forma d'onda è utile, ma può diventare molto complicata. Bisognerebbe individuare ogni singola fonte di vibrazione



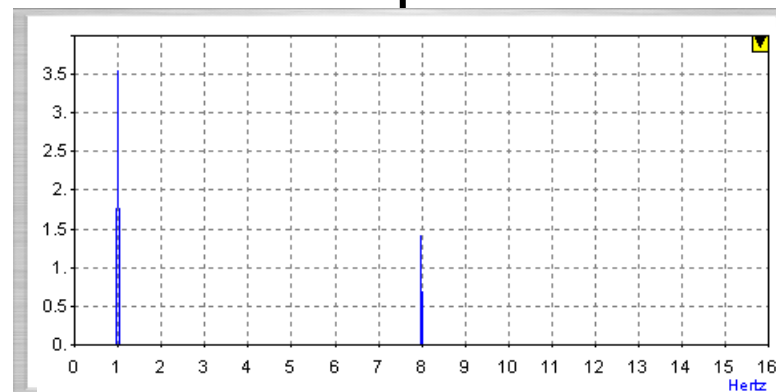
E' semplice immaginare il processo, ma in realtà è difficile da fare.



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



FFT

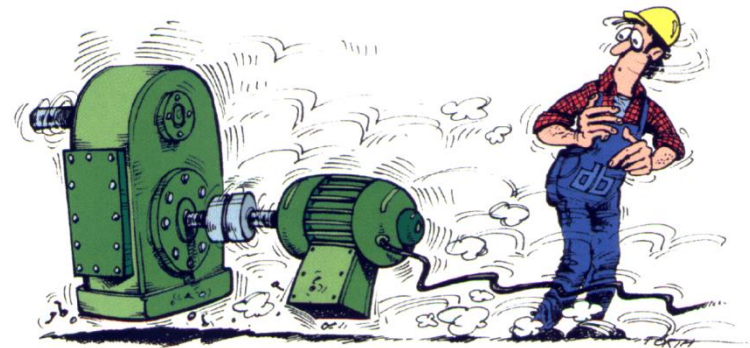


Fourier, Jean Baptiste Joseph
Barone francese, fisico, matematico
1768 - 1830

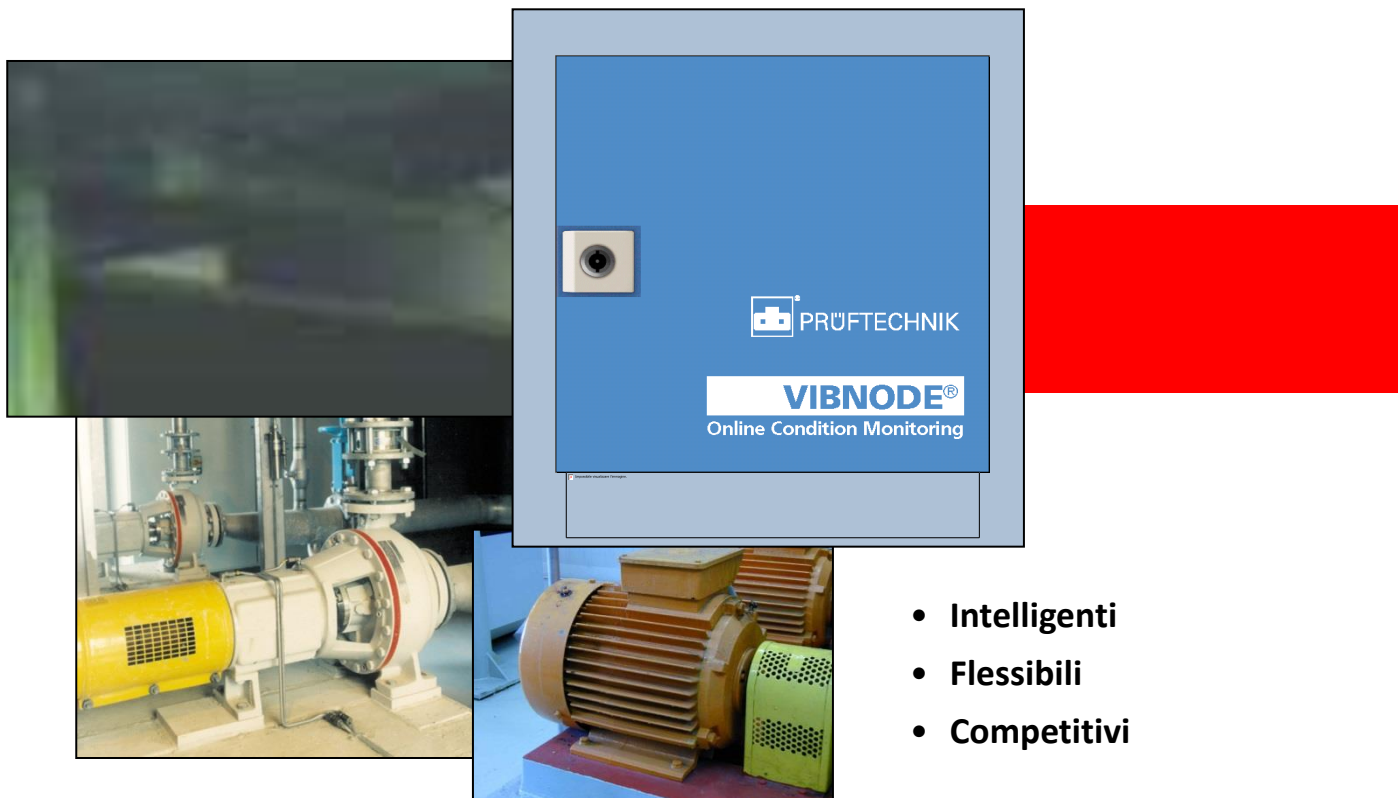
Cooley, Tukey: FFT in 1965

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

Sistemi online



Sistemi per il Condition Monitoring online in applicazioni standard



- Intelligenti
- Flessibili
- Competitivi

- **Cosa sono i sistemi online?**

Sono sistemi per il monitoraggio permanente della condizione delle macchine

- **Macchine tipiche?**

Macchine con velocità di rotazione costante o variabile
(motori - ventilatori - pompe - riduttori)

- **Parametri monitorati?**

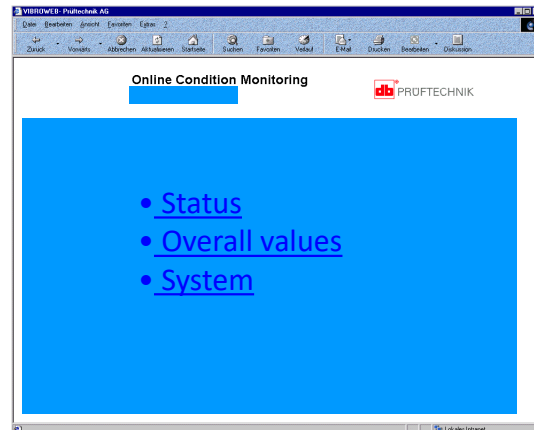
Vibrazioni macchina (overall / selettivo in frequenza)
Parametri di processo (0/4-20mA , $\pm 5V$)



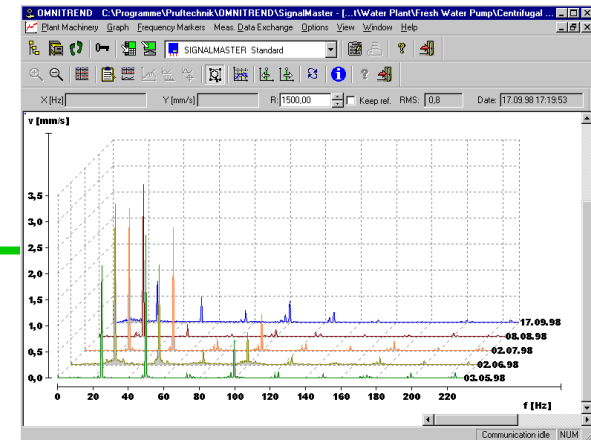


- **Facile acquisizione dei dati – anche in posizioni di misura di difficile accesso**
- **Drastica riduzione delle fermate non programmate**
- **Riduzione delle scorte a magazzino grazie alla pianificazione della manutenzione**
- **Minori costi di personale e minore tempo per l'acquisizione dei dati**
- **Immediata notifica dell'allarme al peggioramento delle condizioni**
- **Telediagnosi eseguita da specialisti esterni – raggiungibili sempre e ovunque**
- **Il condition monitoring online ripaga**

Facile da imparare e utilizzare



Ethernet, RS 232



Browser (HTML)

- Controlla le condizioni d'allarme online
- Visualizza i valori globali



OMNITREND

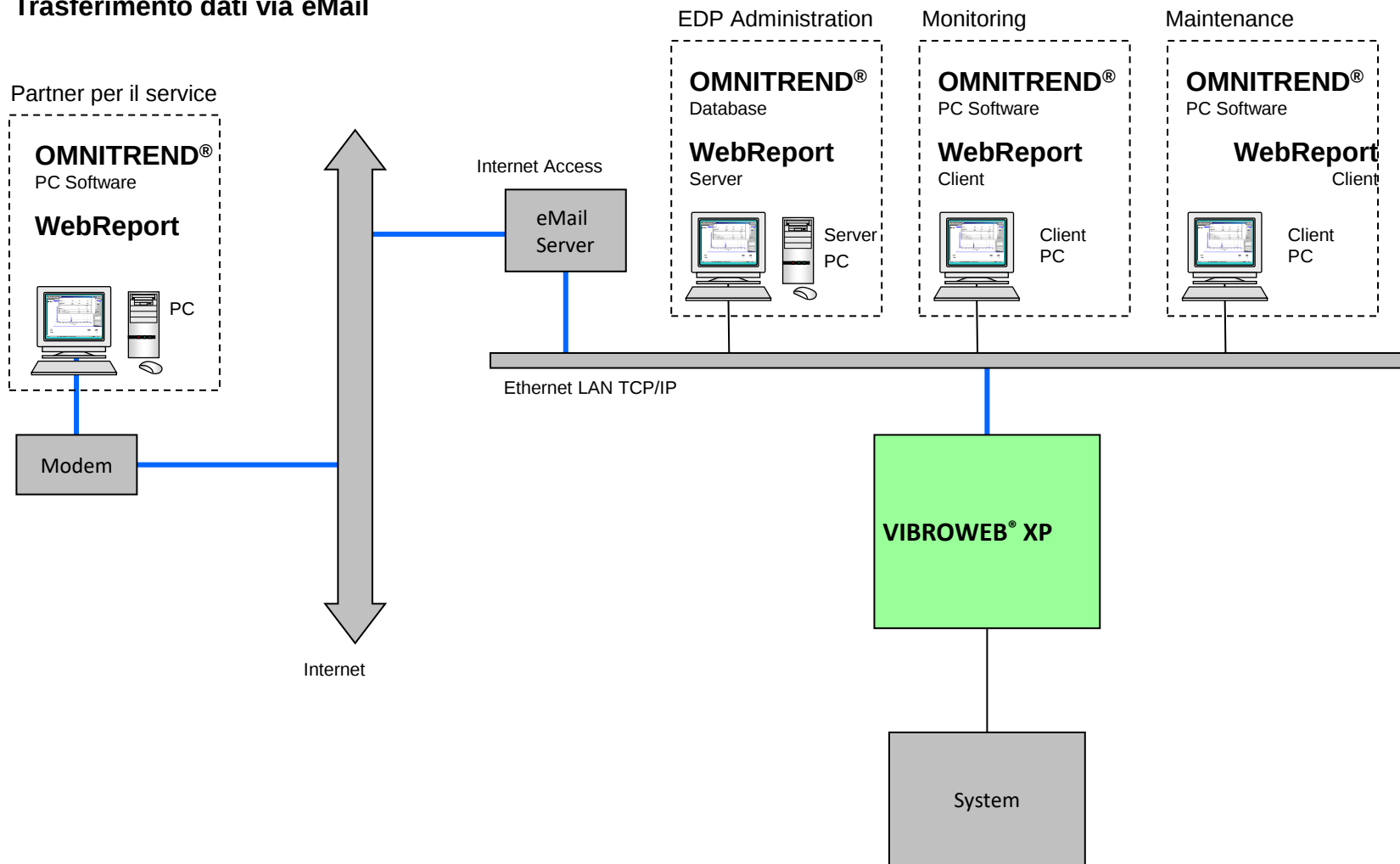
PC software per:

- Valutazione ed archiviazione dei dati
- Documentazione
- Programmazione del sistema (impostazione bande d'allarme, cicli di misura, ...)

Condition monitoring online

Monitoraggio remoto

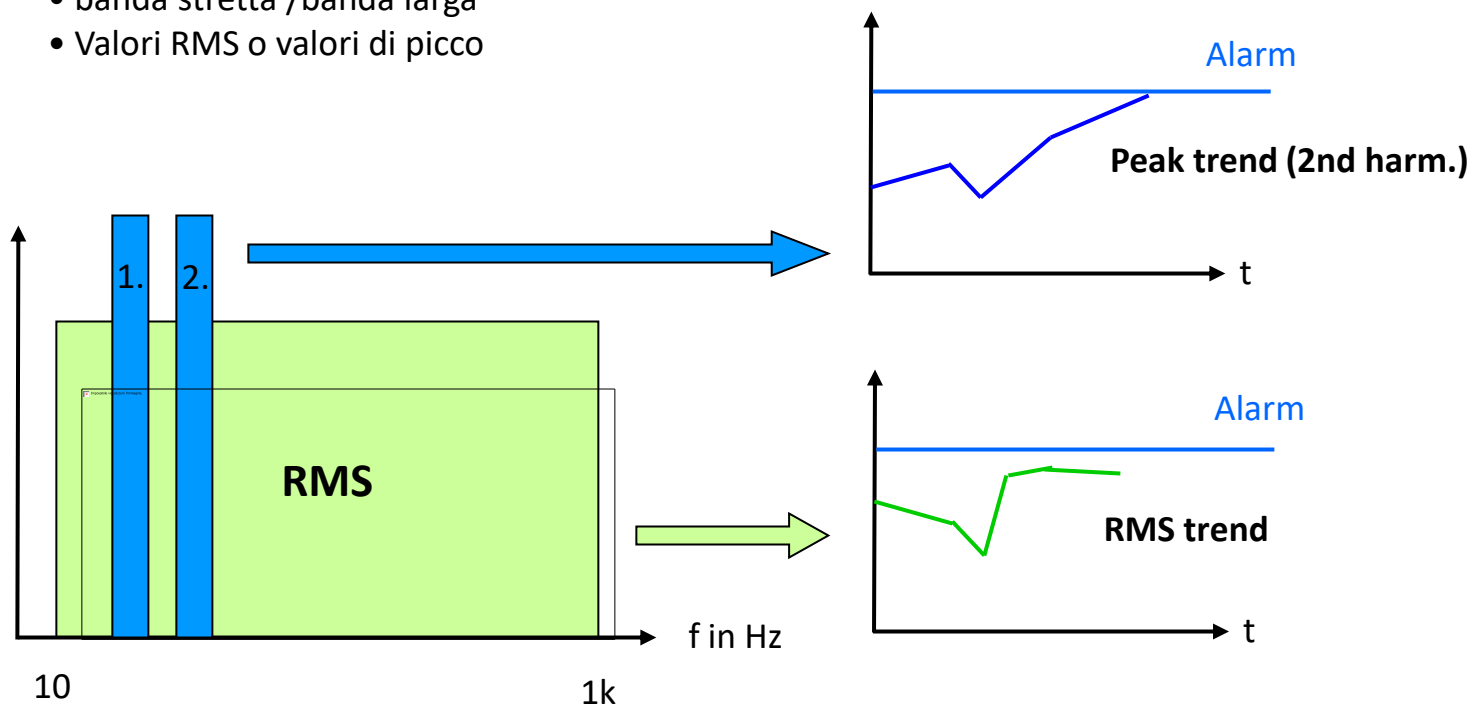
Trasferimento dati via eMail



- Il sistema online monitora i valori di overall -> trending
- Il sistema online emette un allarme se una soglia viene superata

Calcolo dei valori globali

- Valutazione delle bande di frequenza
- banda stretta /banda larga
- Valori RMS o valori di picco



Il sistema emette un allarme solo...

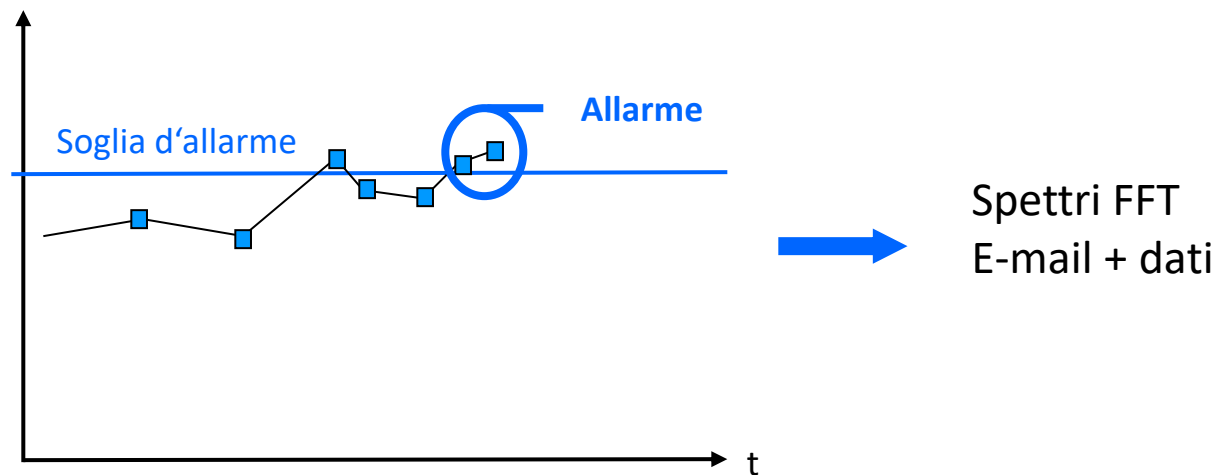
... dopo X ripetizioni della misurazione

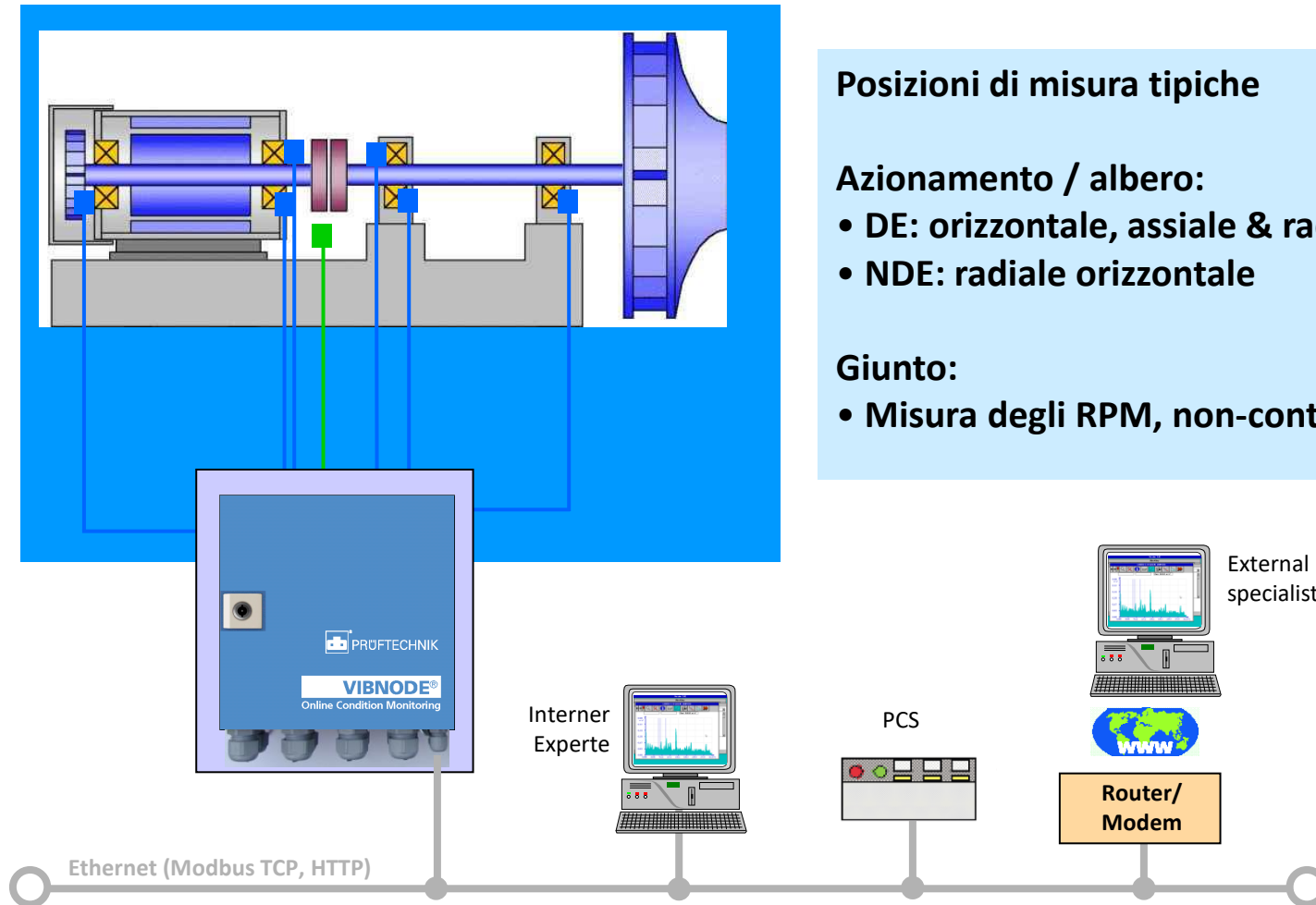
e

... se il valore supera la soglia d'allarme del X %

allora

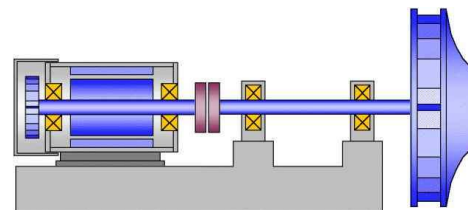
- il sistema misura gli spettri programmati
- il sistema archivia gli spettri
- il sistema trasferisce i dati via e-mail su OMNITREND





Cosa monitorare?

Velocità di rotazione = 1498 rpm (= 25 Hz)



- Sbilanciamento
- Disallineamento
- Problemi elettrici

Spettro, velocità di vibrazione - 400 Hz

Monitoraggio su banda stretta:

- 25 Hz (sbilanciamento)
- 50 Hz (disallineamento)
- 100 Hz (problemi elettrici)

- Usura

Spettro, velocità di vibrazione - 10 kHz

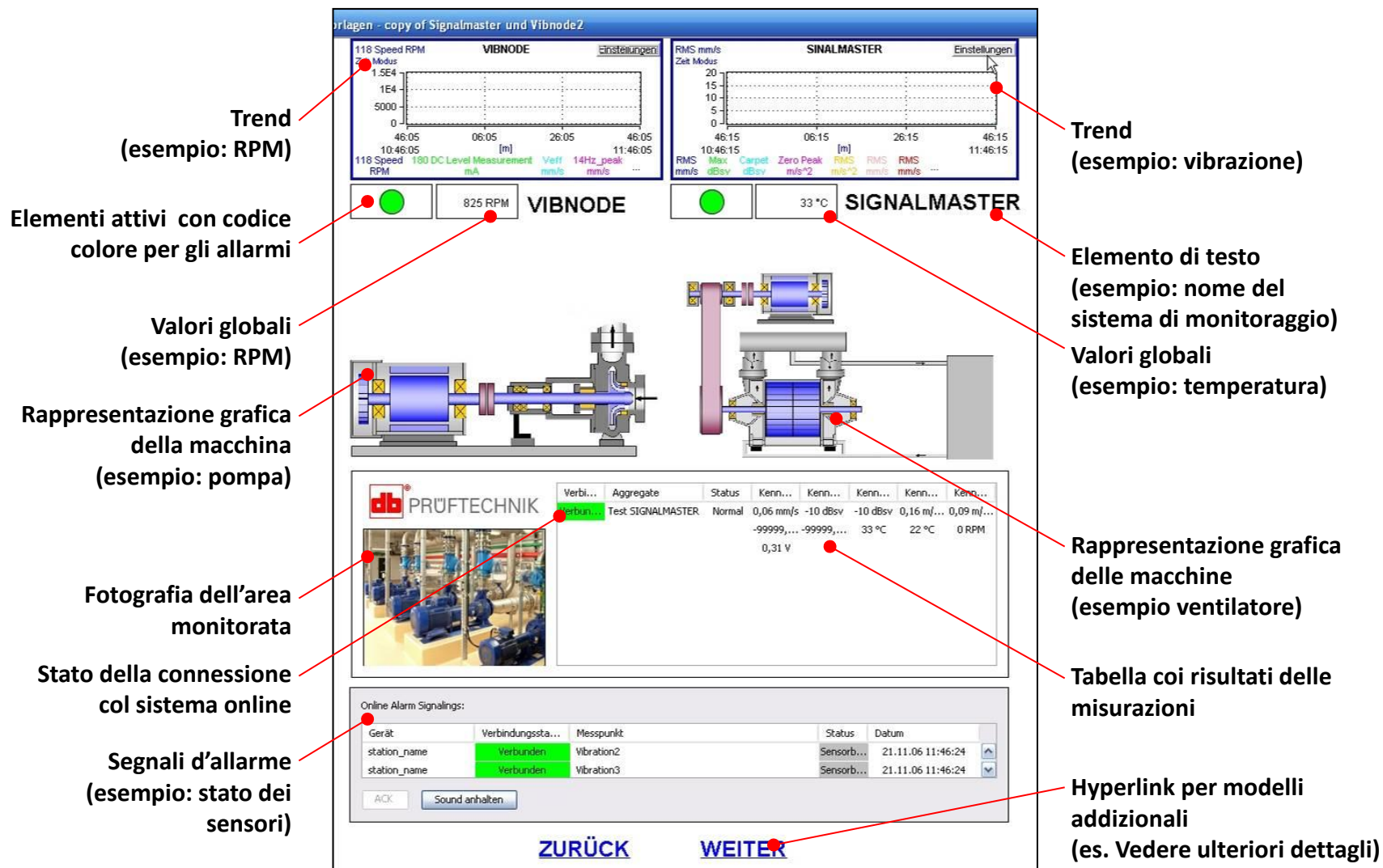
Monitoraggio su banda larga: valore globale RMS

- Condizione dei cuscinetti

Spettro con envelope, velocità di vibrazione - 10 kHz

Monitoraggio su banda stretta : frequenze caratteristiche

► Strumento di visualizzazione



Caso pratico

ROI

Ventilatore fumi da 3,25 MW

Ventilatore fumi da 3,25 MW

- ▶ Il caso è iniziato col guasto del ventilatore
- ▶ A causa del guasto il motore è stato sottoposto ad una revisione completa.
- ▶ Il sistema online è stato installato sulla macchina dopo il guasto.

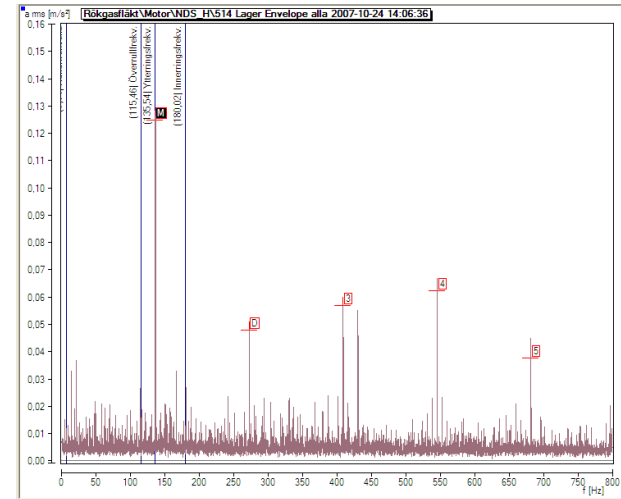


Centrale termoelettrica



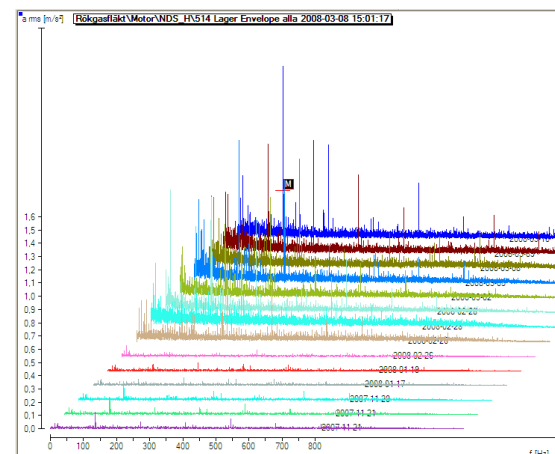
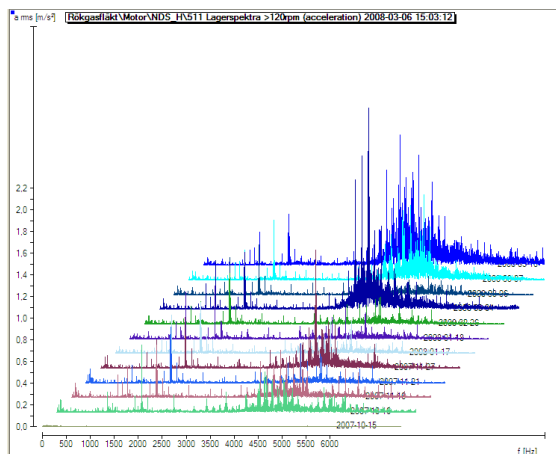
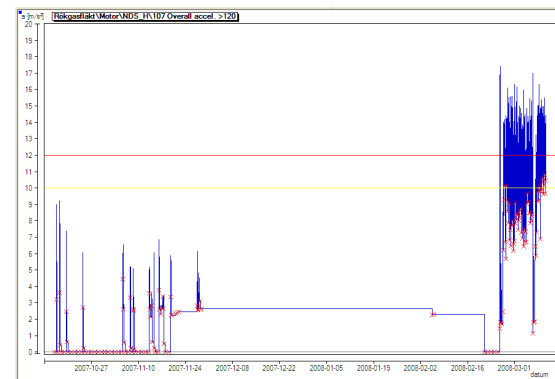
Ventilatore fumi da 3,25 MW

- ▶ Appena dopo la messa in servizio è stato individuato un difetto allo stadio iniziale sul cuscinetto lato ventola del motore appena revisionato.
- ▶ L'evoluzione del difetto è stata valutata durante l'intera stagione produttiva.
- ▶ Il cuscinetto è stato sostituito durante la successiva fermata estiva.



Ventilatore fumi da 3,25 MW

- Senza il monitoraggio del cuscinetto, questo non sarebbe stato sostituito in occasione della fermata estiva. La rottura del cuscinetto si sarebbe potuta verificare durante la successiva stagione produttiva.
- I costi di mancata produzione di calore ammontano a **50.000-150.000 Euro** al giorno + la perdita di produzione di energia elettrica che di fatto supera le perdite di calore.
- Questi numeri escludono i costi di riparazione



GRAZIE

***del tempo e della
attenzione che ci avete
dedicato !***

www.pruftechnik.it