



SUONO
RUMORE
VIBRAZIONE

LABORATORIO DI ACUSTICA APPLICATA

VIBRAZIONI
CONCETTI DI BASE
NORME E RIFERIMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL
DANNO ALLE PERSONE E NEGLI EDIFICI
PARTE I

Studio Tecnico Per. Ind. Franco Pacini

Via San Rocco 122/8 Recco (Genova) Tel./Fax 0185738177

francopacini@tin.it

Laboratorio di Acustica Applicata – Mario Novo e Samantha Novo

Via 2 Giugno 13 – Limbiate (MI) Tel 02 99054495

acustica@acustica.it



EdilioEdit – Strumenti editoriali per l'edilizia

VIBRAZIONI - CONCETTI DI BASE NORME E RIFERIMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL DANNO ALLE PERSONE E NEGLI EDIFICI

PARTE I

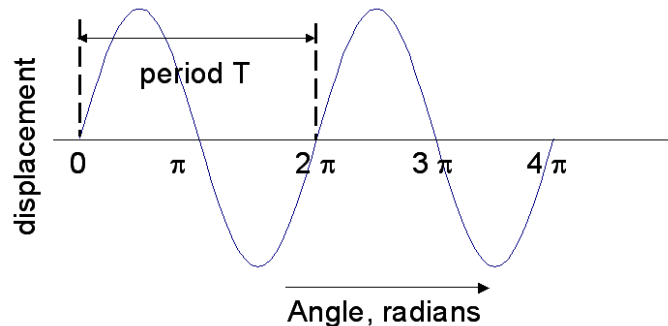
PARTE I

1. Premessa

Come il rumore, le vibrazioni fanno parte integrante della nostra vita. Le troviamo dappertutto, su macchinari, sulle strade, sui veicoli, nelle nostre case. In questo scritto saranno trattate in via generale le Vibrazioni Meccaniche, vale a dire tutte le oscillazioni meccaniche che interessano le strutture meccaniche ed i loro componenti.

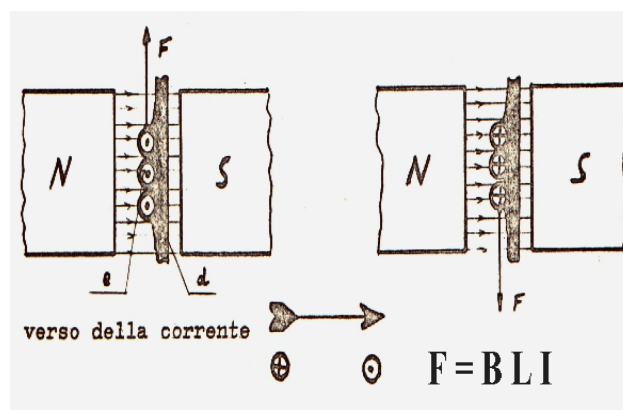
2. Elementi di meccanica dinamica -La vibrazione

Un moto vibratorio viene prodotto ogni qualvolta una forza periodica o discontinua ($F(t)$) agisce su di una struttura avente proprietà elastiche (k). Consiste in una serie di oscillazioni intorno al punto di equilibrio statico della struttura



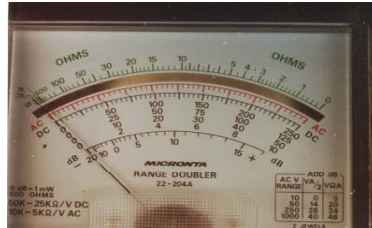
La forza può avere origine meccanica come lo sbilanciamento di un componente rotante, l'ingranamento di una coppia di ingranaggi, il disallineamento fra albero motore e albero condotto, l'impatto fra componenti meccanici, il moto caotico di fluidi in una condotta, l'esplosione di gas.

La forza può avere origine magnetica come il campo magnetico rotante di un motore elettrico, la magnetizzazione e la smagnetizzazione del pacco lamellare di un trasformatore o di un motore, il passaggio di corrente in una spira immersa in un campo magnetico



3. Lineare o logaritmico?

Prima di procedere a considerare i modi con cui viene valutata l'ampiezza delle vibrazioni, conviene fare un passo indietro e rivedere insieme il problema della scelta della modalità della sua rappresentazione. Ovvero: conviene rappresentarla in ms^{-2} , mms^{-1} o micron; oppure è meglio usare la scala dei decibel?



Nel caso del tester visto in precedenza, riferendoci alla scala da 0 a 10 possiamo dire che con questa scala possiamo leggere in maniera affidabile valori da 1 a 10, dove 1 è il nostro riferimento. Avremo quindi una dinamica di 10 volte o 20 dB

$$dB = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

$$dB = 20 \log_{10} \frac{x}{x_0}$$

$$\begin{aligned} \text{Dinamica} &= 20 \log_{10} \left(\frac{\text{Massimo leggibile}}{\text{Minimo leggibile}} \right) = \\ &= 20 \log_{10} \left(\frac{10}{1} \right) = 20 \log_{10} 10 = 20 * 1 = 20 \text{ dB} \end{aligned}$$

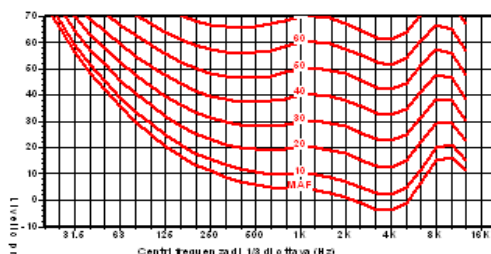
20 dB di dinamica è il limite degli strumenti ad “ago” a meno che non siano pilotati da un convertitore Lin-Log.



3.1 Abbiamo bisogno di una dinamica maggiore?

Solo se vogliamo correlare le vibrazioni al rumore e alla percezione; ci serve un minimo di 10.000 volte o 80 dB di dinamica.

Se prendiamo ad esempio a riferimento la soglia di percezione, un livello di pressione sonora di 74 dB a 20 Hz viene sentito con una sonorità uguale a -4 dB a 4.000 Hz; con una dinamica di $74 + (-4) = 78$ dB.

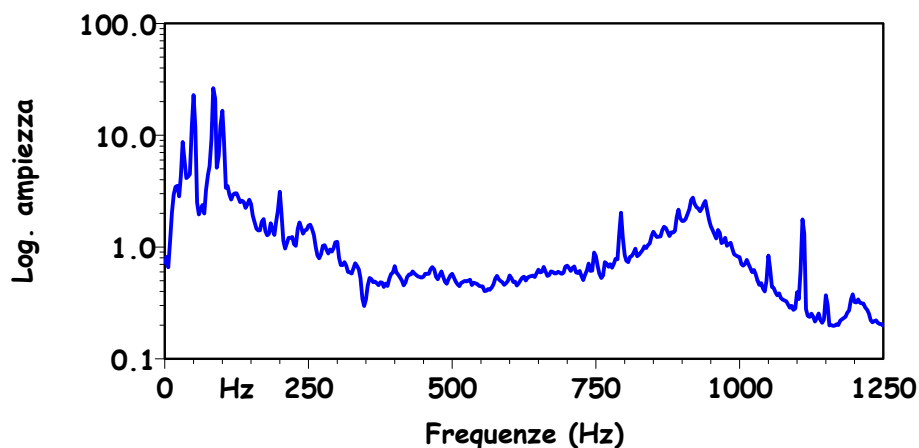


Detto in termini lineari, una componente vibratoria che diventa rumore a 4.000 Hz è 10.000 volte minore di una componente che a 20 Hz produca la stessa sonorità.

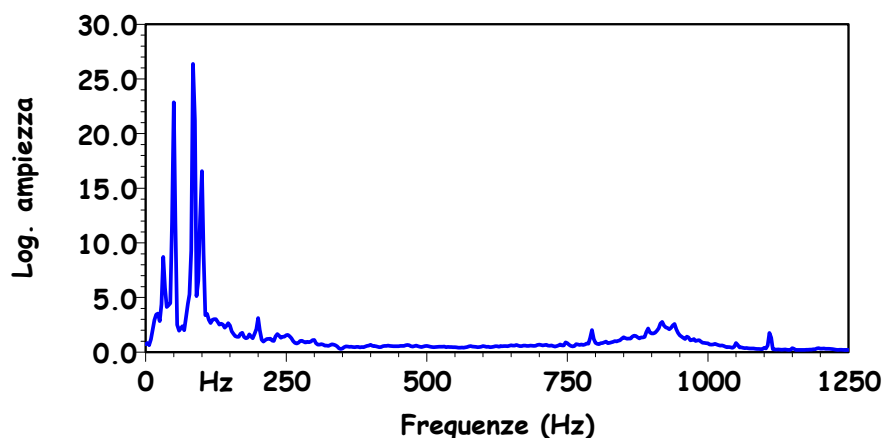
È chiaro quindi che in questi casi è obbligatorio l'uso di una scala logaritmica.

Nel caso delle misure di vibrazioni a fine puramente “meccanico” invece, cerchiamo solo le componenti energeticamente significative e non c'è quindi alcun motivo per preferire la scala logaritmica... anzi l'uso di quest'ultima porta solo confusione nella mente dei non esperti.

Scala logaritmica delle ampiezze



Scala lineare delle ampiezze

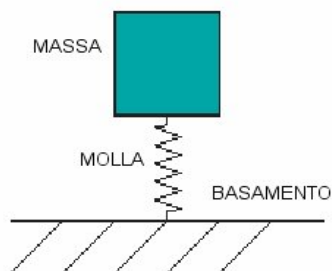


Nelle misure di vibrazioni finalizzate a problemi meccanici utilizzeremo solo e sempre la scala lineare.

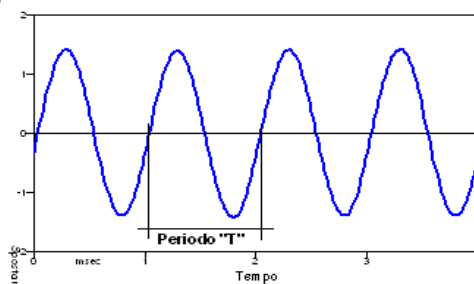
4. Descrizione dell'ampiezza delle vibrazioni

L'ampiezza di vibrazione che è la caratteristica che descrive l'intensità di vibrazione può essere quantificata in diversi modi e consideriamo un semplice sistema massa-molla

4.1 Le costanti concentrate



Il moto oscillatorio sarà il seguente:

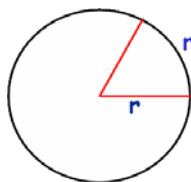


Dove:

Frequenza = $1/T$ (Hertz o cicli al secondo).

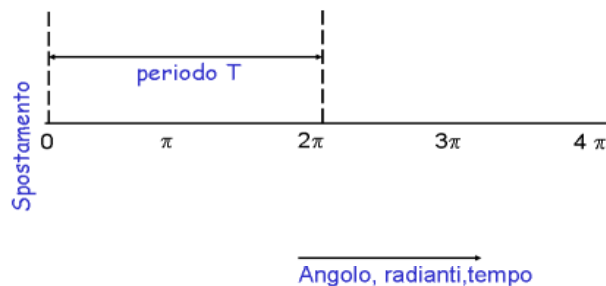
4.2 Il radiante

Il radiante è l'angolo ($\sim 57,3^\circ$) sotteso da un settore della circonferenza avente la lunghezza pari al raggio (r)

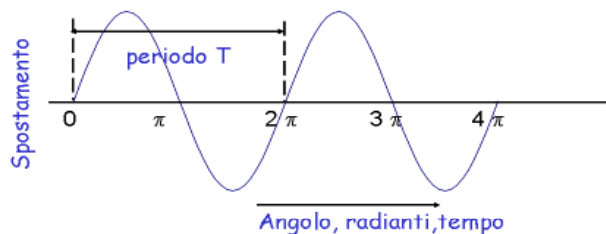


π radianti valgono 180° o mezzo giro, 2π radianti valgono 360° o un giro completo

Rappresentare il tempo in radianti



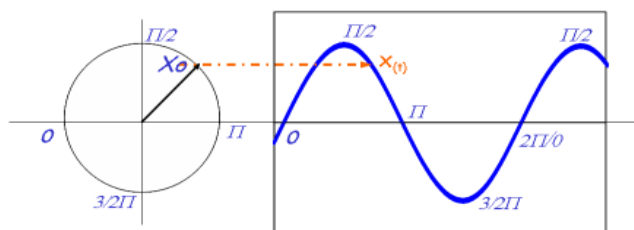
Stesso grafico con sovrapposta la rappresentazione del moto sinusoidale



4.3 La velocità angolare

La velocità angolare (ω) definisce quante volte al secondo viene percorso lo “spazio” angolare di 2π radianti: $\omega = 2\pi f$; dove f è la frequenza in cicli al secondo o Hertz

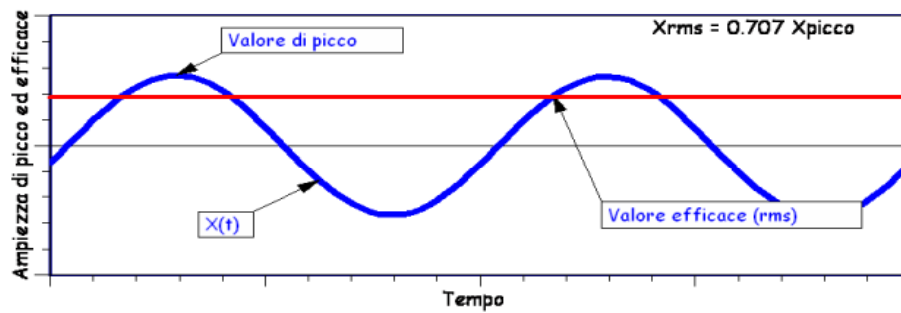
Quindi, la rappresentazione matematica del moto oscillatorio sarà



Il valore istantaneo dello spostamento sarà: $x_{(t)} = X_0 \sin(\omega t)$

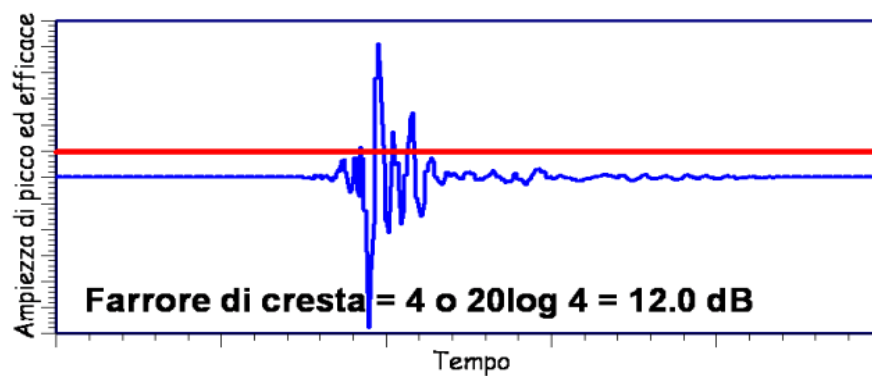
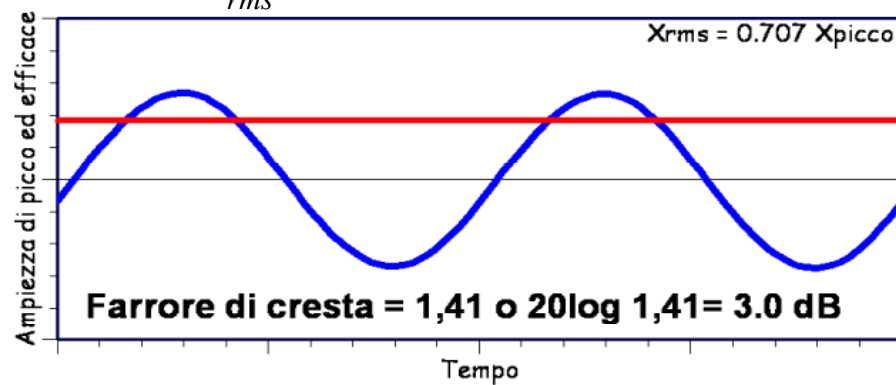
4.4 Il valore efficace

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} x_t^2 dt}$$



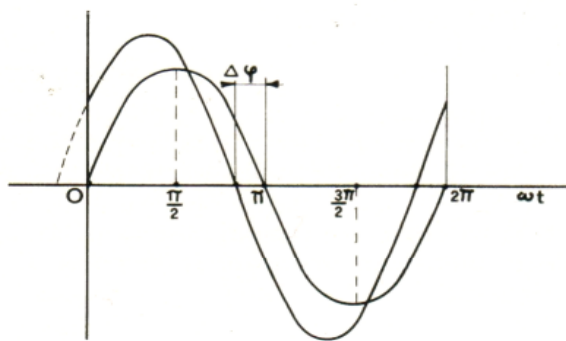
4.5 Il fattore di cresta

$$F_C = \frac{x_{picco}}{x_{rms}}$$

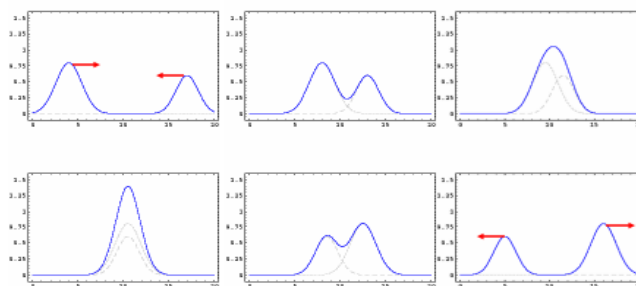


4.6 La fase

Definiamo come fase “ ϕ ” la distanza angolare fra due punti angolari identici di due oscillazioni indipendenti. La fase si può esprimere sia in radianti che in gradi. Si può ad esempio dire che il punto 0 radianti di due oscillazioni è sfasato di 0° se coincidono o di 9 gradi o di $1/20$ di π radianti se non coincidono come segue

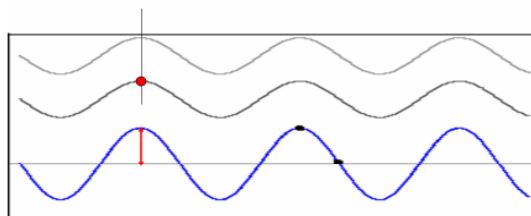


Somma dei valori istantanei fra due o più componenti

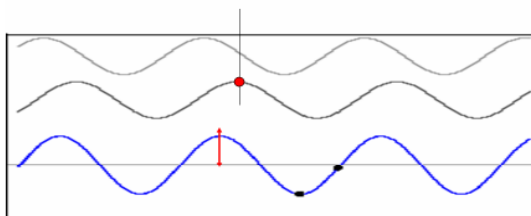


Due o più componenti vibratorie presenti nello stesso mezzo si sommano vettorialmente in base ai reciproci valori istantanei di ampiezza e della loro fase reciproca.

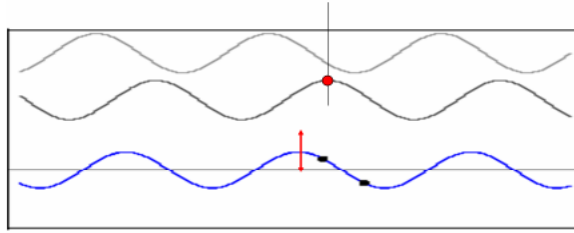
La fase $\varphi=0$ radianti o 0 gradi



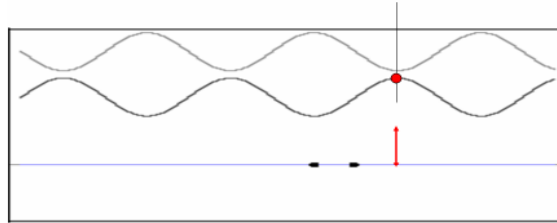
La fase $\varphi=\pi/2$ radianti o 90 gradi



La fase $\varphi=3/4 \pi$ radianti o 135 gradi



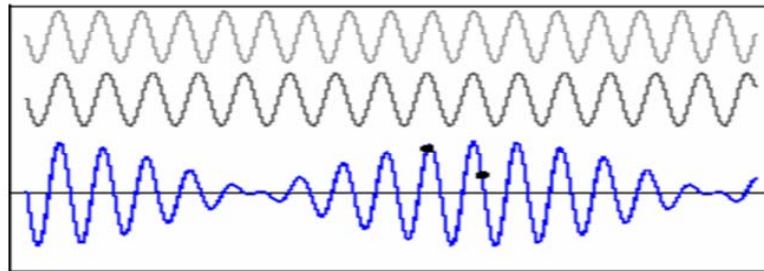
La fase $\varphi = \pi$ radianti o 180 gradi



4.7 I battimenti

Un caso abbastanza frequente di interferenza di fase che influisce sulle misure è costituito dai battimenti. Questi originano da due macchine rotanti o alternative uguali ma che a causa di una differenza di carico hanno una leggera differenza nel numero dei giri; questo comporta una variazione continua del rapporto di fase fra le due componenti.

$$F_1 = 10 \text{ Hz} ; f_2 = 11 \text{ Hz}$$



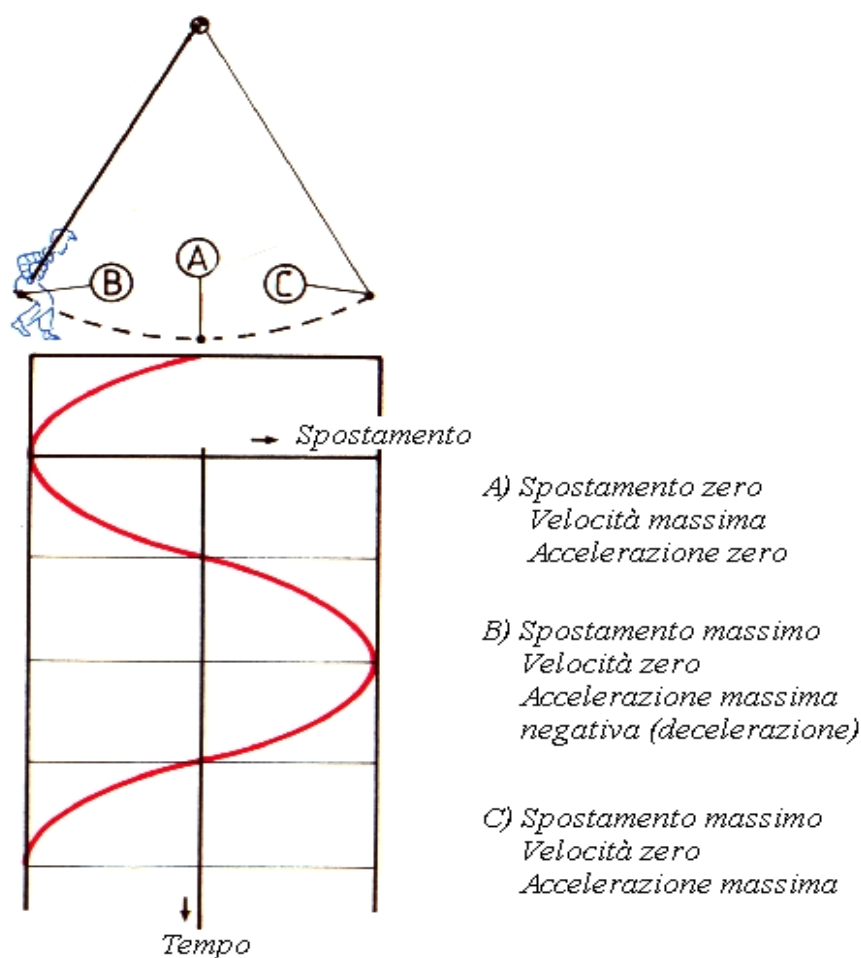
4.8 Spostamento, velocità, accelerazione

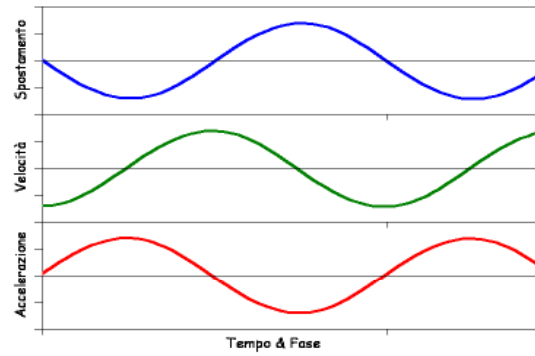
Se consideriamo un moto oscillatorio, come in questo caso di esempio un'altalena, oltre lo spostamento è possibile descriverne il movimento in termini di accelerazione e velocità'.

La forma e il periodo della vibrazione rimangono gli stessi qualunque sia il parametro considerato. La differenza principale che si riscontra è una differenza di fase tra le curve di ampiezza-tempo.

I parametri di vibrazione sono universalmente espressi in unità metriche in conformità alle norme ISO, ma per i livelli di accelerazione è ampiamente usata la costante gravitazionale “g” che non fa parte del sistema ISO di unità coerenti.

Quindi, nel rilevare l'accelerazione, non si è vincolati ad un solo parametro, e con gli integratori elettronici è possibile convertire il segnale di accelerazione in velocità e spostamento. La scelta dell'unità di misura è però molto importante in funzione delle componenti in frequenza presenti ed alla fine come considerazione generale potrebbe essere vantaggioso scegliere un parametro che garantisca uno spettro in frequenza più piatto possibile in modo da avere la possibilità di avere una maggiore dinamica.





$$s = S_0 \sin(2\pi ft) = S_0 \sin(\omega t)$$

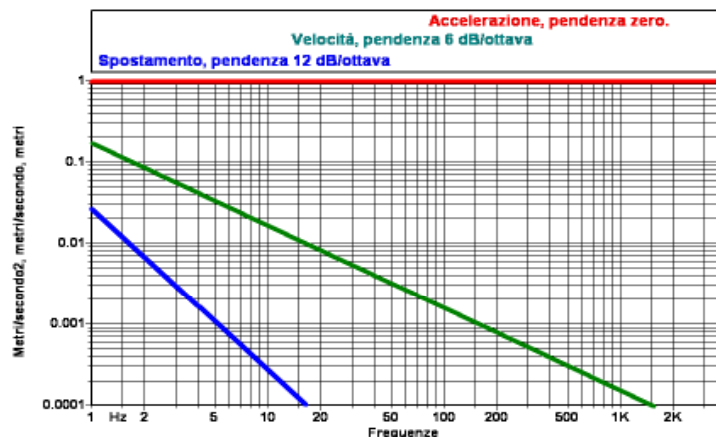
$$v = \frac{ds}{dt} = S_0 \omega \cos(\omega t) = S_0 \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -S_0 \omega^2 \sin(\omega t) = S_0 \omega^2 \sin(\omega t + \pi)$$

Usando il valore efficace si può ignorare la fase per cui:

$$v_{rms} = \frac{a_{rms}}{\omega} = \frac{a_{rms}}{2\pi f}$$

$$s_{rms} = \frac{a_{rms}}{\omega^2} = \frac{a_{rms}}{(2\pi f)^2}$$

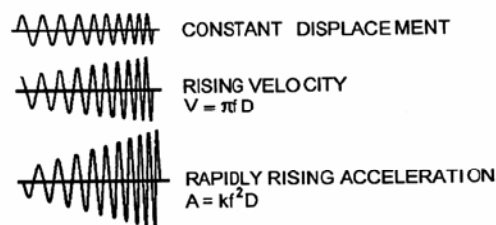


Per ricavare i valori di velocità e spostamento da una misura di accelerazione da uno strumento di misura è sufficiente utilizzare un filtro globale con pendenza 6.0 dB/ottava per la velocità e di 12 dB/ottava per lo spostamento

Vediamo ad esempio come variano a , v , s in funzione della frequenza

Valori di velocità & spostamento per una accelerazione di 1 m/s ²				
Frequenza (Hz)	1	10	100	1,000
Velocità (mm)	159	15,9	1,59	0,16
Spostamento (micron)	25.360	2.536	250	25

Velocità ed accelerazione a spostamento costante



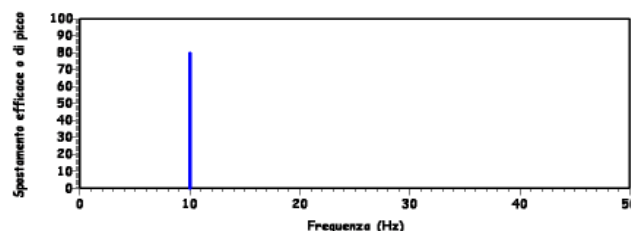
5. Le vibrazioni nel dominio delle frequenze

5.1 La frequenza del moto oscillatorio

Frequenza = $1/T$ (Hertz o cicli al secondo).

Caratteristiche degli spettri: a componenti discrete

Chiamiamo spettro la rappresentazione delle ampiezze delle vibrazioni associata alla frequenza del loro moto, nel caso visto in precedenza, se $T=0,1$ s f sarà 10 Hz e lo spettro avrà questo aspetto:



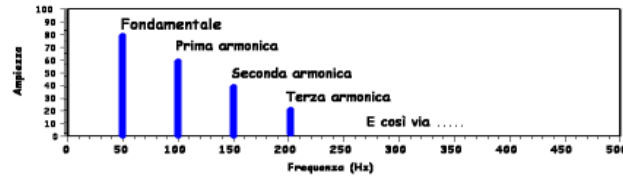
Tuttavia questo è un caso abbastanza raro di spettro, lo troviamo, per esempio quando una macchina è fortemente sbilanciata. La frequenza sarà quella dei giri dell'albero sbilanciato. La velocità di rotazione di un albero viene normalmente indicata in giri/minuto (rpm: revolution per minute) per conoscere la frequenza è sufficiente dividere gli rpm per 60s.

• Frequenza di rotazione (f) = rpm/60

• Se $rpm = 600$; $f = 10 \text{ Hz}$

Caratteristiche degli spettri : a componenti discrete

L'ipotesi dello spettro sinusoidale costituito da una sola riga, non trova mai riscontro nella realtà perché esiste sempre un qualche grado di distorsione (deformazione dell'onda) del segnale. Tale deformazione deriva da comportamenti non lineari della struttura (risposta) o della generazione



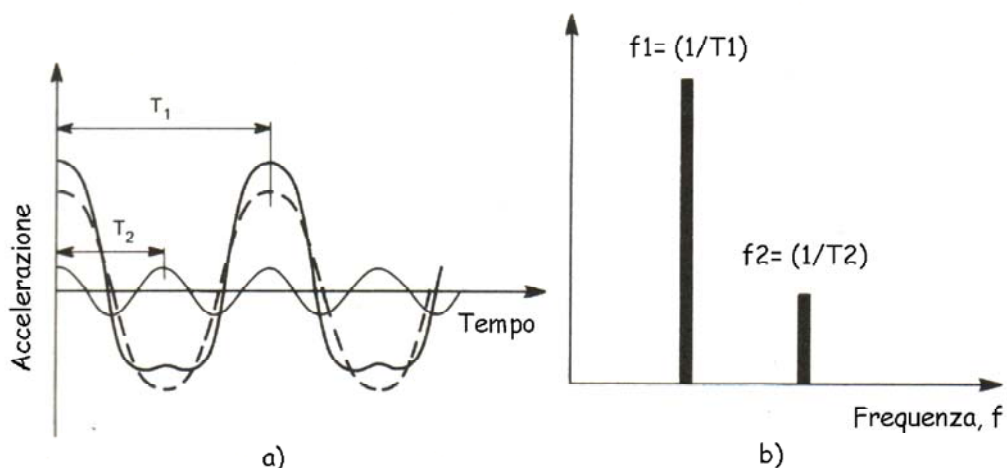
Chiamiamo “fondamentale” la componente legata ai giri e “armoniche” le componenti prodotte da questa distorsione. Le armoniche sono sempre multipli della fondamentale secondo l'ordine dei numeri naturali

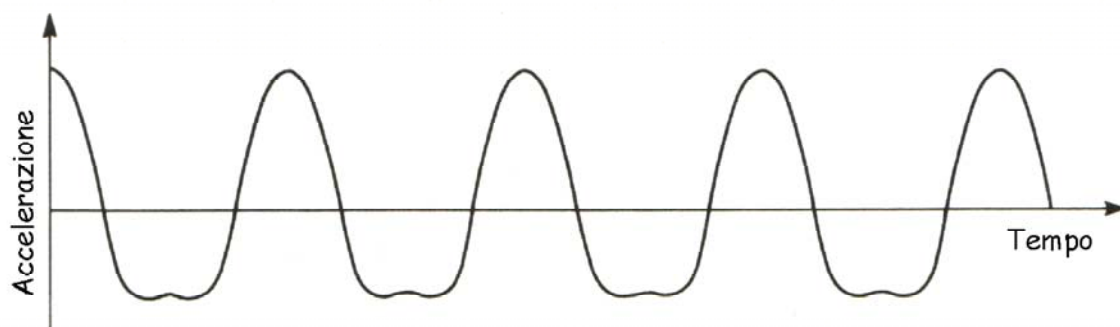
Utilizzando una scala di ampiezza lineare, (dinamica 20 dB) capita raramente di vedere le armoniche (che ci sono sempre). Se utilizziamo una scala logaritmica (dinamica 80 – 100 dB) troveremo quasi sempre le componenti armoniche..... a meno che non siano mascherate dal rumore elettrico dello strumento di misura.

5.2 La scomposizione in serie di Fourier

La variazione del contenuto spettrale di un segnale qualsiasi, ha sempre una sua corrispondenza nella variazione della forma d'onda. La forma d'onda sarà determinata dalla ampiezza delle sue componenti e dalla loro fase reciproca.

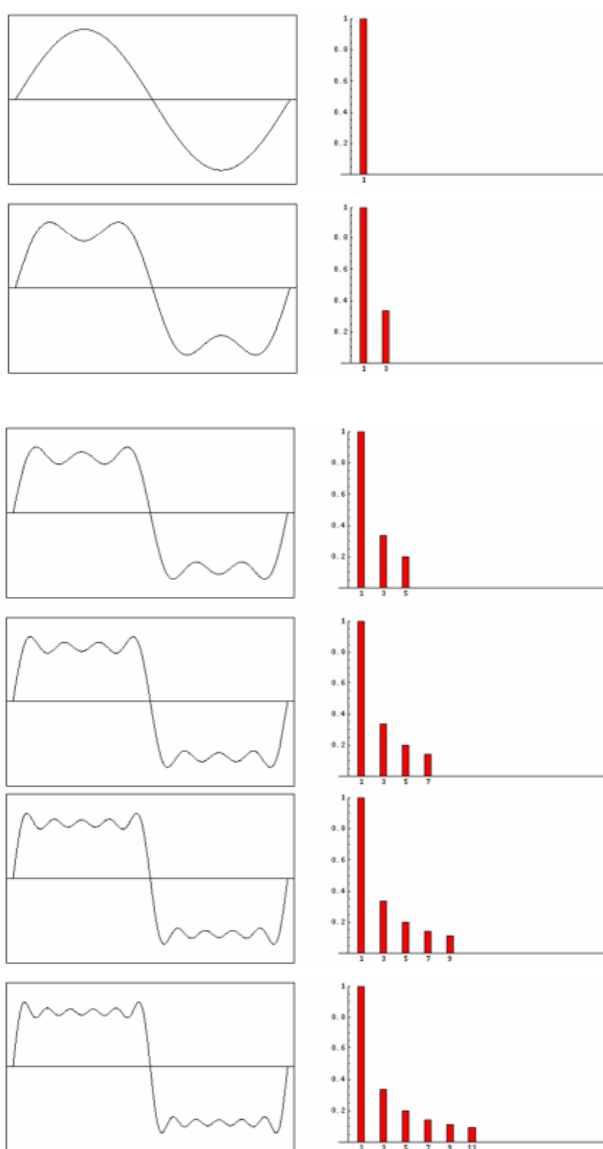
Chiamiamo scomposizione in serie di Fourier il passaggio da una forma d'onda alle sue componenti spettrali. Il procedimento è reversibile: partendo da ampiezza e fase delle componenti si può risalire alla forma d'onda.

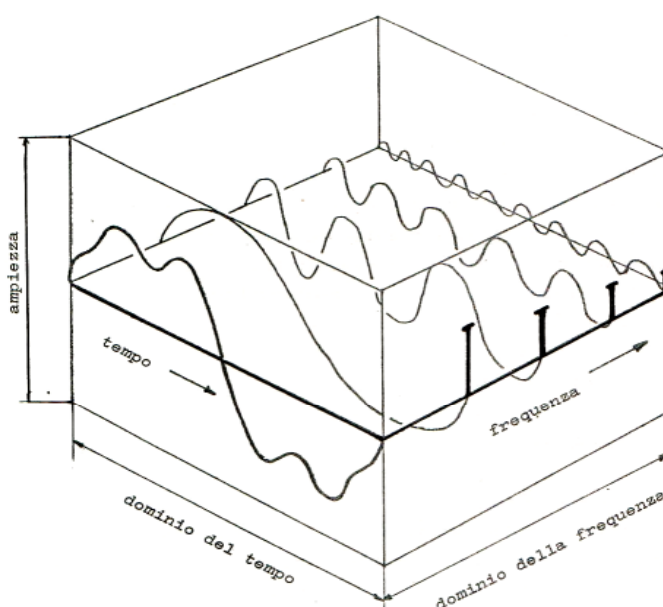
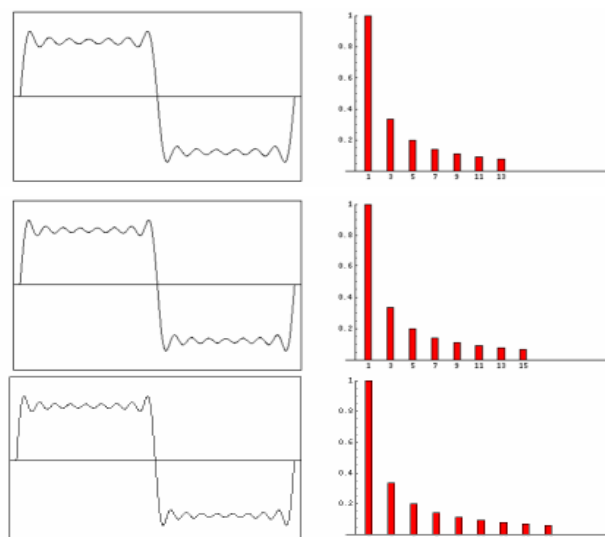




$$f_t = X_0 + X_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + X_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + X_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots + X_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

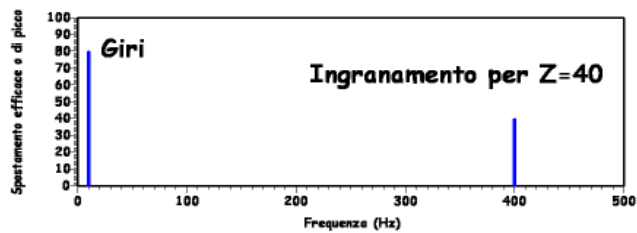
Esempi:





Nella pratica troveremo, oltre alle componenti armoniche, spettri con più componenti le quali rimandano, ognuna con la sua frequenza, alla sorgente che la ha generata. La conoscenza dei cinematismi di ogni macchinario è quindi fondamentale per una corretta impostazione dello studio delle vibrazioni, soprattutto quando si ha in mente il controllo delle vibrazioni.





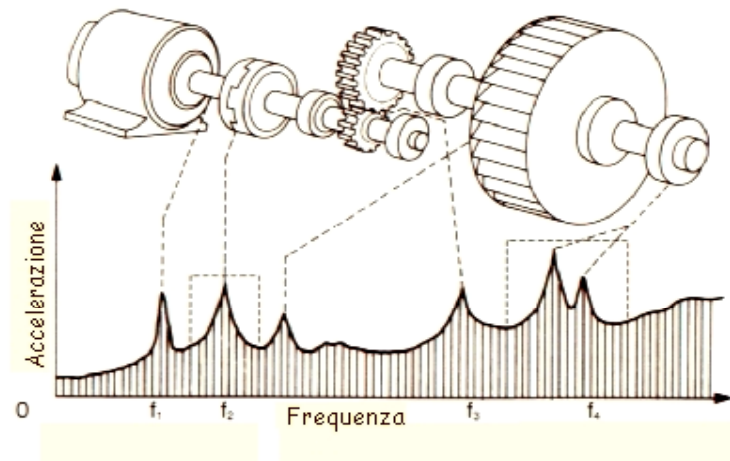
5.3 Il livello equivalente nelle misure di vibrazioni

Nella pratica, non deve trarre in inganno l'uso del termine: *livello equivalente* (Leq,T) nelle misure di vibrazioni; un livello equivalente è sempre un valore efficace solo che viene espresso come relazione di livello; purchè si indichi il valore di riferimento (x_0) si sta parlando esattamente della stessa cosa in forma logaritmica.

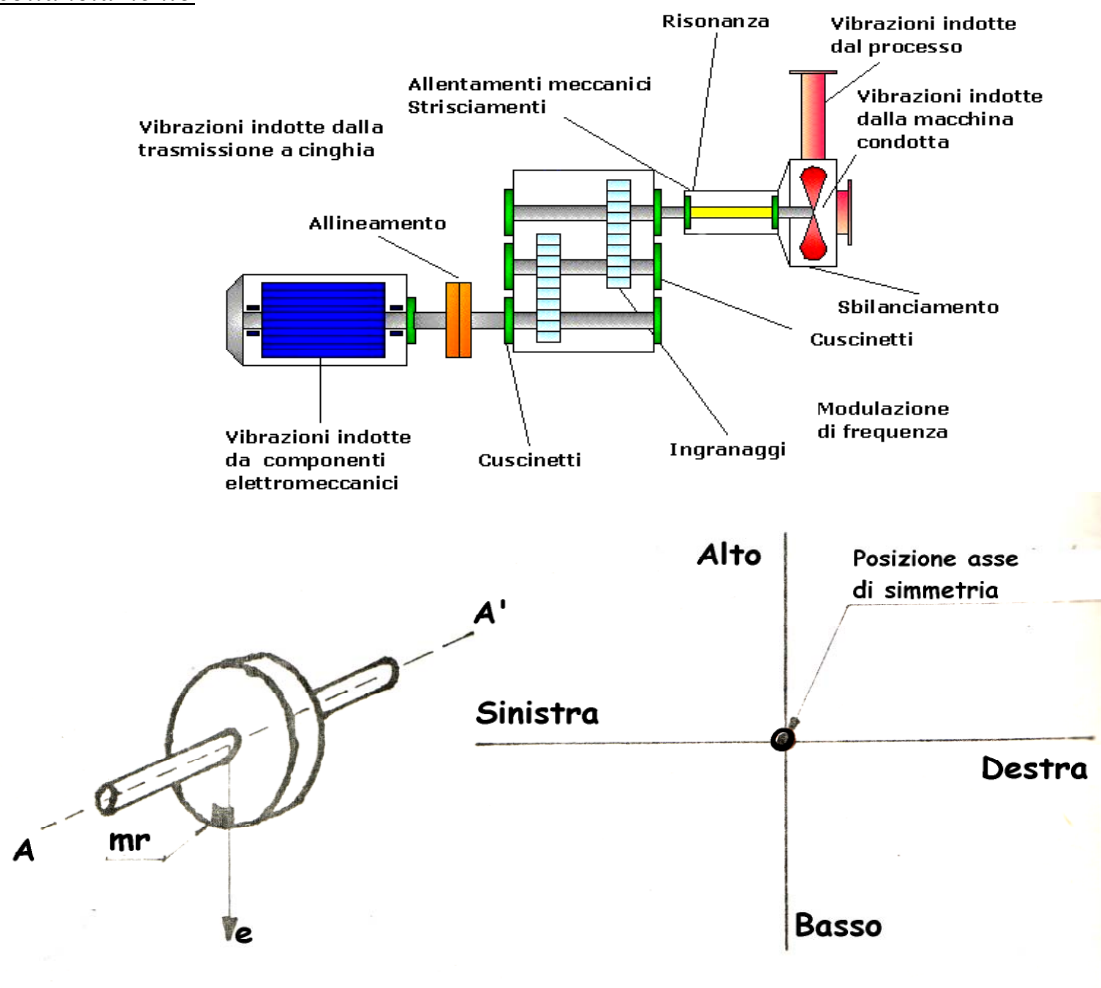
$$Leq = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{x^2}{x_0^2} dt$$

6. Dinamica delle vibrazioni

Le componenti in frequenza nella realtà

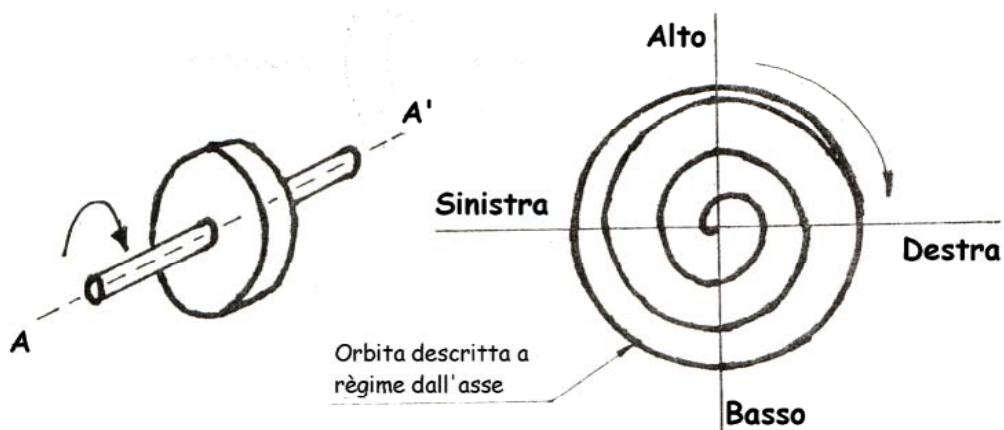


Lo sbilanciamento

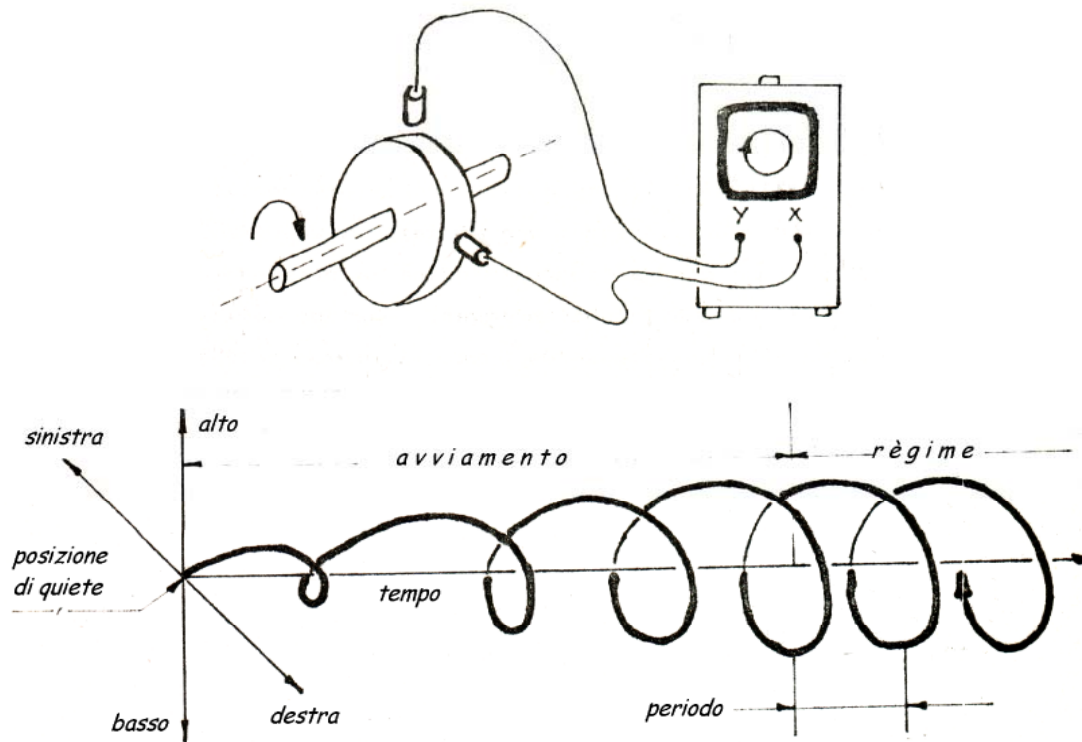


$$F = m_r e \omega^2 \sin \omega t$$

Nell'ipotesi che l'impedenza radiale sia costante la forza "sbilanciamento" produrrà un moto orbitale circolare.

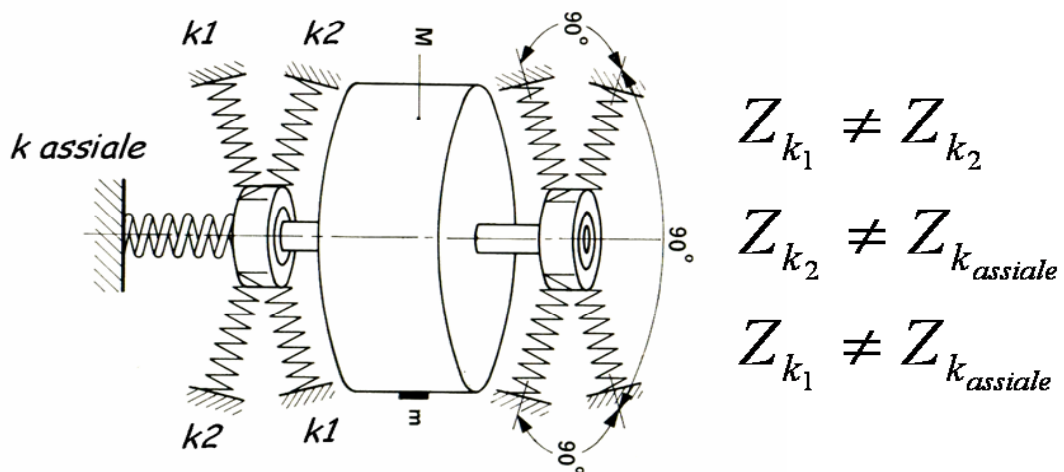


Le figure di Lissajou

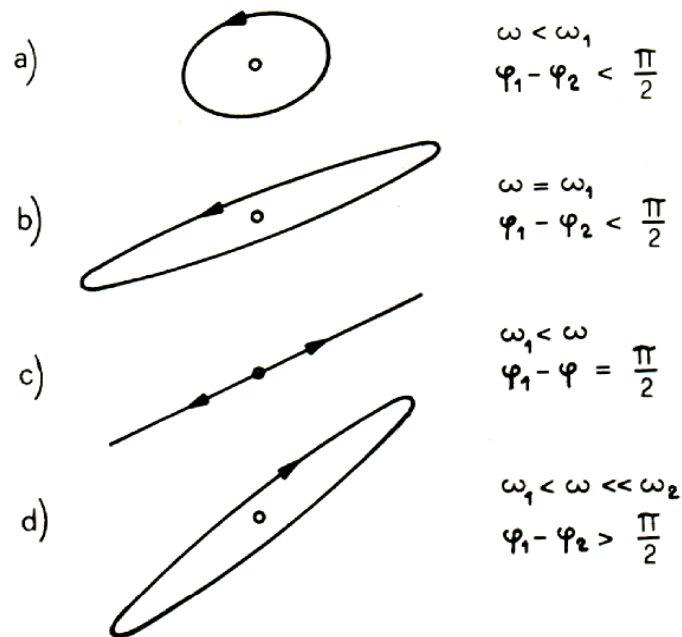


Se invece, come accade nei fatti l'impedenza radiale non è costante, e varia con la frequenza, assisteremo a dei moti ellissoidali con orientamento dell'asse maggiore imprevedibile.

L'impedenza radiale



Moto dell'asse in funzione di ω



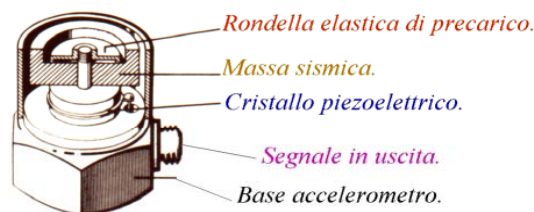
7. Trasduttori e sistemi di analisi

7.1 L'accelerometro

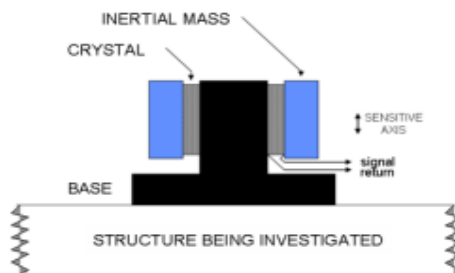
Il trasduttore oggi più o meno universalmente usato per le misure di vibrazioni è l'accelerometro piezoelettrico e che è in pratica un trasduttore che trasforma un moto alternativo in un segnale elettrico proporzionale all'accelerazione del moto.



Esistono accelerometri piezo a compressione dove la massa esercita una forza di compressione sull'elemento piezoelettrico



Oppure di tipo a taglio dove la massa esercita una forza di taglio sull'elemento piezoelettrico



7.2 La sensibilità

La sensibilità del accelerometro fornisce il fattore di conversione utilizzato per risalire ai valori di accelerazione cui è esposto il trasduttore dai pico Coulomb (o millivolt) in uscita dall'accelerometro

$$\text{Sensibilità} = \frac{\text{Uscita in picoCoulomb}}{\text{Accelerazione in ingresso}}; \left(\frac{\text{pC}}{\text{g}} \right)$$

Idealmente vorremmo avere un elevato livello di uscita, ma nella scelta vanno fatti compromessi come peso dell'accelerometro , range di misura ecc.

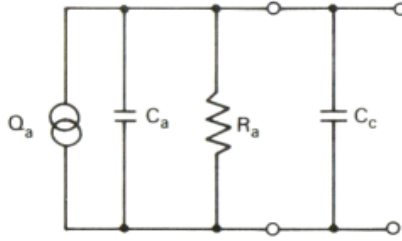
7.3 Accelerometri senza preamplificazione

Sono normalmente chiamati accelerometri in carica. Non hanno nessun circuito interno, il cristallo è il generatore di segnale che viene inviato direttamente al connettore di uscita. Possono essere visti sia come generatori di carica (pico Coulomb/g) sia come generatori di tensione (mV/g).

Calibration Chart for Accelerometer Type 4383	
Serial No.	1230172
Reference Sensitivity at 50 Hz, 100 ms ⁻²	
and	23 °C
Charge Sensitivity*	3.12 pC/ms ⁻² or 30.5 pC/g
Voltage Sensitivity* (incl. AO 0038)	
	2.75 mV/ms ⁻² or 26.9 mV/g
(Voltage Preamp. input Capacitance: 3.5 pF)	
Capacitance (incl. cable)	1134 pF
Typical Capacitance of cable AO 0038	110 pF
Maximum Transverse Sensitivity (at 30 Hz, 100 ms ⁻²)	1.8 %
Typical Undamped Natural Frequency	51 kHz
Typical Transverse Resonance Frequency, using Ex- citer Table 4290, with accelerometer mounted on a tita- nium cube by a 10 - 32 UNF-2A steel stud, mounting torque 1.8Nm and greased surfaces:	
	10 kHz

Cartellino di calibrazione

Puo essere schematizzato con il seguente circuito equivalente:



Q_a = generatore di carica ; C_a = capacità accelerometro R_a = Resistenza interna ; C_c = capacità cavo

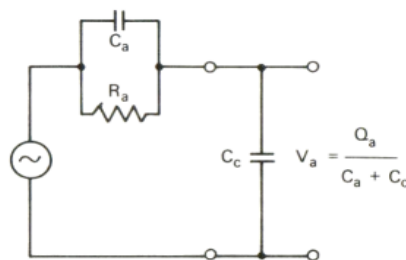
7.4 Il preamplificatore di carica

Utilizzato come un generatore di carica, l'accelerometro necessita di un preamplificatore di carica il quale fornisce una impedenza elevatissima di ingresso ed una fortissima controreazione capacitiva .



L'accelerometro in carica con il preamplificatore di carica offre la massima dinamica possibile per un sistema di misura delle vibrazioni .

Può essere schematizzato come un Circuito equivalente a generatore di tensione



$\sim$ = Generatore di tensione;

C_a = capacità accelerometro R_a = resistenza interna; C_c = Capacità cavo

È evidente come C_a e C_c si trovino in serie e formino un partitore di tensione capacitivo. All'aumentare della lunghezza del cavo aumenta la sua capacità e diminuisce la reattanza capacitiva ($1/\omega C_c$) e diminuisce in proporzione la sensibilità dello accelerometro. Per gestire il segnale si usano preamplificatori in tensione.

7.5 Il preamplificatore di tensione

Puo essere costituito dal classico preamplificatore microfonico per fonometri, il quale offre le caratteristiche di impedenza elevata ($10\text{ G}\Omega$) necessarie per mantenere una buona risposta alle basse frequenze. Utilizzando un cavo diverso o più lungo fra accelerometro e preamplificatore sarà necessario ricalcolare la sensibilità.

7.6 Il preamplificatore di carica

Una soluzione economica all'uso di un accelerometro di carica può essere un convertitore di carica che viene semplicemente messo in serie all'accelerometro convertendo l'uscita di Carica in uscita di tensione. Resta il limite di non conoscere le condizioni di sovraccarico



7.7 Accelerometri con preamplificazione

Vengono normalmente chiamati accelerometri ICP® che vuol dire cose del tipo... **Integrated Circuit Preampifier**... ovvero con un circuito preamplificatore integrato. ICP® è un “Trade mark” di una società commerciale per cui gli altri produttori hanno dovuto inventare altri nomi per la stessa cosa.. tipo line-drive, Deltatron®, Isotron ® ecc.

Questi accelerometri non hanno bisogno di preamplificatori esterni e possono pilotare cavi anche molto lunghi senza dover cambiare sensibilità.



Se vengono utilizzati con un fonometro, come lettore, hanno bisogno di un alimentatore per alimentare il preamplificatore. Analizzatori dedicati mono o pluri canali hanno la possibilità di selezione fra ingresso diretto e ingresso ICP®.

Confronto ICP® & carica

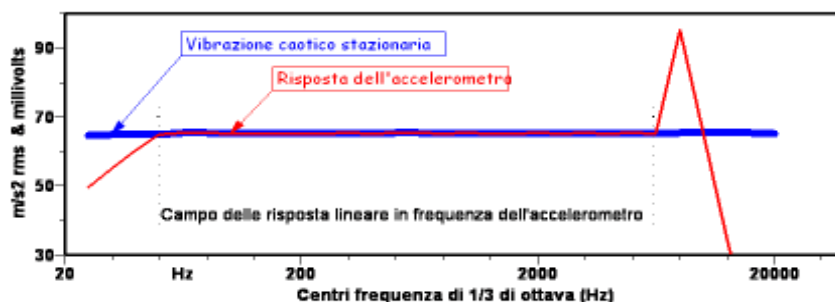
Tipo di accelerometro	Carica	ICP®
Sovraccarico	Segnalato dal preamplificatore	Non segnalato
Rumore	Circa 10 dB di meno di ICP	Vedi a sinistra
Dinamica	Altissima	Minore

7.8 Lettura dei valori di accelerazione

Si possono leggere i valori di accelerazione cui è sottoposto un accelerometro con un comune voltmetro o un oscilloscopio che abbia la griglia calibrata in millivolts, ma generalmente alla fine si opta per un analizzatore.

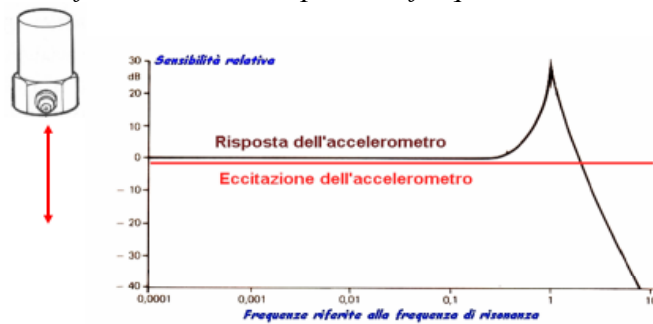
Un segnale vibratorio può essere costituito da una molteplicità di componenti in frequenza con svariati livelli.

Definiamo campo di linearità in frequenza dell'accelerometro quell'intervallo di frequenze allo interno delle quali vengono riprodotte nel dominio elettrico le varie componenti vibratorie rispettando i reciproci valori di ampiezza.



La linearità in frequenza riveste dunque una grande importanza poter conoscere la risposta in frequenza del trasduttore al fine di sapere se sia o meno adatto al tipo di indagine nella quale lo vogliamo impiegare. Prima di iniziare un indagine vibrometrica dobbiamo sapere sempre quale è il campo di frequenze nel quale dobbiamo operare e scegliere il trasduttore più adatto.

Definizione della risposta in frequenza assiale



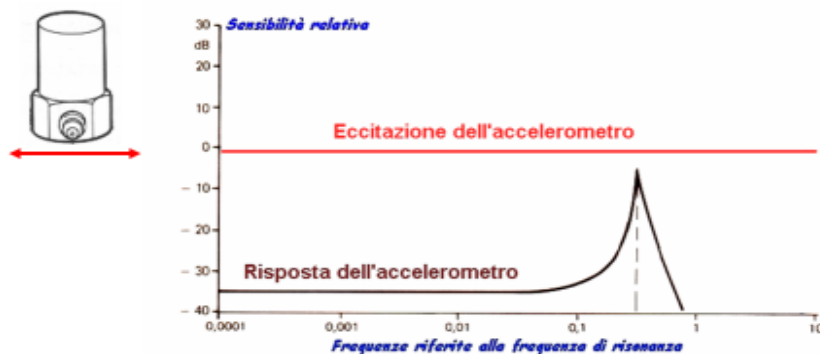
Vediamo dunque come il limite superiore in frequenza dell'accelerometro venga stabilito dalla risonanza della sua massa sismica. Il limite inferiore (LLF) viene invece stabilito dalla relazione fra la capacità dell'accelerometro più quella del cavo e la resistenza ohmica del suo preamplificatore.

7.9 Il limite inferiore in frequenza (LLF)

Se chiamiamo R_p la resistenza di ingresso del preamplificatore, la capacità del trasduttore (C_a), del cavo (C_c), e dell'ingresso del pre (C_p), possiamo definire il limite inferiore in frequenza come segue:

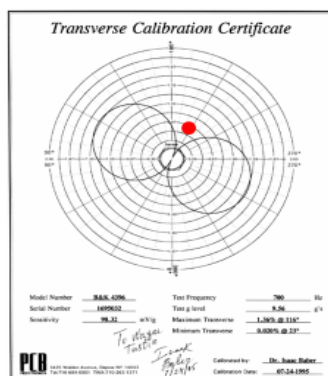
$$LLF = \frac{1}{2\pi R_p (C_a + C_c + C_p)}$$

Risposta in frequenza trasversale

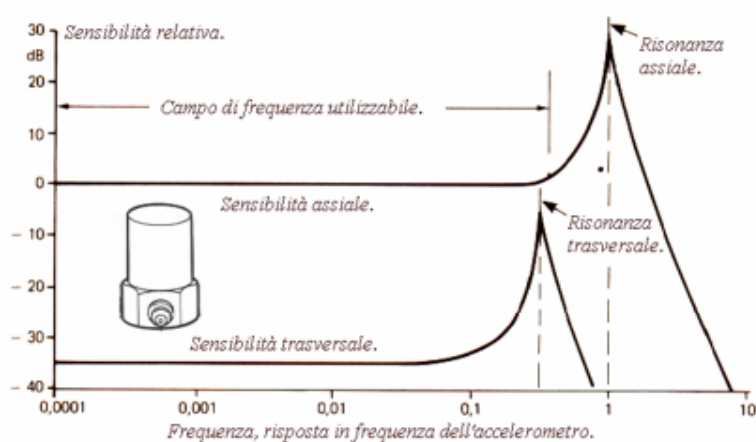


Eccitazione trasversale ad accelerazione costante

Risposta polare trasversale



Risposta trasversale ed assiale



7.10 Cosa misura l'accelerometro

Essendo di regola ignota la direzione del moto, dobbiamo sempre assumere di aver misurato una componente del vettore di accelerazione e non il suo valore assoluto. Solamente usando un accelerometro triassiale abbiamo la certezza, sommando vettorialmente le risultanze dai tre canali, di conoscere il valore assoluto della accelerazione.

Dall'accelerometro triassiale otterremo in uscita: a_x ; a_y ; a_z . Il valore assoluto "a" della accelerazione sarà dato da:

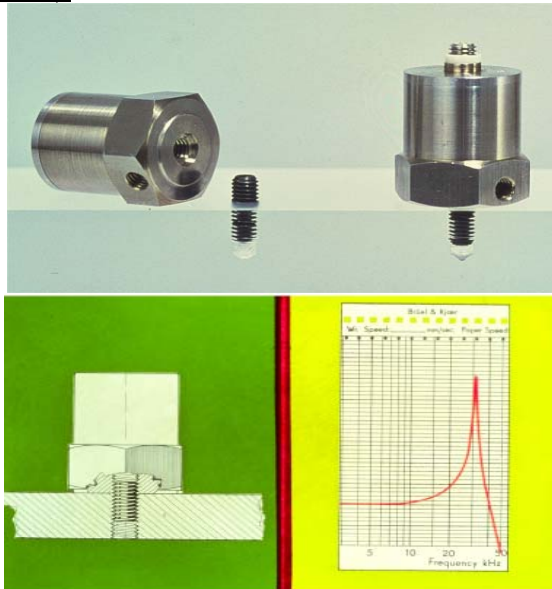


$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

7.11 Fissaggio degli accelerometri

Per riprodurre nel dominio elettrico la forma d'onda esatta del movimento delle strutture occorre che il trasduttore si muova come e con le strutture stesse. Se la rigidità di contatto con le strutture è – grosso modo – maggiore di quella della sua rondella elastica allora vale la risposta in frequenza riportata sul suo cartellino di calibrazione.

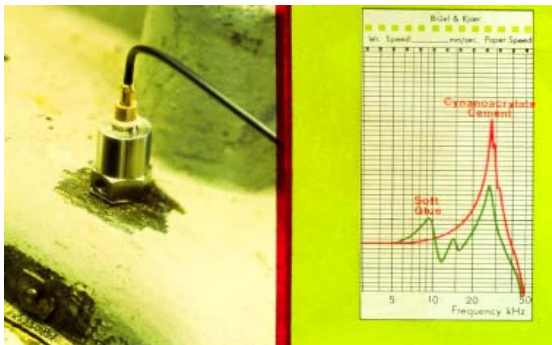
Fissaggio a vite (grano filettato)



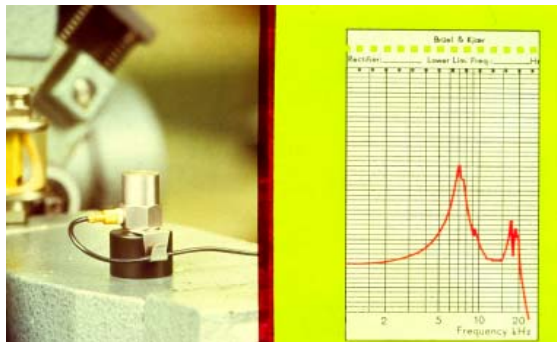
Fissaggio con cera



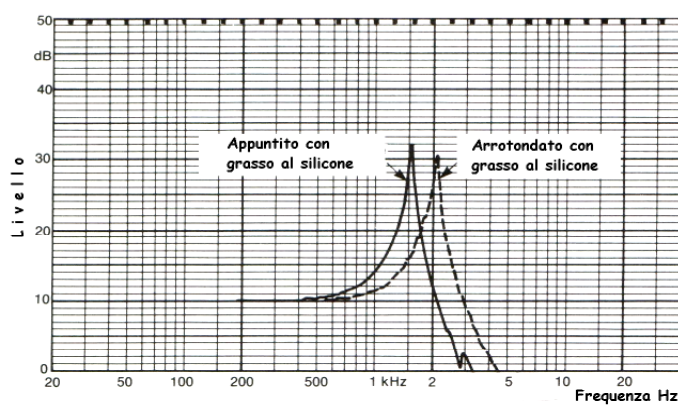
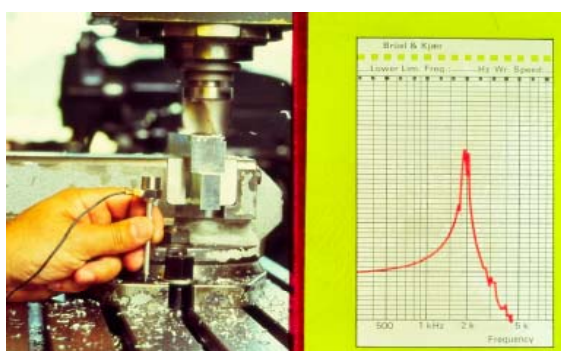
Fissaggio con cianocrilato



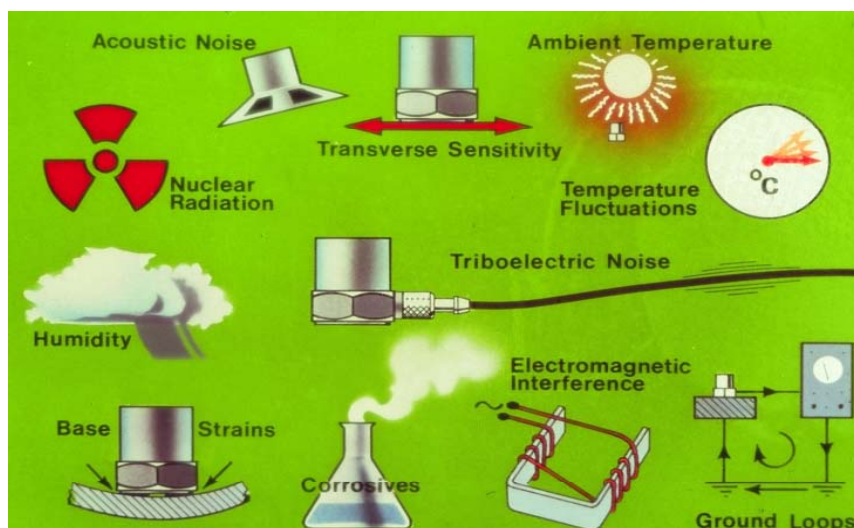
Fissaggio con magnete



Fissaggio a mano



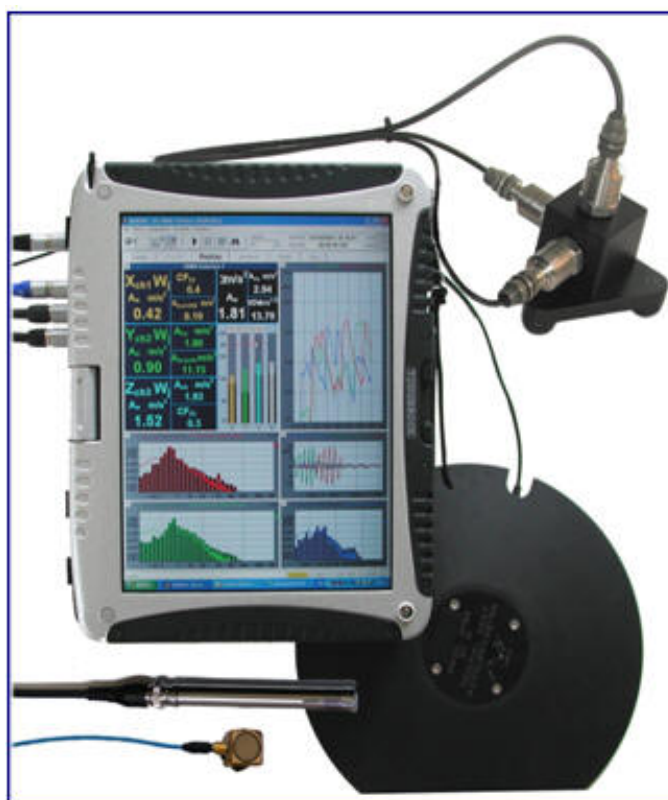
7.12 Influenze ambientali



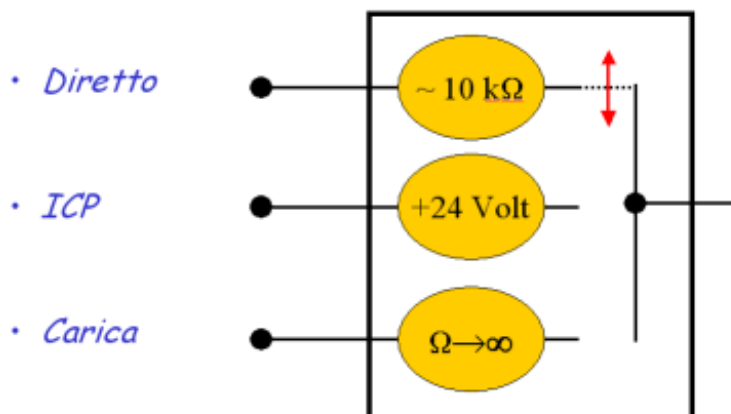
8. La catena di misura



8.2 Misuratori analizzatori di vibrazioni



Lo stadio di ingresso



Lo stadio passa alto e passa basso



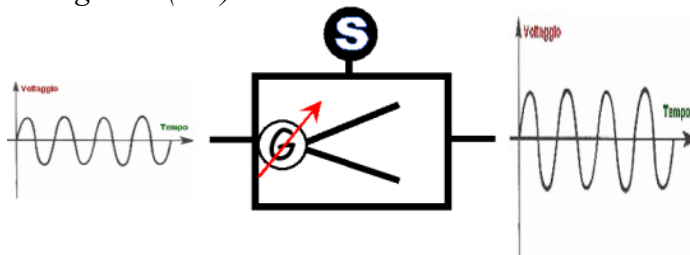
L'amplificatore di misura

L'amplificatore di misura assolve al compito di amplificare il segnale fornito da gruppo preamplificatore-accelerometro allo scopo di consentire le successive operazioni di filtraggio, estrazione del valore efficace ed eventuale registrazione su supporto magnetico o cartaceo a $\frac{1}{2}$ registratore grafico. È caratterizzato dal suo guadagno – G- (quanto amplifica) e dalla sua dinamica (rapporto segnale prima della distorsione/rumore di intrinseco).

Il guadagno o l'amplificazione dell'amplificatore di misura

Tensione di ingresso (V_{in})

Tensione di uscita (V_{out})



$$\text{Guadagno (G)} = 20 \log_{10} V_{out}/V_{in}; \text{ dB}$$

Il guadagno o l'amplificazione dell'amplificatore di misura

Se $V_{ingresso} = 100 \text{ mV}$;

e $V_{uscita} = 500 \text{ mV}$;

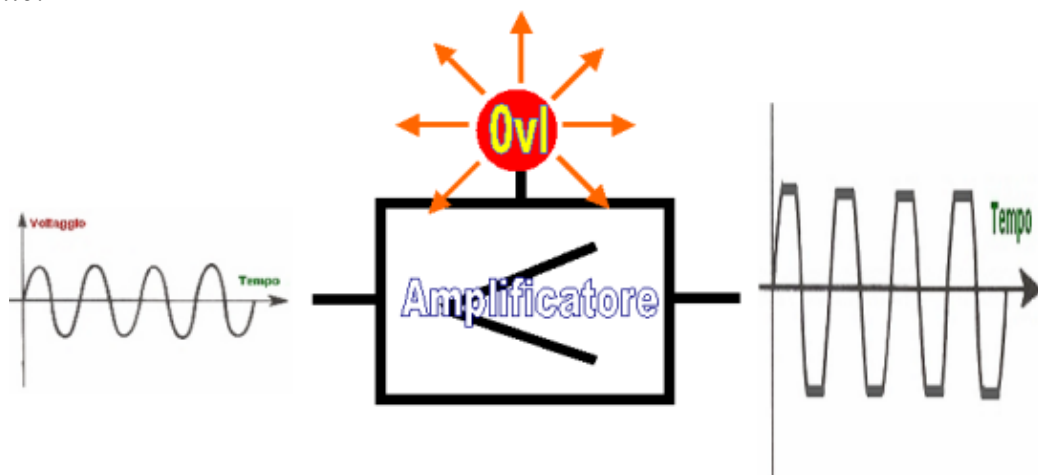
avremo:

$$G = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = 20 \log \left(\frac{500}{100} \right) = 13.9 \text{ dB}$$

Il guadagno dell'amplificatore di misura (G) è determinato dalla operazione della calibrazione.
Può amplificare linearmente una fascia limitata di valori compresi fra il suo rumore intrinseco e il suo limite di saturazione (sovraccarico).

La condizione di sovraccarico

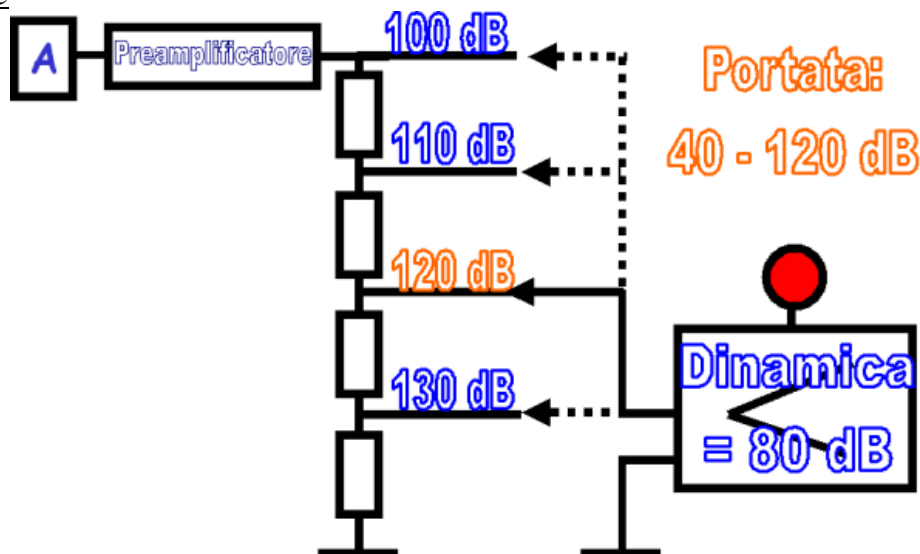
A differenza del preamplificatore l'amplificatore è in grado di segnalare l'insorgenza di una condizione di saturazione o sovraccarico attraverso la comparsa della indicazione "overload". Questa condizione si verifica quando il segnale di ingresso (che proviene dal preamplificatore) è troppo alto.



La dinamica dell'amplificatore di misura

Anche l'amplificatore è caratterizzato da un rumore intrinseco (determinato più che da altro dal fatto che amplifica il rumore del gruppo preamplificatore accelerometro) e da un livello di saturazione, fra questi due estremi si colloca la sua gamma dinamica. La gamma dinamica di un amplificatore di misura è dell'ordine degli 80 dB onde non è possibile gestire il segnale proveniente dal preamplificatore senza ricorrere ad un dispositivo intermedio: l'attenuatore.

L'attenuatore



Campo di misura, gamma dinamica, portata.

Il campo di misura viene quindi definito dalla sensibilità dell'accelerometro e dalla dinamica del preamplificatore, abbiamo visto che un campo di misura comune, per un accelerometro da 10 mV/ms^{-2} va da $0,01$ a 1.000 ms^{-2} , la gamma dinamica dell'amplificatore (80 dB) consente la misura attraverso delle portate da 80 dB; ovvero: $0,01$ a 100 ; da $0,1$ a 1000 . L'attenuatore ha lo scopo di adattare la dinamica del segnale al sistema di misura.

Analizzatori ad elevata dinamica

L'introduzione di analizzatori che gestiscono il segnale in maniera numerica ha introdotto alla possibilità di gamme dinamiche molto alte fino a $120 - 140 \text{ dB}$, e quindi possibile arrivare ad avere analizzatori in grado di gestire in una unica portata tutta la dinamica del gruppo accelerometro - preamplificatore

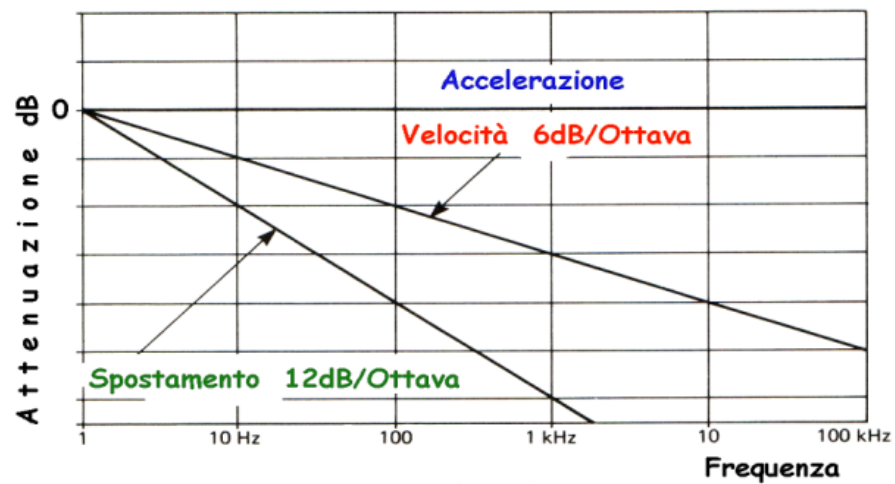
8.3 Filtri globali e passa-banda

Operazioni di filtraggio globali e selettive

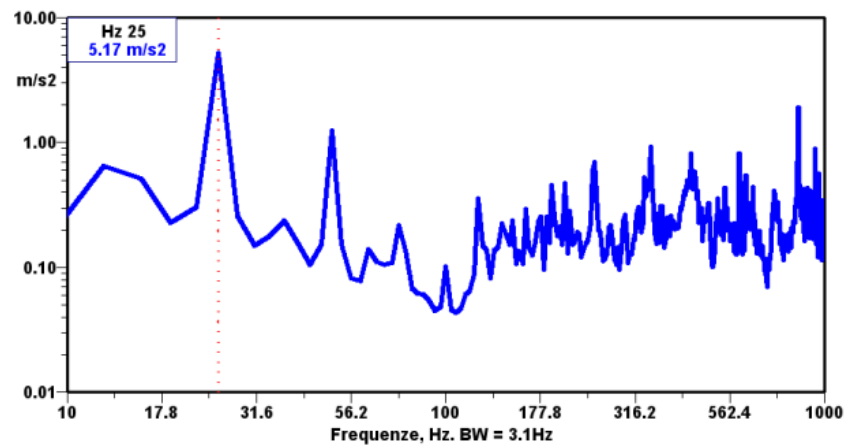
Abbiamo visto come, in pratica, il sistema accelerometro-preamplificatore-amplificatore ricostruisce nel dominio elettrico quella che avviene nel dominio dell'accelerazione. Se ora vogliamo misurare degli aspetti della energia vibratoria che sono funzione della frequenza occorre ricostruire queste funzioni utilizzando dei filtri.

I filtri sono dei dispositivi elettrici che offrono un guadagno variabile in funzione della frequenza. Possono essere di due tipi: globali e passa-banda. I filtri globali, negli strumenti per la misura delle vibrazioni, servono per ricavare velocità e spostamento dal segnale di accelerazione. I filtri passa-banda servono per eseguire le analisi in frequenza allo scopo di riconoscere il tipo di spettri, identificare le componenti vibratorie, ecc.

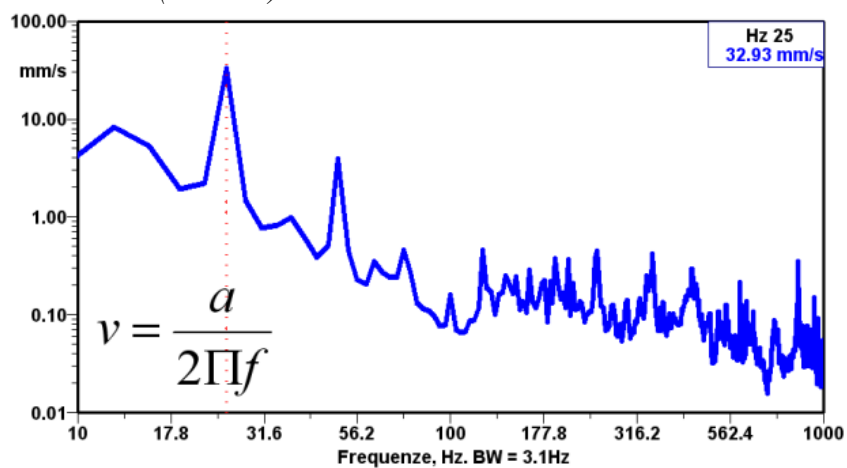
I filtri globale di integrazione



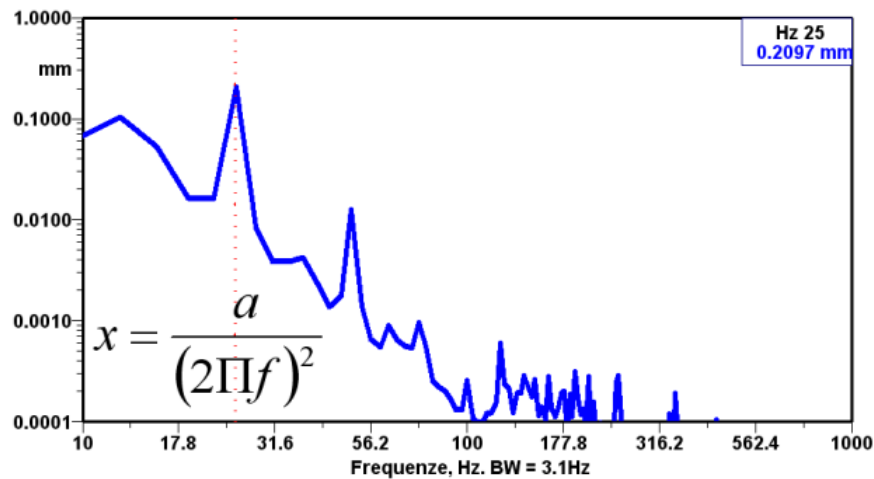
Segnale originale di accelerazione



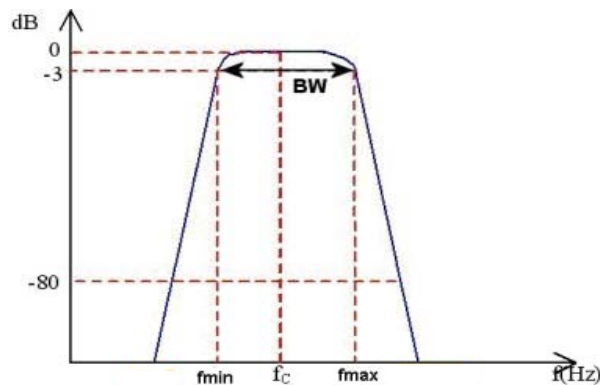
Segnale integrato una volta (velocità)



Segnale integrato due volte (spostamento)



Operazioni di filtraggio passa banda: caratteristiche di un filtro



- f_c = frequenza centrale del filtro
- f_{min} = frequenza di inizio del filtro a -3.0 dB
- f_{max} = frequenza di fine del filtro a -3.0 dB
- BW = larghezza di banda = $f_{max} - f_{min}$ (Hz)

Esistono due tipi fondamentali di filtri passa-banda:

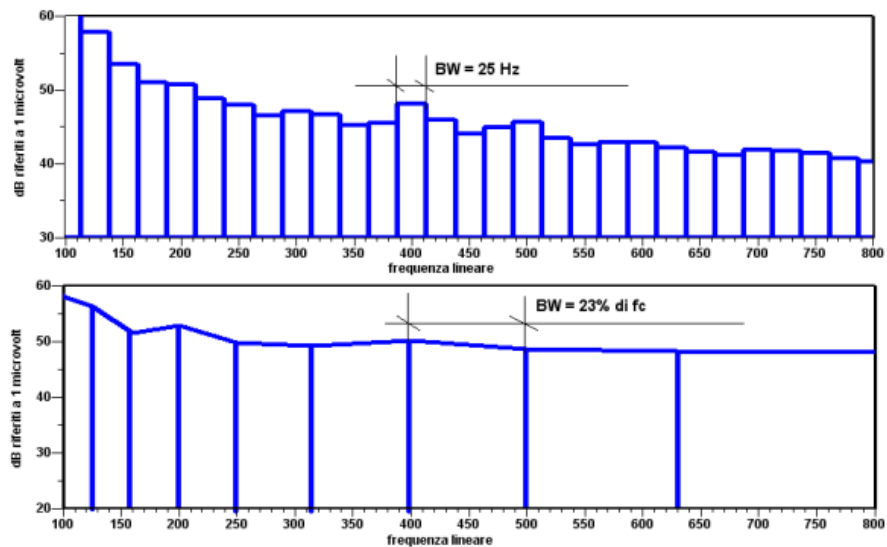
- a larghezza di banda costante,
- a larghezza di banda percentuale costante.

Nei filtri a BW costante, BW è indipendente dalla frequenza centrale del filtro.

Nei filtri a BW percentuale costante, BW è una percentuale della frequenza centrale del filtro. I

filtri a BW costante sono normalmente del tipo FFT

I filtri a BW percentuale costante sono del tipo ad ottave e frazioni di ottava.



I filtri a 1/1 di ottava & 1/3 di ottava hanno rispettivamente una larghezza di banda del 73 % e del 23%.

I filtri FFT (fast Fourier transform) hanno una larghezza di banda (BW) che dipende dal rapporto banda passante (BP) scelta / numero di "righe" (N) in cui si vuole dividere la banda passante.

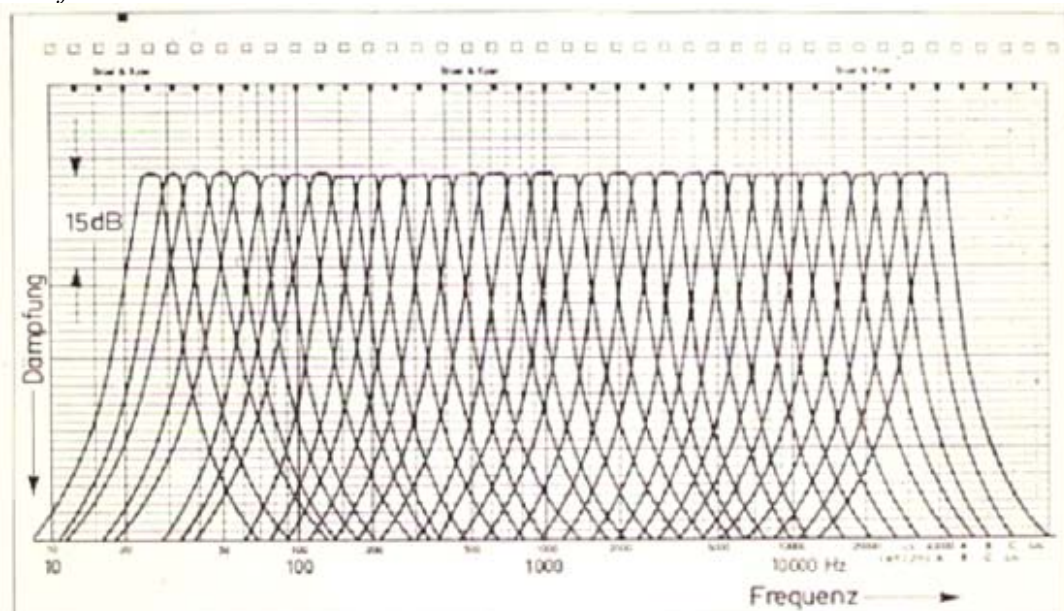
$$\text{Ovvero: } BW = BP/N$$

Per BP = 0-10.000 Hz; e N = 400; BW sarà 25 Hz.

Per BP = 0-10.000 Hz; e N = 800; BW sarà 12.5 Hz.

Per BP = 0-800 Hz; e N = 800; BW sarà 1 Hz

Famiglia di filtri a 1/3 di ottava



Uno stesso segnale analizzato con i due tipi di filtri darà risultati molto diversi nell'aspetto ma legati dall'energia.

