Quanto bene conosciamo i Segnali Sismici?

In generale, quello registrato non è esattamente il moto del suolo ma la risposta dell’apparato strumentale a questo movimento

In pratica, lo strumento provoca un distorsione che rende la registrazione diversa dal moto effettivo del suolo

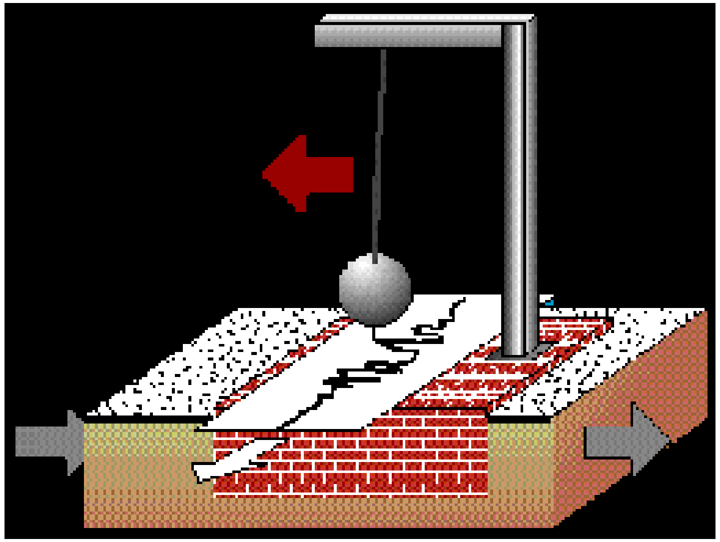
E’ possibile mettere a punto modalità di misura capaci di fornire registrazioni più o meno fedeli, ma mai perfettamente identiche allo scuotimento effettivo del suolo

Pertanto dobbiamo imparare a gestire queste differenze ed eventualmente tenerne conto per ricostruire il segnale reale

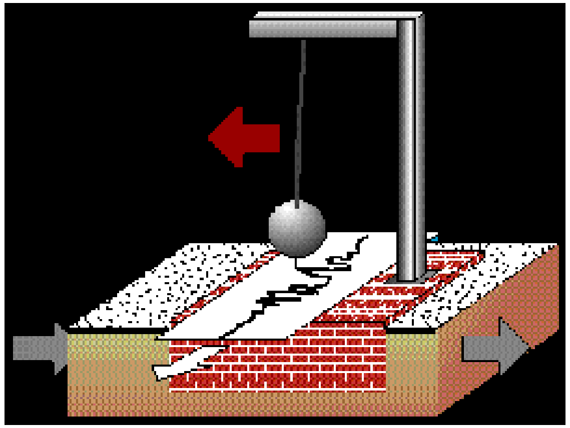
Ma come funziona il sismografo?

Il sensore sismico è un sistema oscillatorio che deve essere in grado di riprodurre fedelmente il segnale in arrivo (deve avere una risposta costante per tutte le frequenze contenute nel segnale in arrivo)

Quando il terreno inizia a muoversi, il supporto si sposta con il terreno, mentre la massa tende a rimanere immobile per inerzia. Se prevale l'inerzia si riesce ad avere un punto praticamente immobile e a misurare correttamente il movimento del suolo



Il movimento relativo della bobina rispetto al magnete solidale all'armatura (e quindi al terreno) produce una variazione di flusso del campo magnetico che genera una forza elettromotrice proporzionale alla **velocità del moto** del suolo



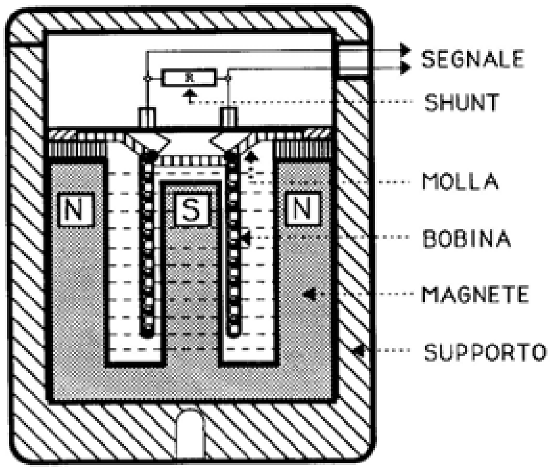
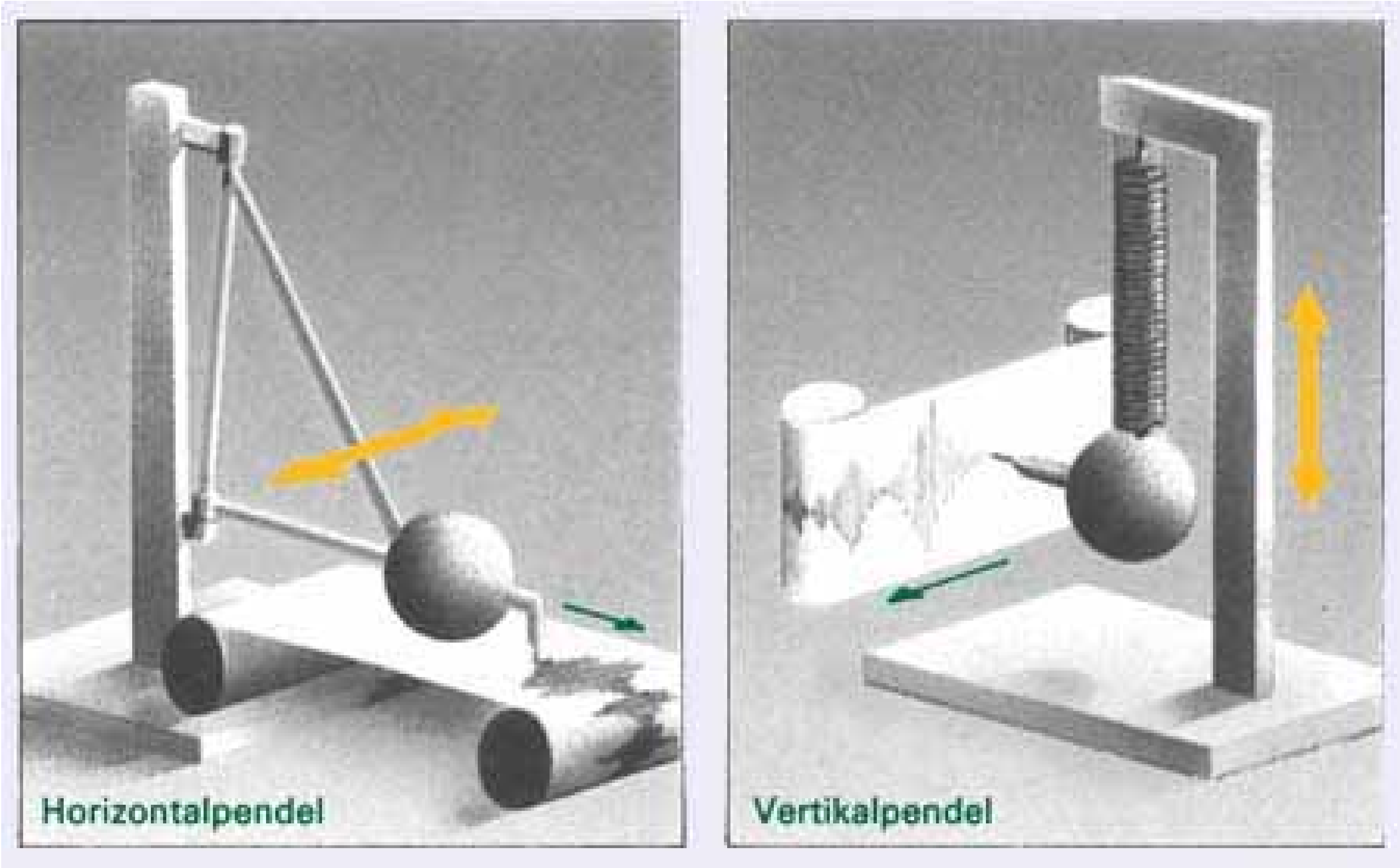
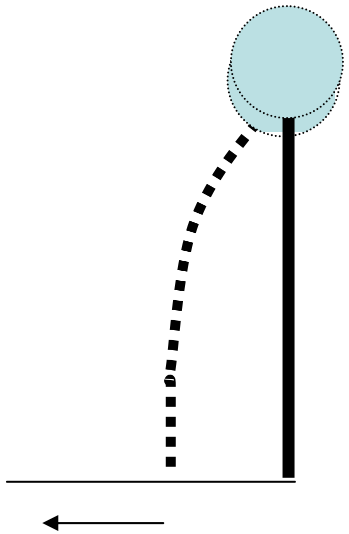


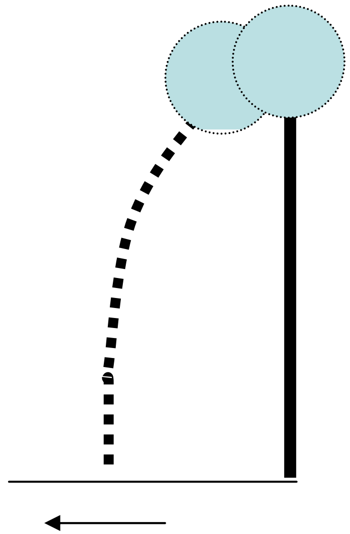
Figura 2.30 — Sezione schematica di un geofono elettromagnetico (vedi testo).



Il problema che è necessario porsi è:

quanto la registrazione così ottenuta è fedele?

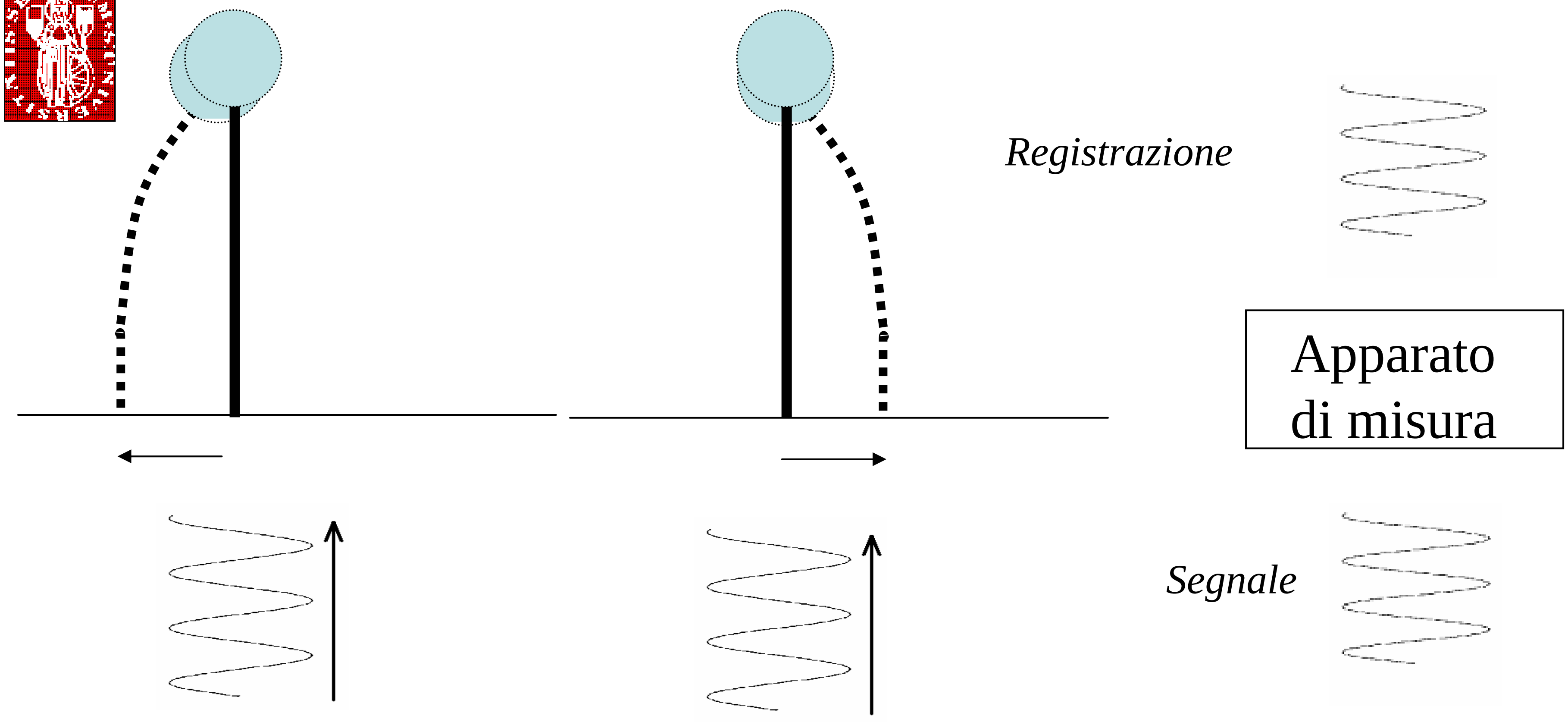




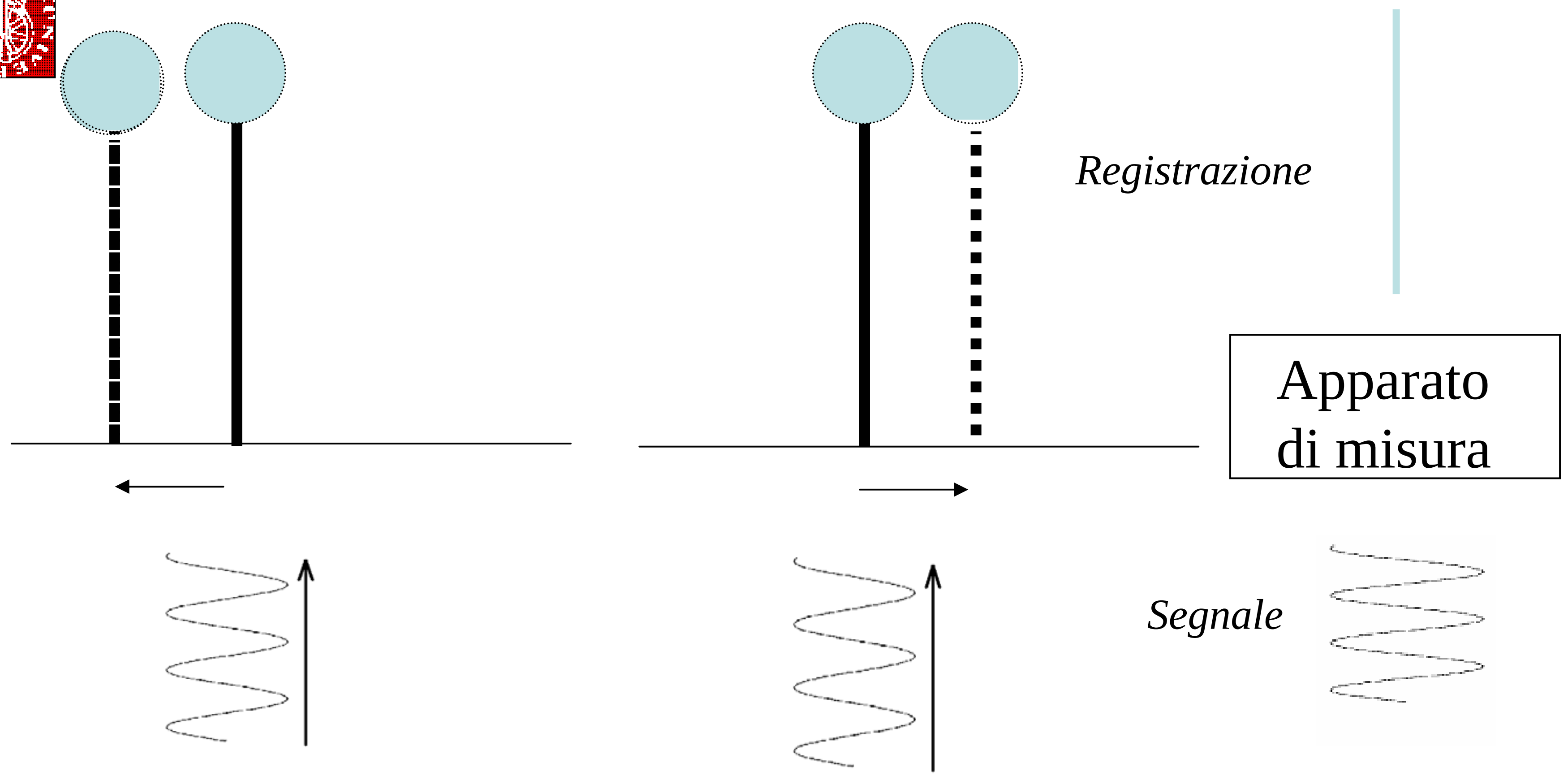
Il terreno si sposta ma l'inerzia della massa fa si che questa stia ferma

La massa si mette quindi in moto e segue il terreno con **un ritardo** che tanto maggiore quanto maggiore è la sua inerzia e quanto minore è la rigidità della molla

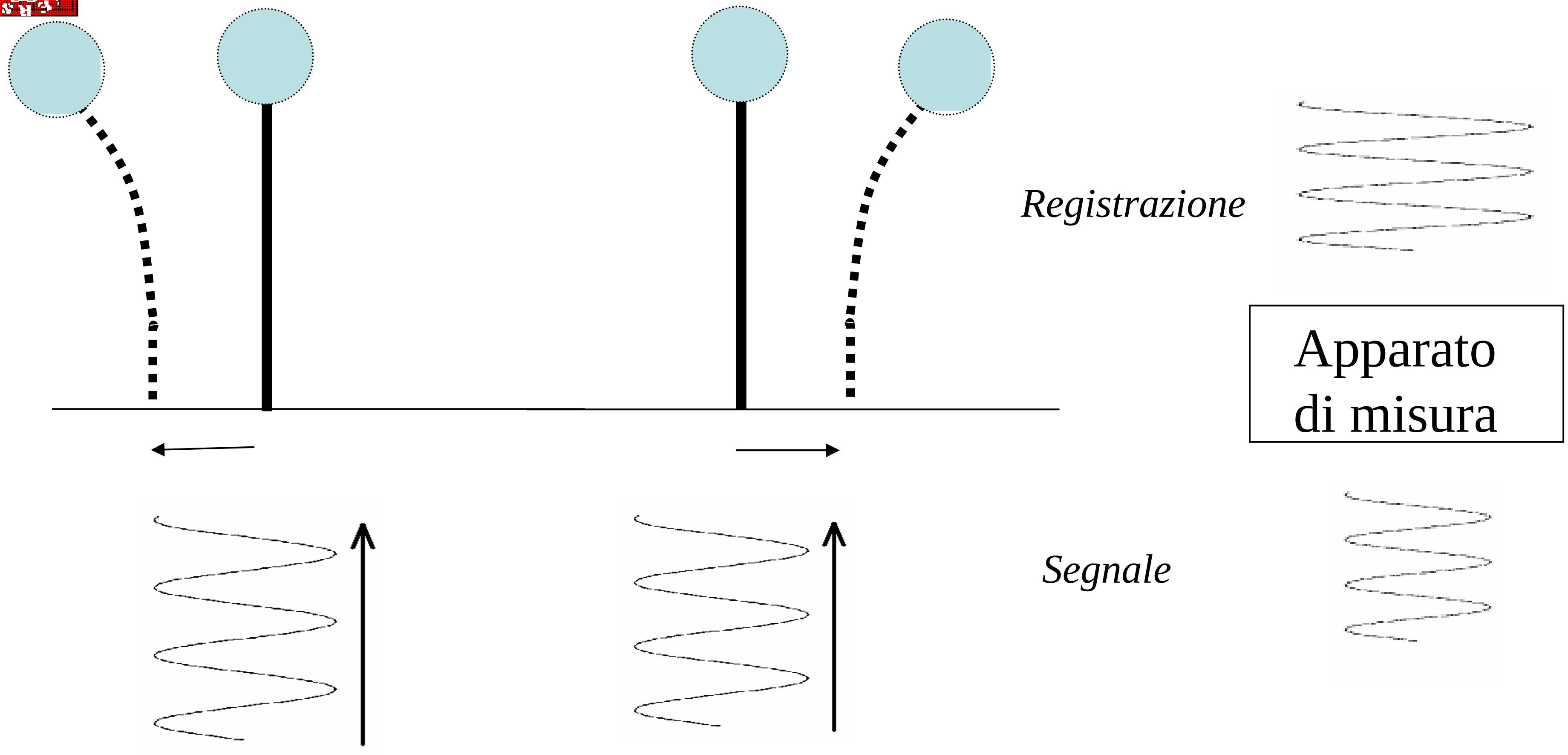
Convenzionalmente, il doppio del tempo di ritardo è detto **Periodo Proprio** del sistema ed il suo inverso è detta **Frequenza Propria**



Asta **poco** rigida e/o massa **molto** grande: la frequenza propria dell'oscillatore ν_o è molto minore di quella della sollecitazione ν_s: (ν_s / ν_0 >>1) **: il moto relativo massa/terreno è circa uguale al moto assoluto del terreno**



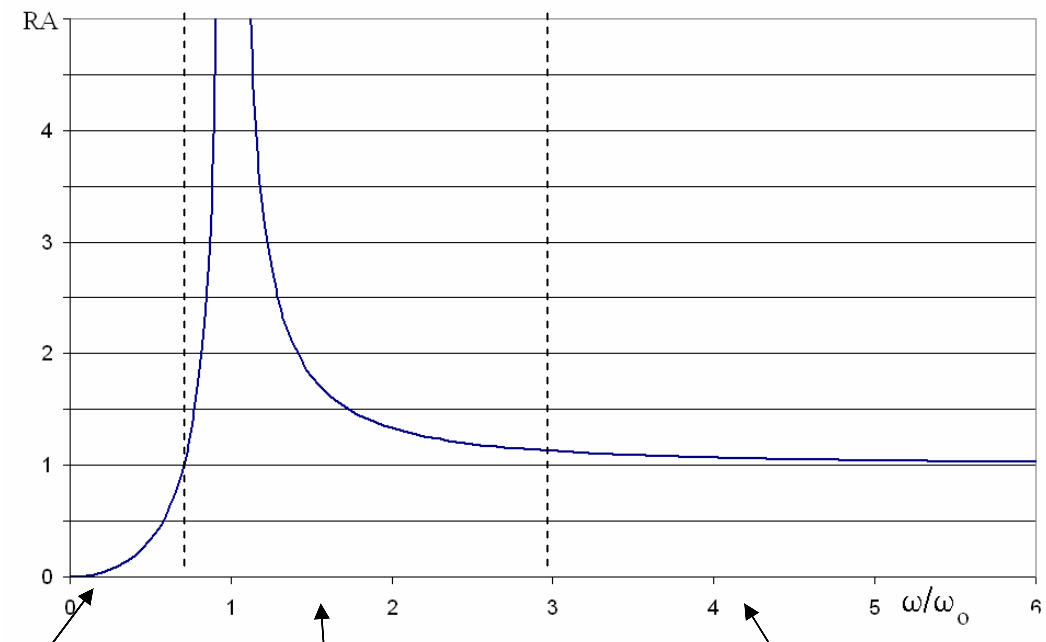
Asta molto rigida e/o massa molto piccola: la frequenza propria dell'oscillatore ν_o è molto maggiore di quella della sollecitazione ν_s: (ν_s / ν_0 <<1) : **il moto della massa è circa uguale a quello del terreno (il moto relativo è circa nullo)**

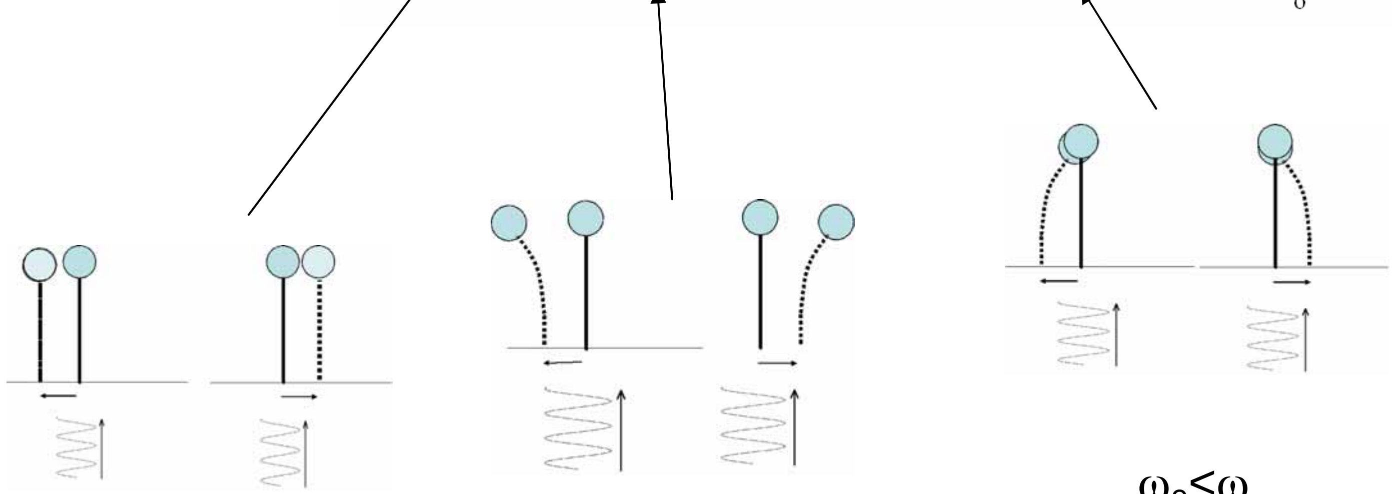


La frequenza propria ν_o dell'oscillatore è simile alla frequenza della sollecitazione ν_s: ($\nu_{s/}\,\nu_0 = 1$) : **il moto della massa è maggiore di quello del terreno (il pendolo oscilla "per conto suo")**

$$RA = \left|\frac{R_{\max}}{D_{\max}}\right| = \left|\frac{\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1-\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right|$$

RA= Rapporto di amplificazione del moto relativo massa/terreno



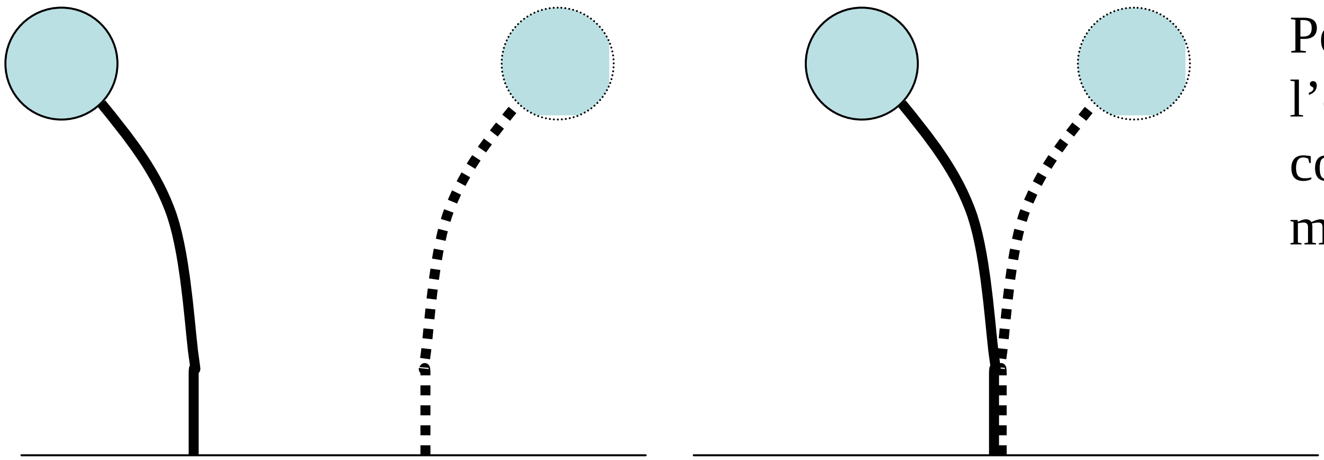


$\omega_0 > \omega_s$

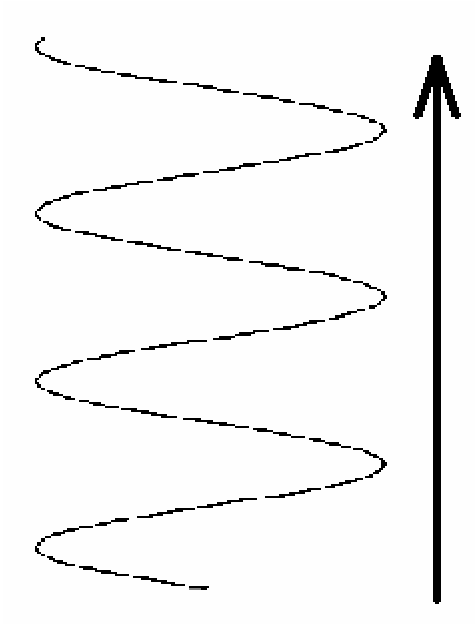
$\omega_0 = \omega_s$

$\omega_0 < \omega_s$

Ma cosa accade quando il movimento del terreno finisce?

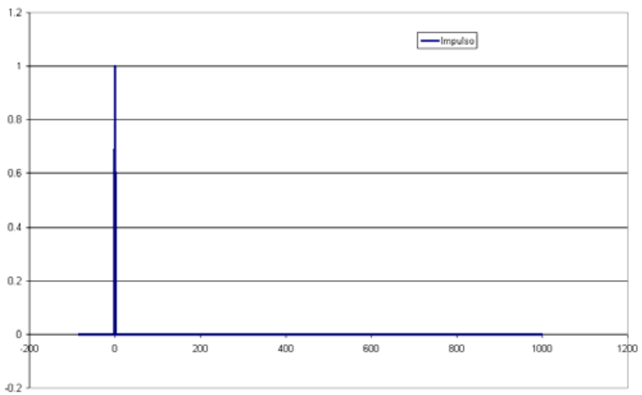


Per via dell'inerzia, l'oscillazione della massa continua anche quando il moto del terreno è finito

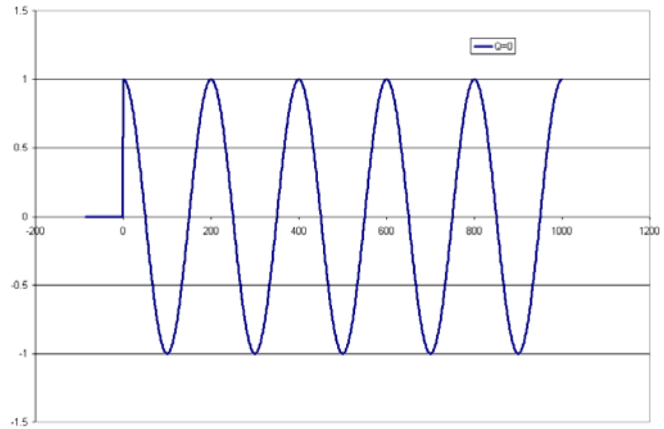


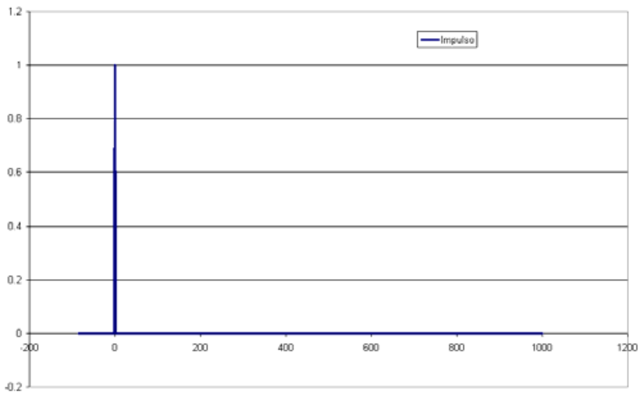
Per evitare questo effetto distorsivo sulla registrazione, il sistema oscillante deve essere <u>smorzato</u>

INPUT OUTPUT

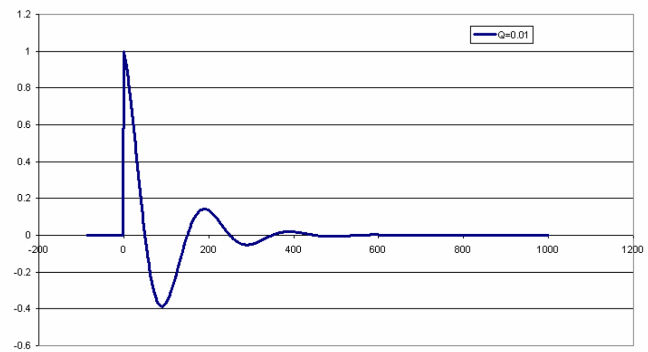


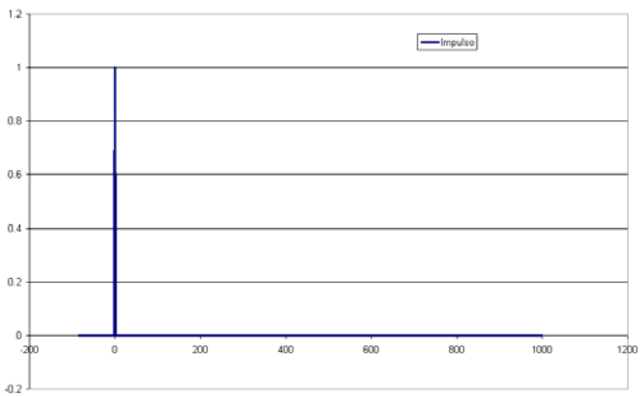
Sistema senza smorzamento



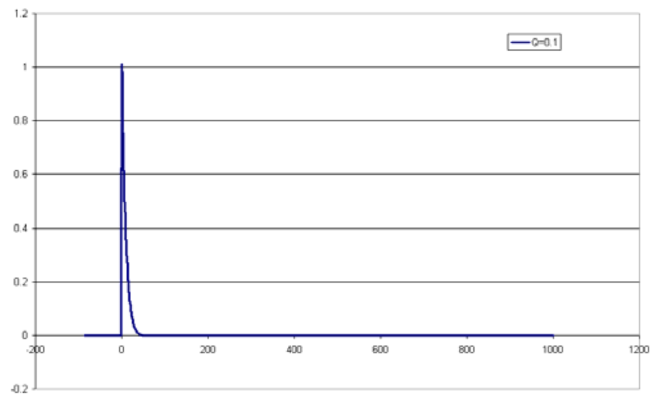


Sistema poco smorzato





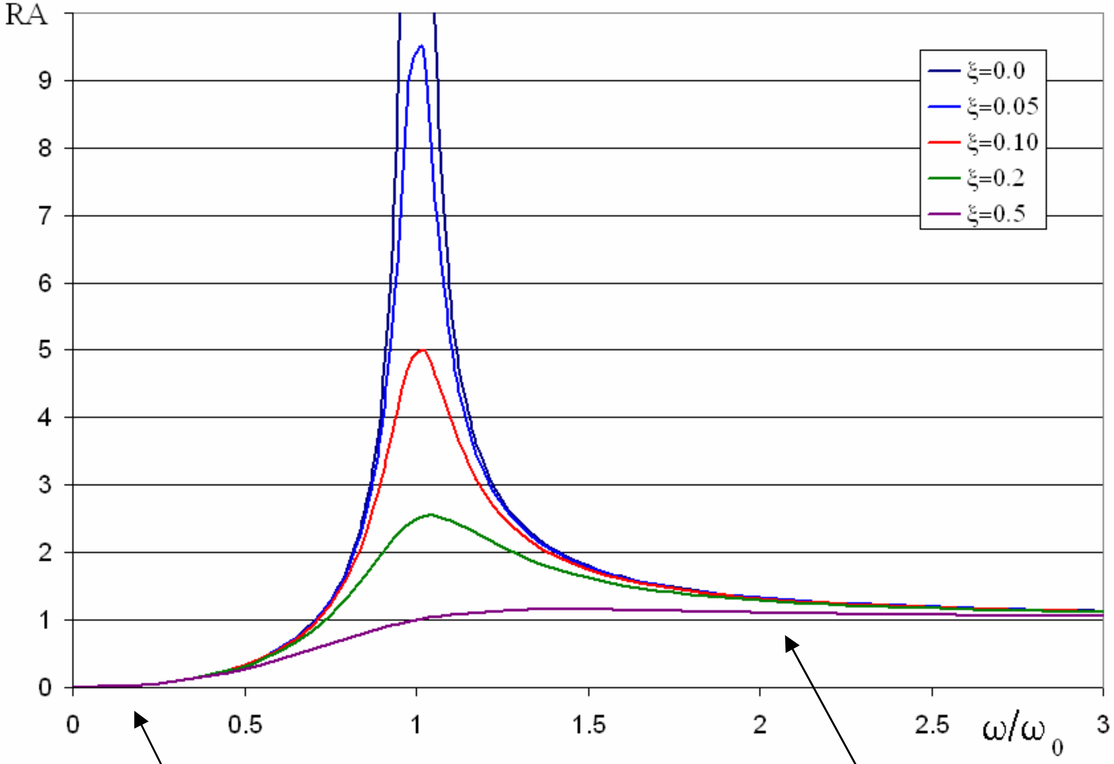
Sistema ben smorzato



L’effetto dello smorzamento è quello di dissipare una frazione dell’energia disponibile per ogni oscillazione: quindi, tanto maggiore è la quantità di oscillazioni nell’unità di tempo (frequenza) tanto maggiore sarà l’effetto dello smorzamento

$$\xi = -\frac{1}{4\pi}\frac{\Delta W}{W}$$

Dove W è l’ energia disponibile e ΔW è la parte di energia dissipata nel corso dell’oscillazione

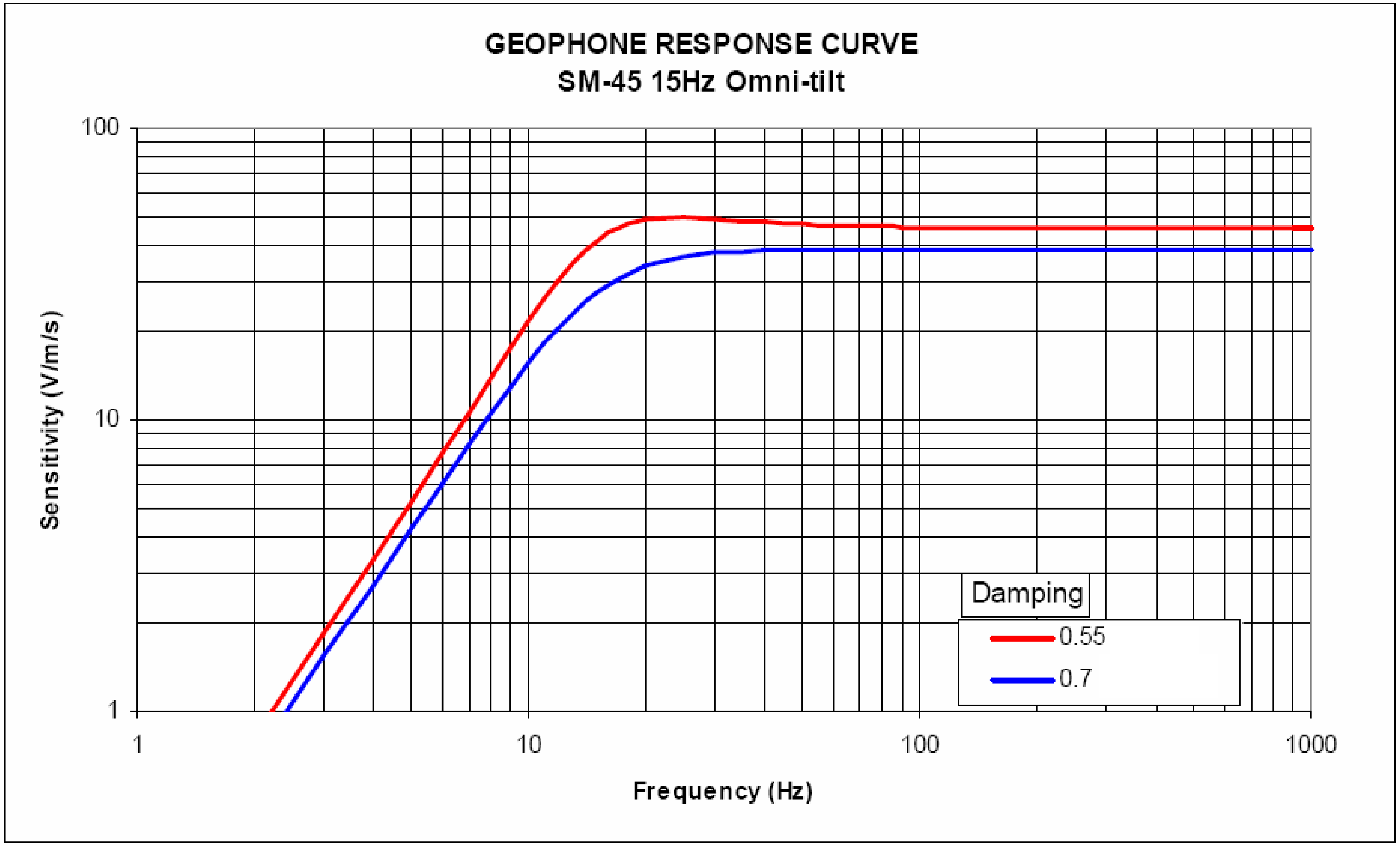


$$\frac{R_{max}}{D_{max}} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

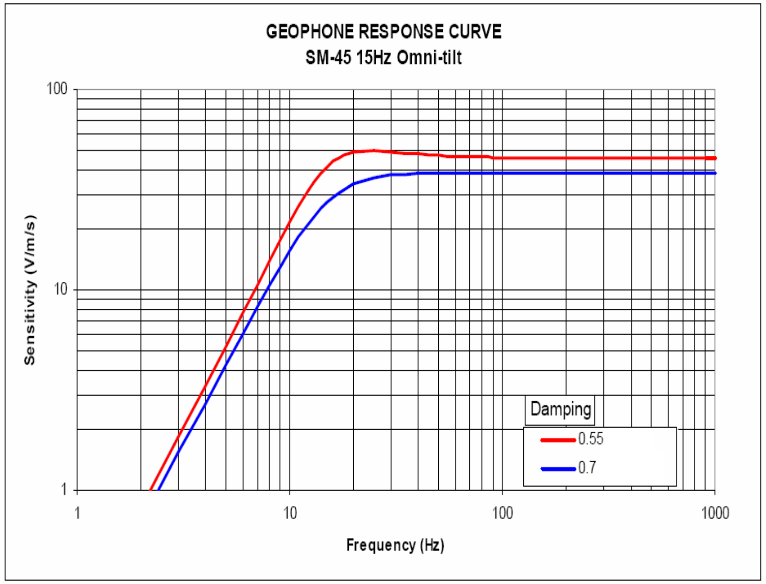
Smorzamento minimo

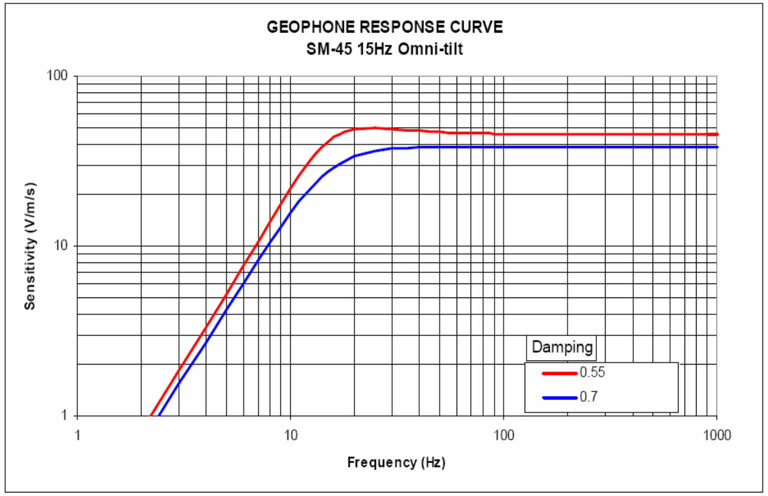
Smorzamento massimo con un movimento assoluto della massa è minimo

Curva di risposta (funzione di trasferimento) di un sensore



Di fatto il sensore si comporta come un filtro





Va notato che la riduzione di sensibilità alle frequenze inferiori alla frequenza di risonanza non implica che il sensore sia "sordo" ma solo che risponde **meno** rispetto a quanto avviene a frequenze più alte

Nel caso del rapporto di ampiezza fra due sensori (per esempio orizzontale e verticale) se la forma della curva di risposta è la stessa, il rapporto delle ampiezze alla stessa frequenza non sarà molto influenzato dai valori assoluti della risposta

Per questo motivo, in molte situazioni, siamo in grado di misurare rapporti di ampiezza spettrale o di fase molto al di sotto della frequenza di risonanza dei geofoni considerati (fino a 1/10 o meno)

Per caratterizzare dal punto di vista fisico questo insieme di fenomeni è necessario dotarsi di uno strumento concettuale che proviene dallo studio dei segnali elettrici: la **<u>Funzione di Risposta</u>**

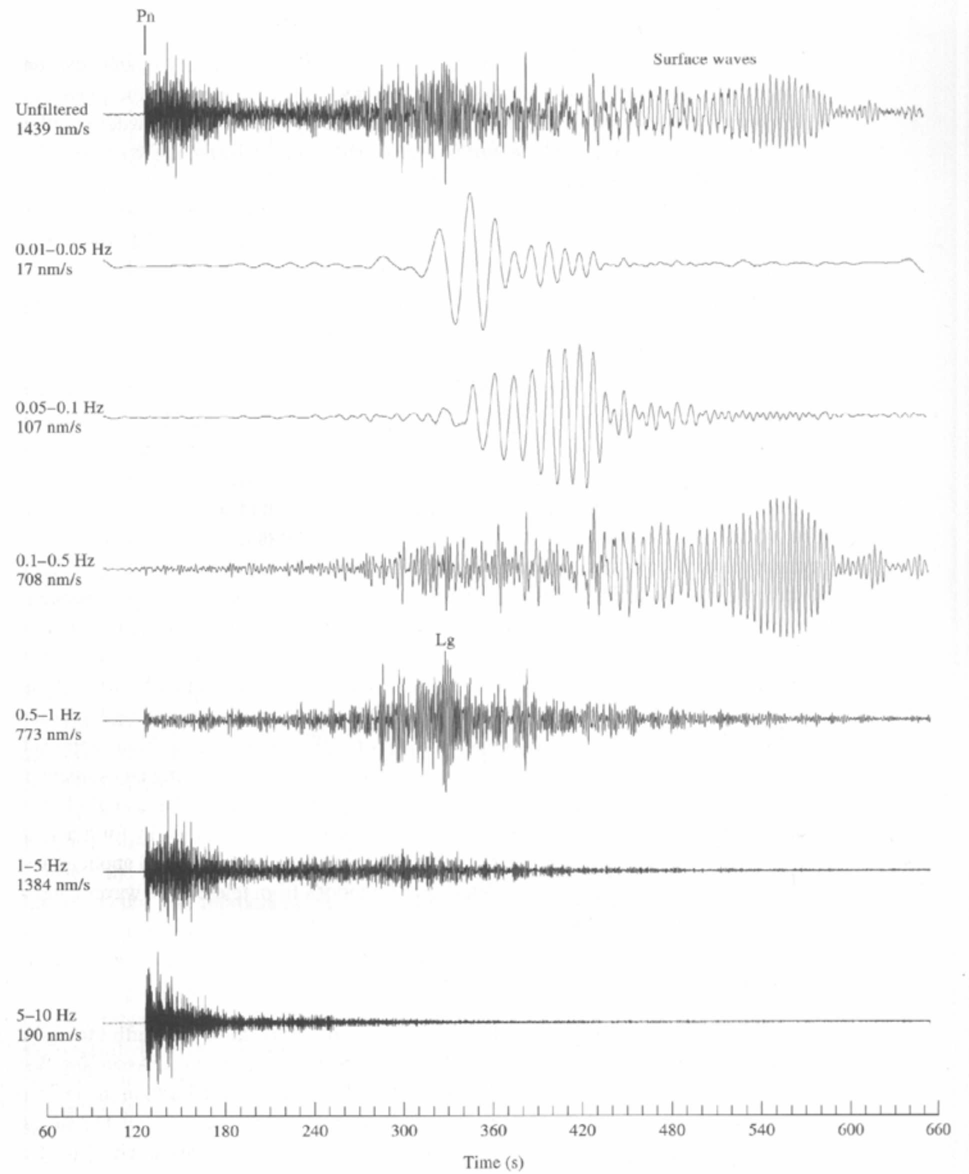
Segnale in ingresso *Segnale in uscita*

$$f(\nu,t) = f\cos(2\pi\nu t + \phi_{in})$$

$$g(\nu,t) = g\cos(2\pi\nu t + \phi_{out})$$

$$G(\nu) = \frac{\tilde{S}}{\tilde{F}}$$

Funzione di Risposta Strumentale



A causa della differente risposta strumetale, l’andamento dello scuotimento sismico appare diverso a seconda della banda di frequenza considerata

In linea di principio, conoscendo lo strumento sarebbe possibile “correggere” la registrazione e risalire al movimento effettivo del suolo

Infatti, conoscendo la funzione di risposta *G(ν)* e avendo a disposizione la registrazione *F(t)*, si potrebbe agire come segue

$$F(t) \xrightarrow{Trasformata di Fourier} \tilde{F}(\nu)$$

$$\tilde{S}(\nu) = \tilde{F}(\nu) / G(\nu)$$

$$\tilde{S}(\nu) \xrightarrow{Anti-trasformata di Fourier} S(t)$$

Questo processo è detto **deconvoluzione** del segnale registrato per rimuovere l’effetto della risposta strumentale

Il problema è che

1. *Ricostruire la funzione di risposta dello strumento non è una operazione facile, richiede infatti studi molto accurati eseguiti sul singolo strumento*

2. *Inoltre spesso al risposta cambia in funzione dell'ampiezza del segnale e questo non è facilmente modellabile*

3. *La deconvoluzione, se basata su una funzione di risposta imperfetta, distorce il segnale in modo poco controllabile*

4. *Il segnale registrato non è completo, infatti, laddove la risposta strumentale è bassa, il segnale non è stato registrato e quindi non può essere recuperato*

Inoltre il segnale è affetto dai problemi di campionamento dovuti all’suo di strumenti digitali

L’acquisitore

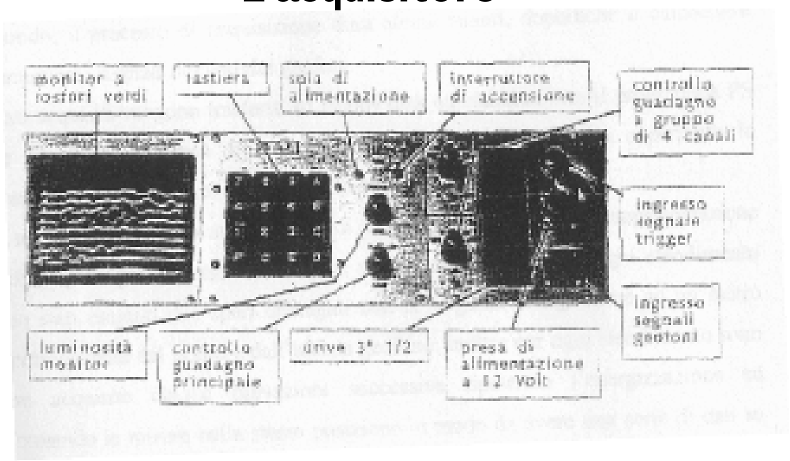


Figura 5.38 *Strumento d'acquisizione di dati sismici PS-8; descrizione dei comandi principali.*

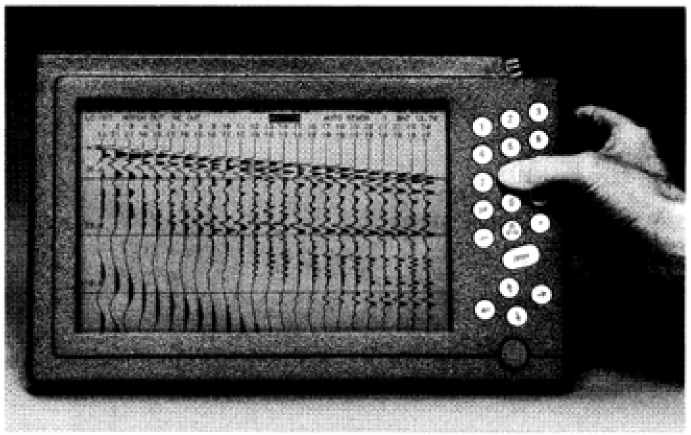


Figure 2-36 Photograph of display on seismic unit. Horizontal lines are timing lines. Each vertical trace represents one geophone's response after amplification and filtering.

L’Aliasing

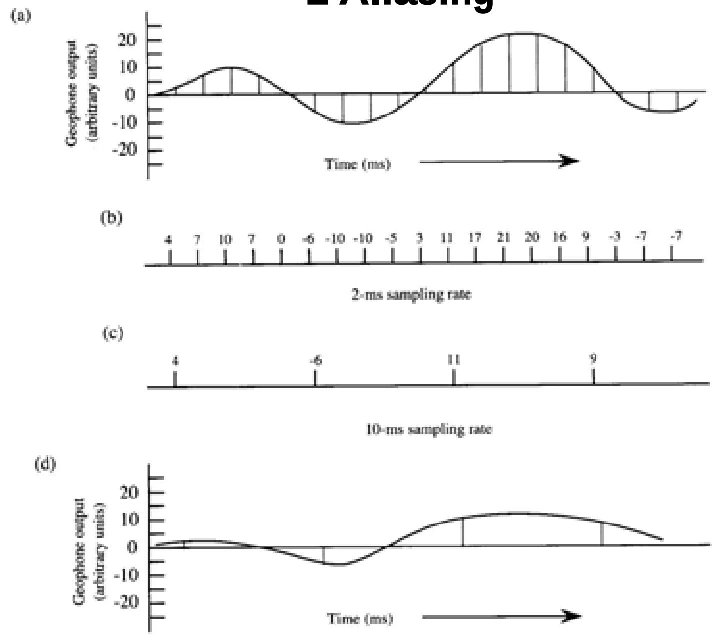


Figure 2-35 (a) Analog output of geophone (arbitrary units). (b) Digital representation of geophone response in (a) taken at 2-ms intervals. (c) Digital representation of same waveform at 10-ms sampling interval. (d) Reconstruction of waveform from data in (c) illustrates effect of inadequate sampling rate.

Un aspetto importante è la discretizzazione nel tempo del segnale (aliasing)

I parametri d'acquisizione

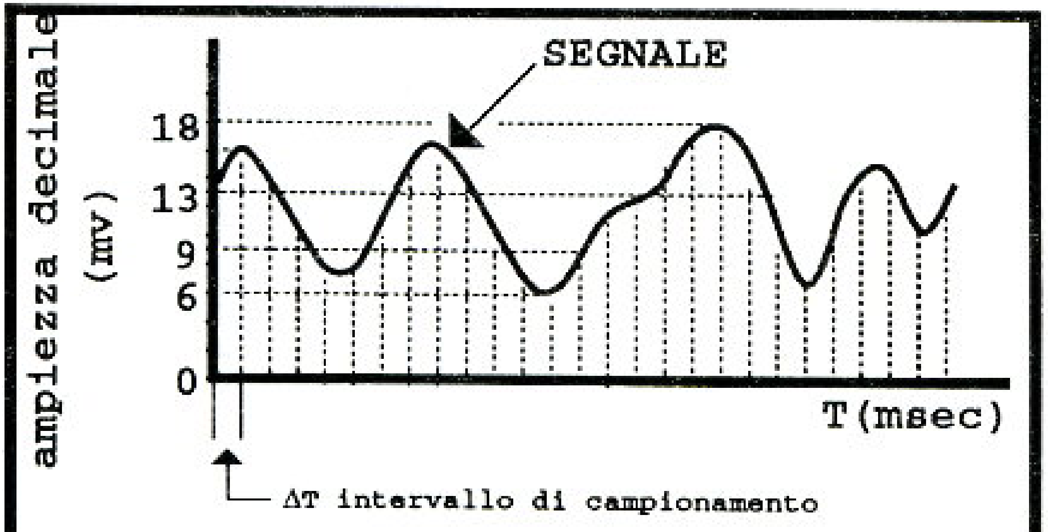
Frequenza di campionamento (fc): viene scelta in modo da evitare il fenomeno dell'Aliasing alle frequenze di interesse (p.es. con 500Hz la frq. di Nyquist (la minima visibile) è 250Hz, ben al di sopra dell'intervallo di freqenza a cui solitamente si lavora in sismica passiva [0.5-10Hz])

Dalla f_c dipendono anche gli altri parametri di registrazione:
-intervallo di campionamento $dt = 1/f_c$;
-durata della registrazione $T = dt \bullet N$ (num.max di campioni);
-risoluzione spettrale $df = 1/T$.
-frequenza minima campionata $f_{Nyquist} = f_c/2 = 1/(2 \bullet dt)$

Un altro aspetto chiave è la digitalizzazione in ampiezza del segnale

Questo riduce la **risoluzione** in ampiezza e l’intervallo di misura dello strumento (**la sua dinamica**)

8 bit (otto cifre binarie) permettono una scala di 256 valori



ampiezza decimale	AMPIEZZA BINARIA								
	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	1
13	0	0	0	0	0	1	1	0	1
18	0	0	0	0	1	0	0	1	0

La dinamica degli strumenti si misura in decibel

Un **Bel** (B) equivale ad un aumento di un fattore 10 nella **Potenza del segnale**

1 **Decibel** (dB) equivale ad un decimo di Bel

Date due Potenze P_1 e P_2 (per esempio quelle in ingresso ed uscita di uno strumento un segnale rispetto ad una valore standard), il guadagno **g** in potenza espresso in deciBel è dato dalla relazione

$$g(P) = 10\log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Dato che la potenza è pari al quadrato dell'ampiezza A del segnale, lo stesso guadagno in ampiezza sarà dato dalla relazione

$$g(A) = 20\log_{10}\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

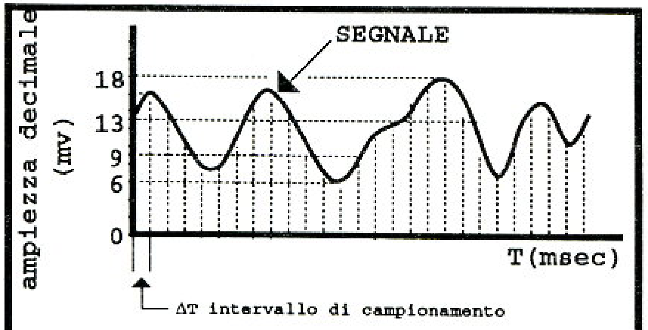
Digitalizzazione del segnale

La qualità della digitalizzazione è determinata da

1) l'intervallo di valori quantificabile (dinamica dello strumento dalla potenza P_{min} alla potenza P_{max}) che si misura in Decibel (dB)

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_{max}}{P_{min}}$$

2) dal numero di valori (bit) che è possibile distinguere Un buon apparato ha almeno 18 bit o (meglio) 24 bit



ampiezza decimale	AMPIEZZA BINARIA								
	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	1
13	0	0	0	0	0	1	1	0	1
18	0	0	0	0	1	0	0	1	0