

Angular resampling and Order Tracking

Campionamento in base angolo

- ❑ Supponiamo di considerare un macchinario rotante e di misurarne le vibrazioni.
- ❑ Data la natura del sistema, le vibrazioni avranno frequenza pari a multipli (e/o sottomultipli) della frequenza di rotazione.
- ❑ Esempio:
 - Macchina rotante a $n = 1200$ rpm
 - Frequenza di rot. = $n/60 = 20$ Hz
 - Nel segnale di vibrazione saranno presenti componenti pari a multipli della frequenza di rotazione 20 Hz

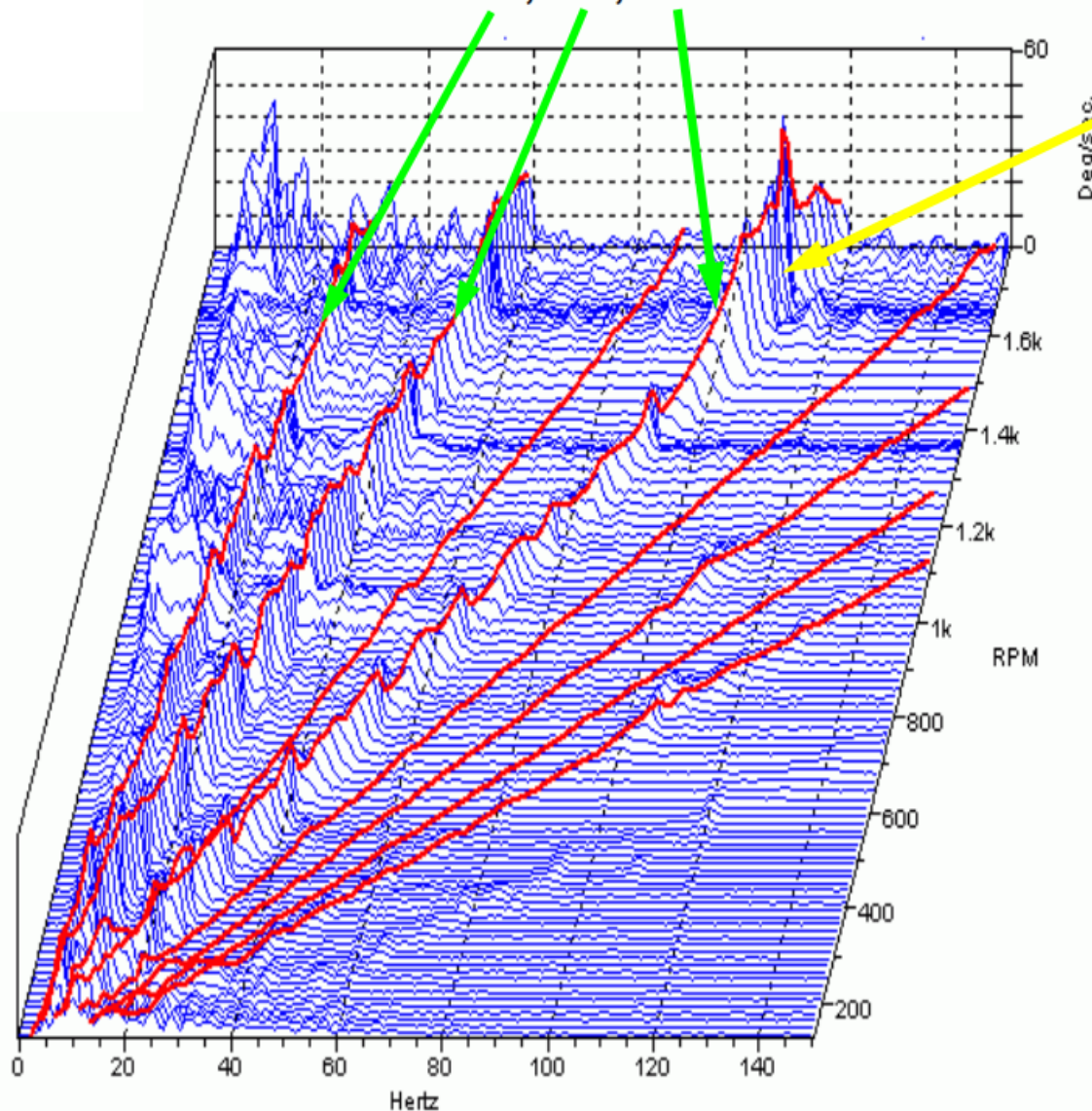
- ❑ Questi multipli sono detti **ORDINI** (in termini musicali **ARMONICHE**) della frequenza di rotazione (primo ORDINE o prima ARMONICA di rotazione).

$$f_{Hz} = \frac{f_{RPM}}{60} ORD$$

- ❑ Gli ordini di rotazione non cambiano al variare della velocità di rotazione.
- ❑ Nelle macchine rotanti si riescono a distinguere le componenti dell'eccitazione dalle risonanze.

Campionamento in base angolo

- ❑ Esempio: vibrazioni misurate su un motore elettrico a 4 poli.
- ❑ Eccitazione a 1x, 2x, 4x ordine di rotazione. Risonanza a 106 Hz.



$$f_{Hz} = \frac{f_{RPM}}{60} \text{ ORD}$$

- ❑ Invece di campionare ad intervalli di tempo regolari, si deve campionare ad intervalli regolari della rotazione:
 - **campionamento SINCRO** con la velocità di rotazione.

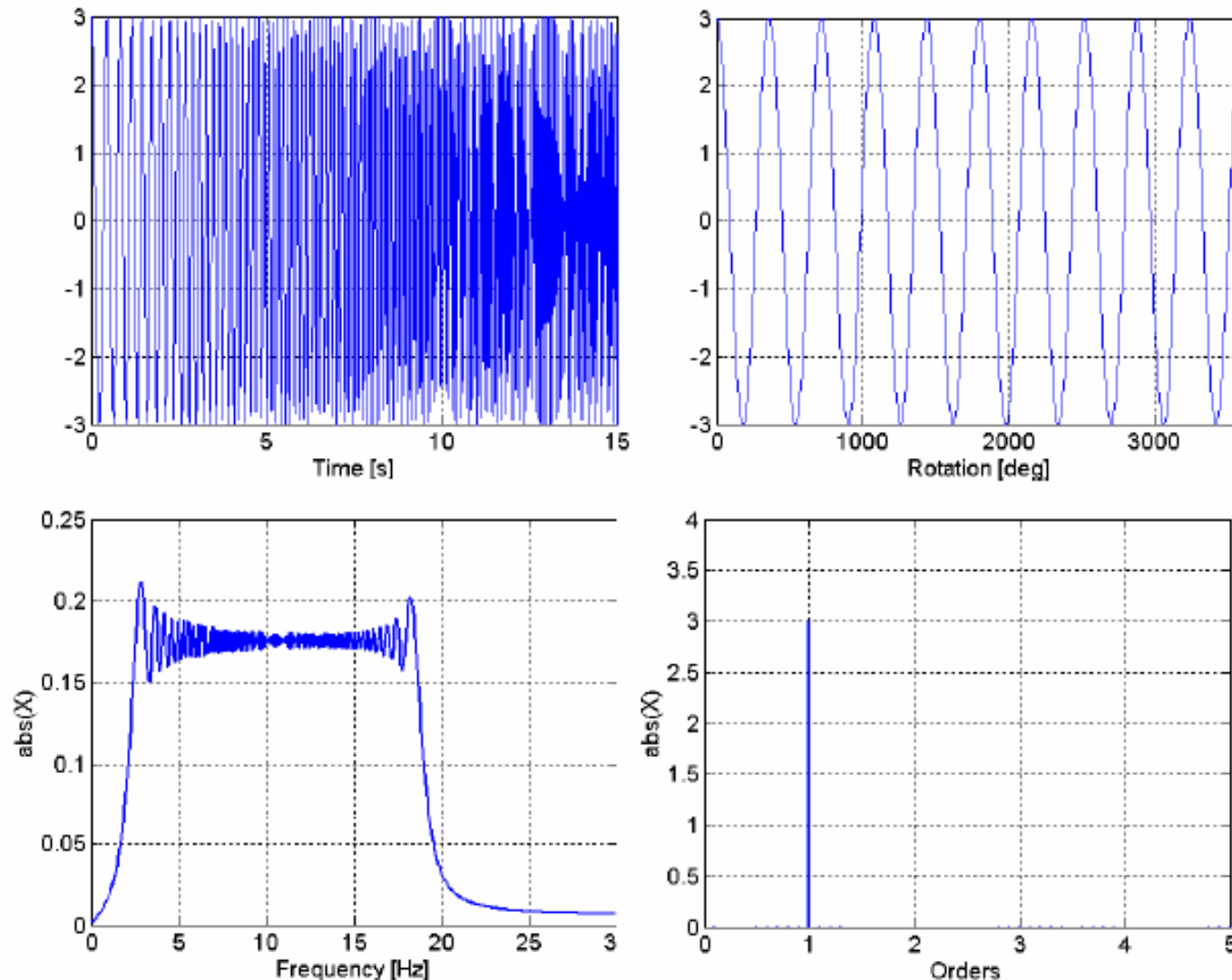
Campionamento in base angolo

ESEMPIO

Segnale di vibrazione rilevato su organo rotante con velocità di rotazione variabile.

Il segnale ha la frequenza pari a quella di rotazione (1° ordine di rotazione).

Dopo il ricampionamento il segnale si rivela essere un'onda sinusoidale con frequenza pari al 1° ordine di rotazione.



La frequenza è variabile, ma è sempre alla frequenza di rotazione (ordine 1)

Campionamento in base angolo

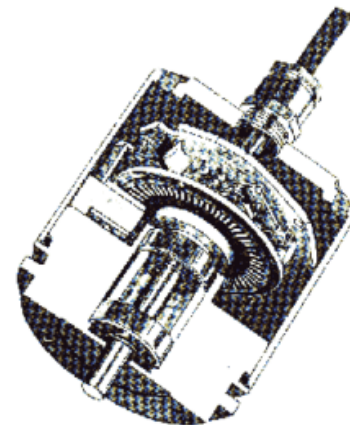
- ❑ Si passa dal campionamento in “**base tempo**” al campionamento in “**base angolo**” (campionamento sincrono con la rotazione).

Come?

- ❑ Supponiamo di avere un **encoder con P tacche** calettato su un albero del macchinario rotante.
- ❑ Invece di campionare il segnale di vibrazione in base al clock del convertitore A/D (campionamento in base tempo) ne guidiamo il campionamento con il segnale digitale dell'encoder (campionamento in base angolo).

- ❑ Si ottengono P campioni del segnale per ogni rotazione dell'albero corrispondenti ad intervalli angolari regolari.

- ❑ Se operiamo una **Trasformata di Fourier** del segnale così campionato, otteniamo una funzione degli **ordini di rotazione** e non della frequenza in Hz.



- ❑ E' poi possibile passare dagli ordini alla frequenza in Hz con:

$$f_{Hz} = \frac{f_{RPM}}{60} ORD$$

Campionamento in base angolo



Incremental Encoder



Optel-Thevon optical probes

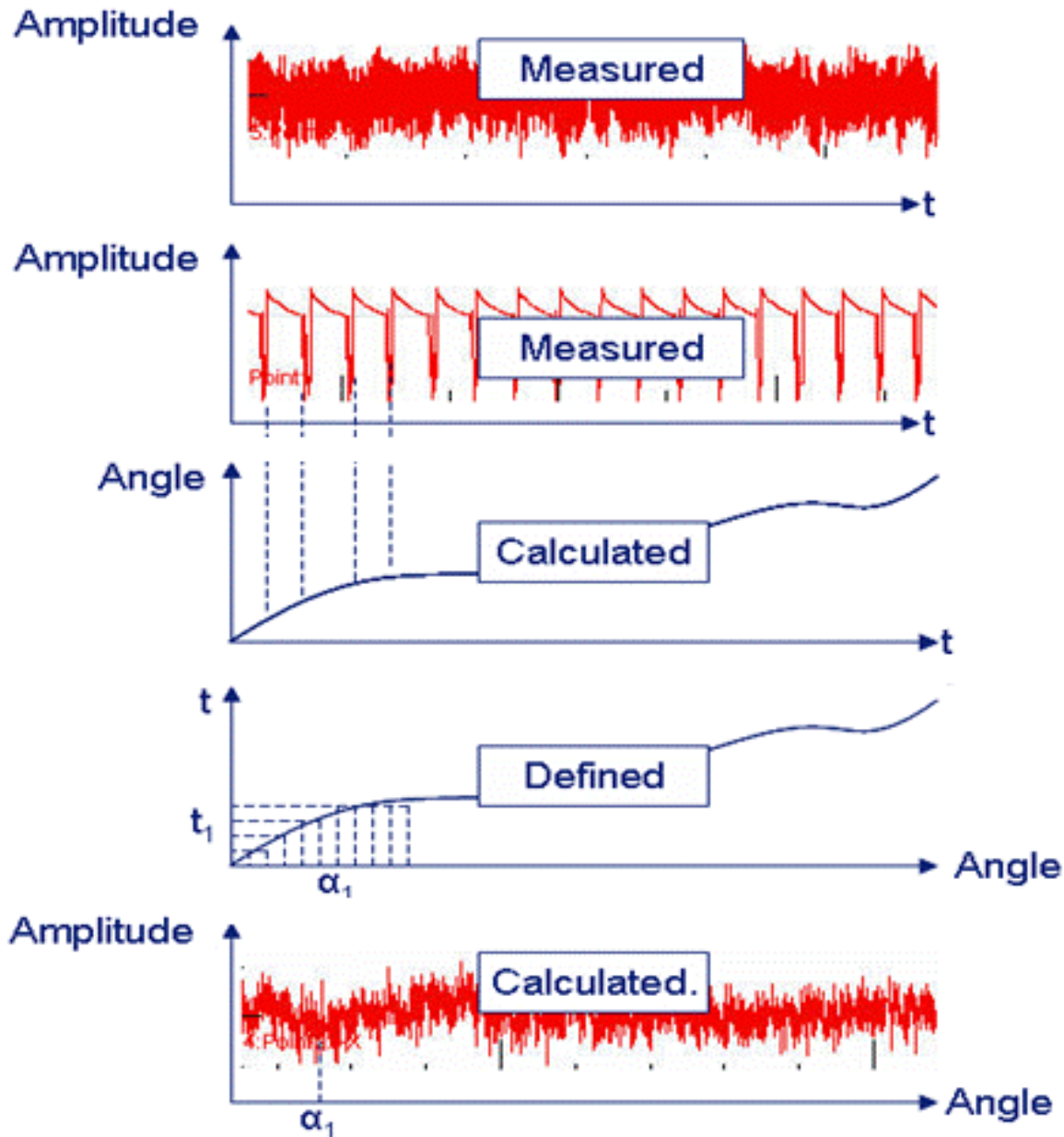


Magnetic



Torsional Laser

Campionamento in base angolo



1. Equidistant sampling in the time domain

2. Measure Tacho-pulses accurately

3. Calculate Angle-Time relationship

4. Define desired angle moments on Angle-Time trace

5. Adaptive resample towards defined angle moments

Campionamento in base angolo

Nel campionamento sincrono le acquisizioni per giro dell'albero (M) sono costanti, quindi la frequenza di campionamento deve variare con la velocità di rotazione in Hz

$$f_s = M \cdot f_r \text{ [Hz]}$$

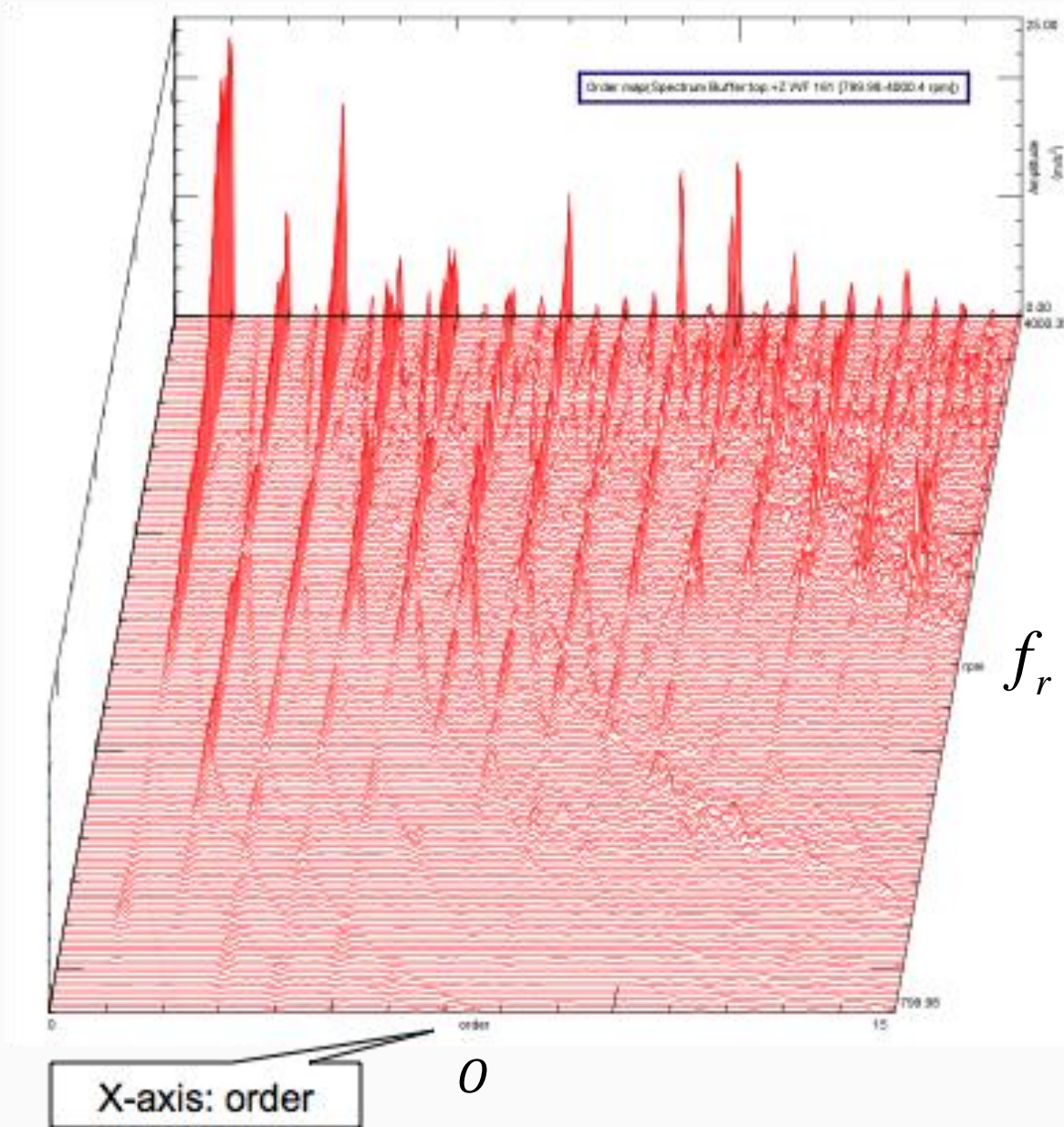
Allora la frequenza massima misurabile è:

$$f_{max} = \frac{f_s}{2} = \frac{M}{2} \cdot f_r \text{ [Hz]}$$

Dalla definizione di ordine si sa che:

$$O = \frac{f}{f_r} \Rightarrow O_{max} = \frac{M}{2}$$

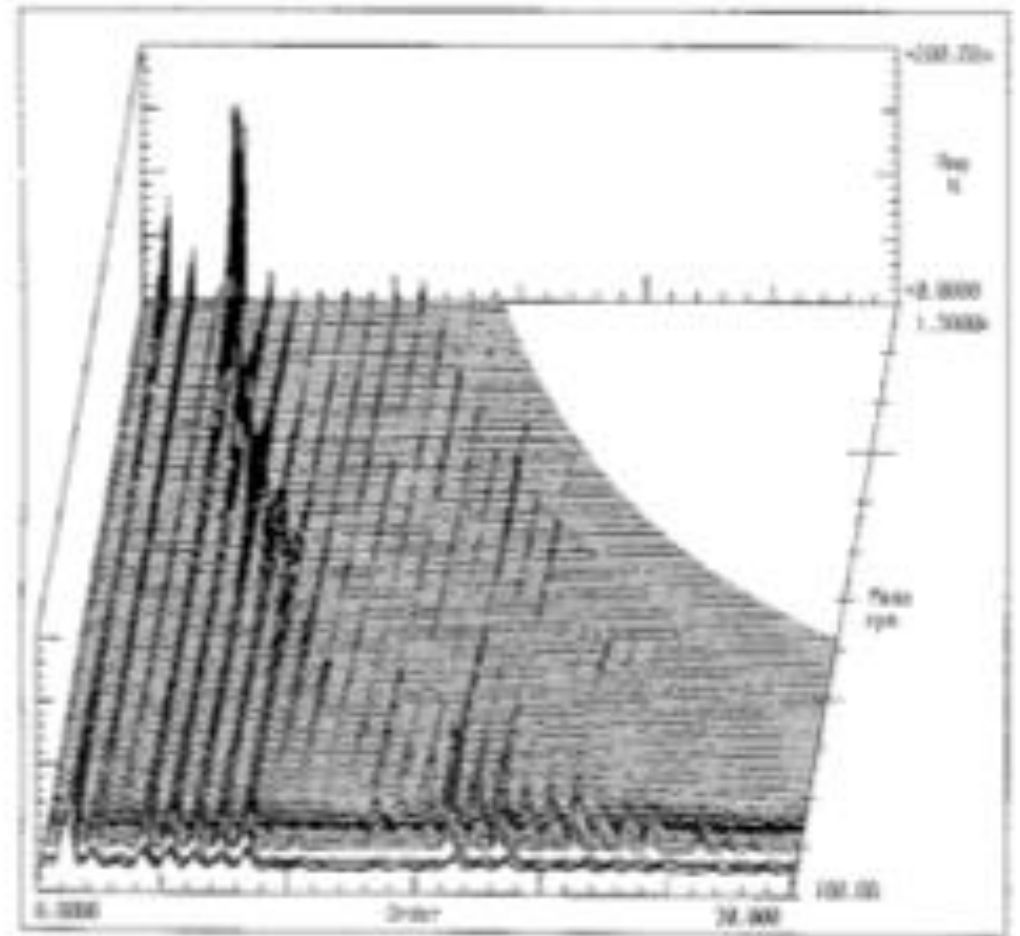
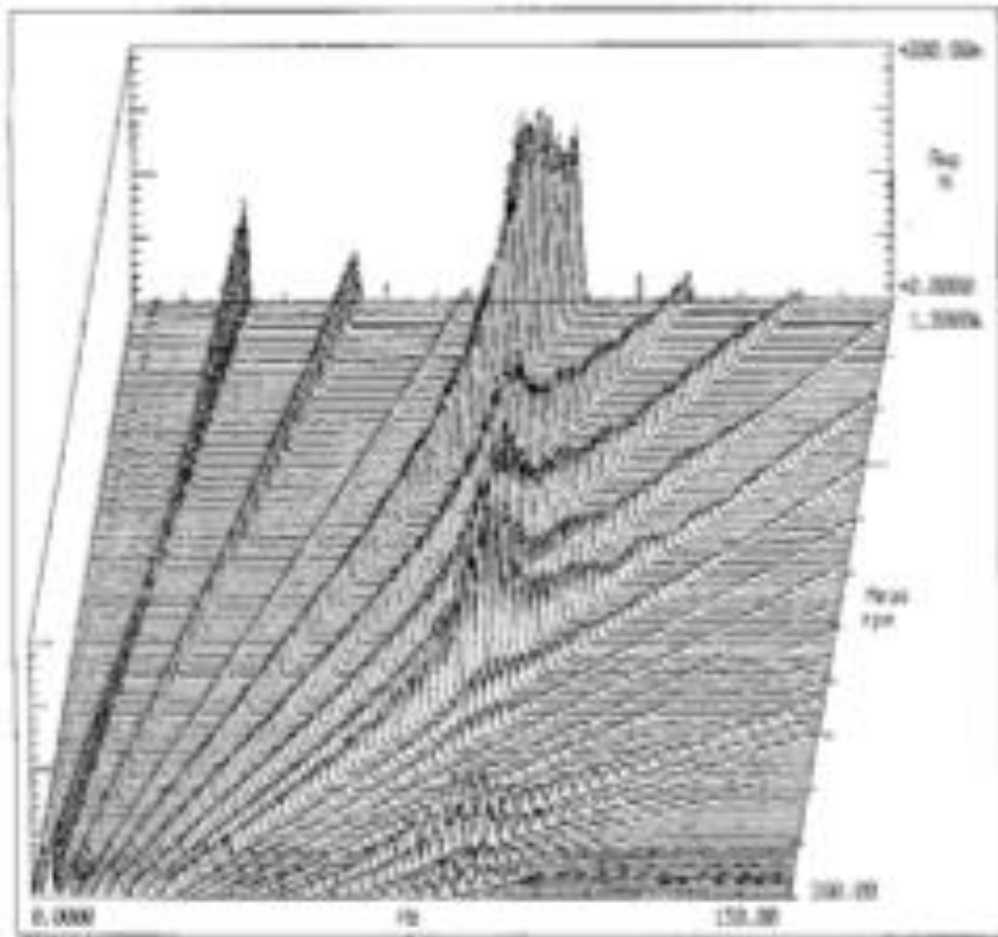
Campionamento in base angolo



$$O * f_r = f$$

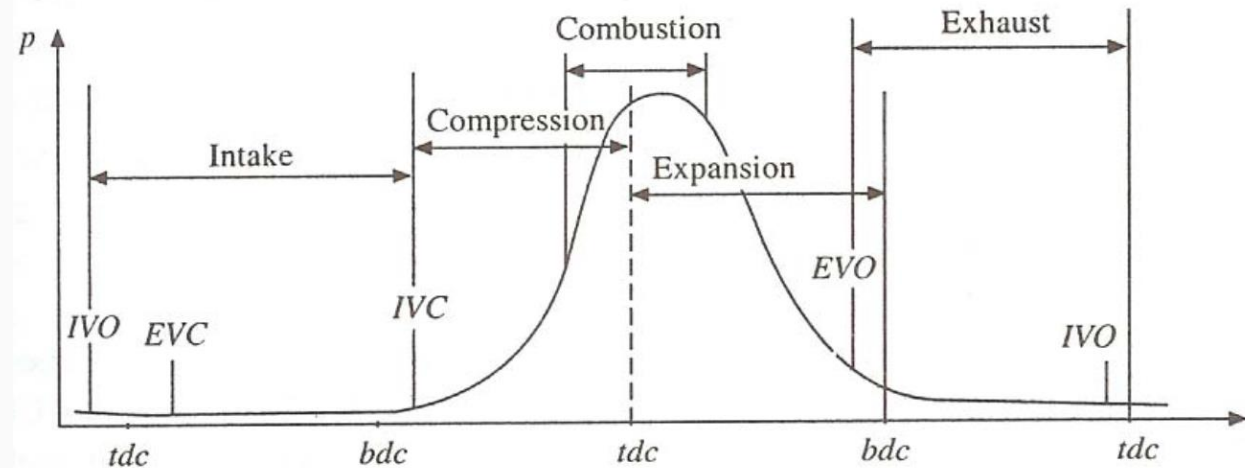
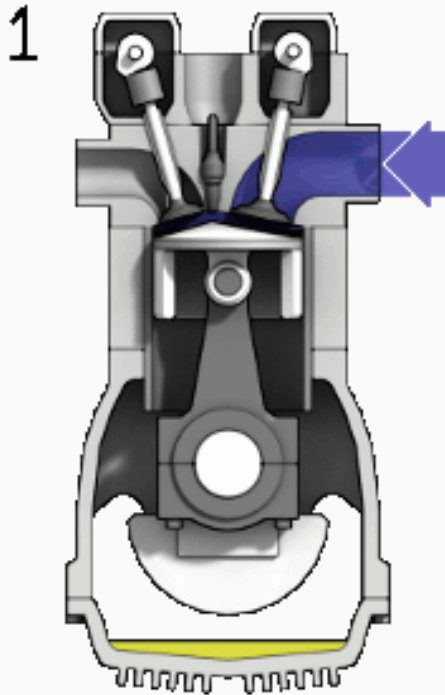
Iperbole
 $X*Y=cost$

Campionamento in base angolo



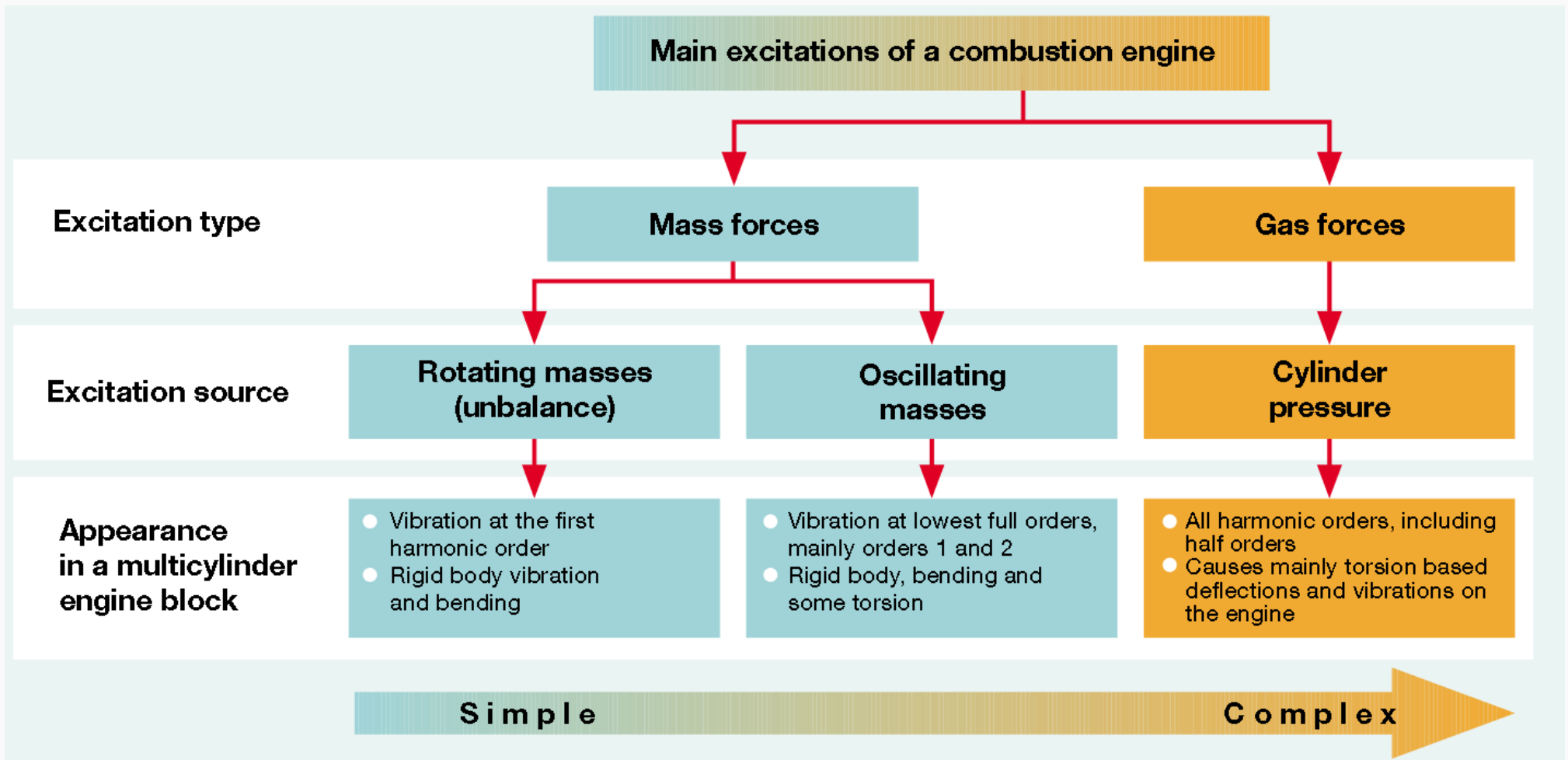
Internal Combustion Engine Vibrations

Engine vibrations



Engine produces the vibratory forces due to the unbalanced forces from the engine parts during the operation. The vibration caused by the engine at the supports is torsional vibration and the longitudinal vibration. The torsional vibration is caused at the crankshaft due to the fluctuating engine combustion pressures and engine loads. The longitudinal vibrations are caused at the block and the mounts by the reciprocating and rotating parts of the engine.

Engine vibrations



Engine vibrations

Typically, the main sources of excitation that are likely to be observable from the vibration signal are associated with the following mechanisms:

- rocking and twisting of the engine block on its supports, due to the action of inertial forces,
- impacts due to clearances at links, those at the crankshaft bearings and the so-called piston slap being extremely noisy,
- closures and openings of valves,
- high-pressure injection of fuel in diesel engines,
- rapid rising of gas pressure in the cylinders during the combustion, especially in diesel engines where it has been compared with a hammer blow.

Engine vibrations

Events diagram of 4-stroke 4-cylinder diesel engine

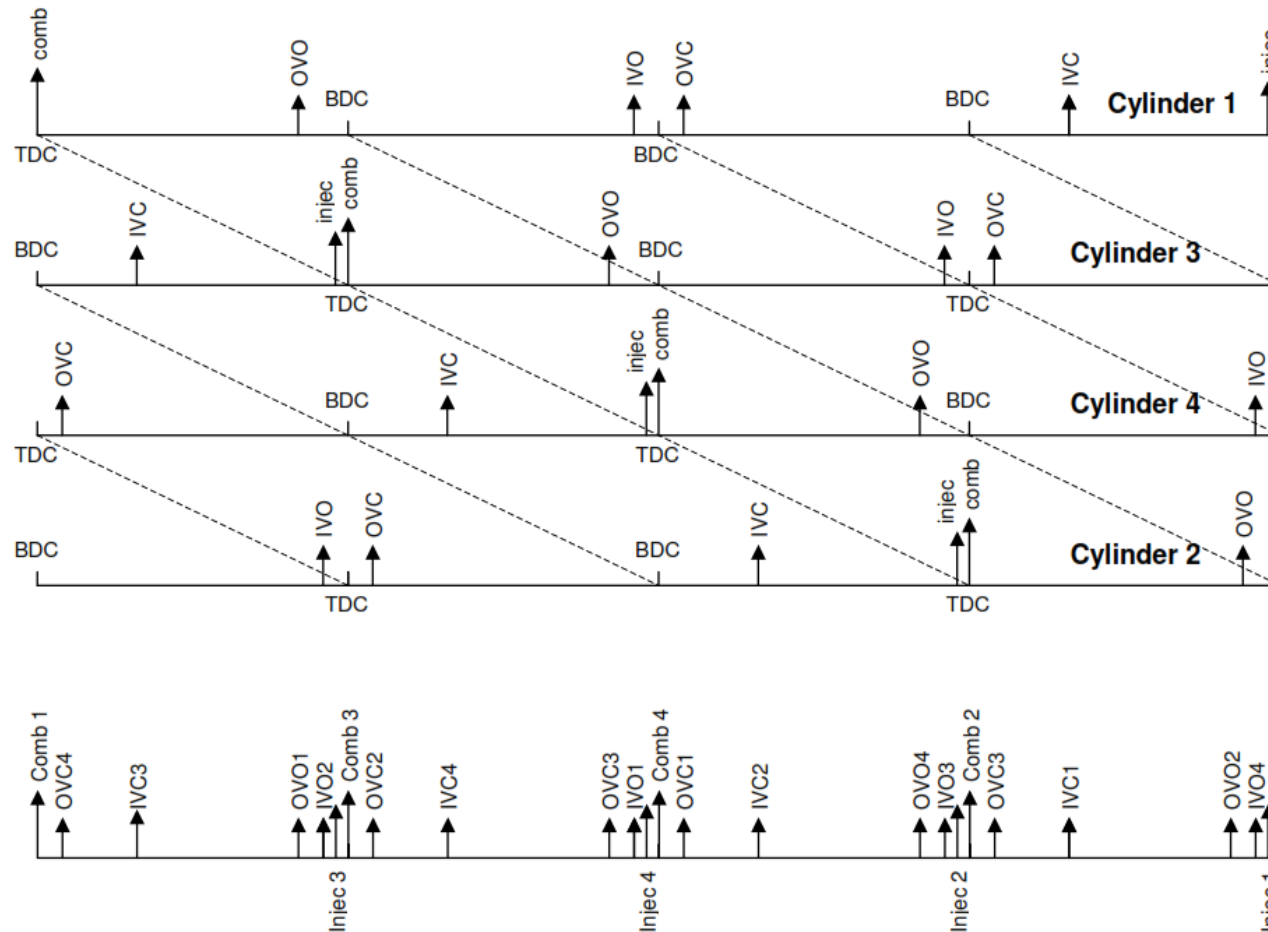
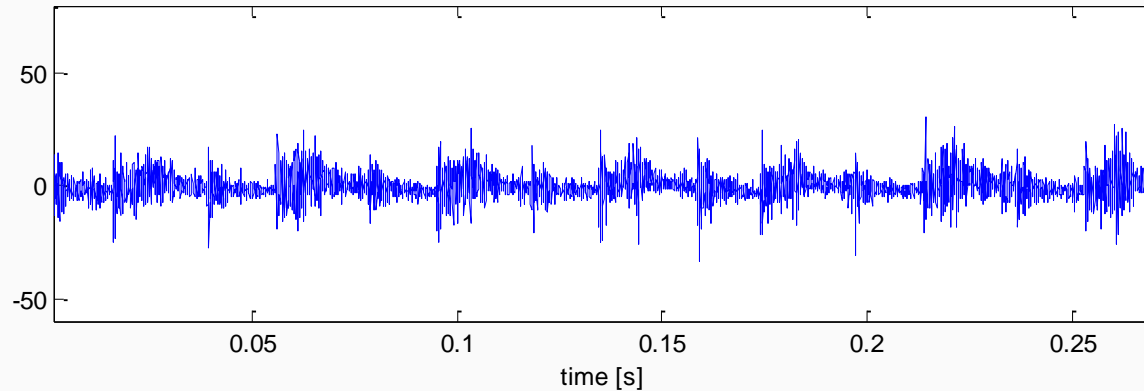


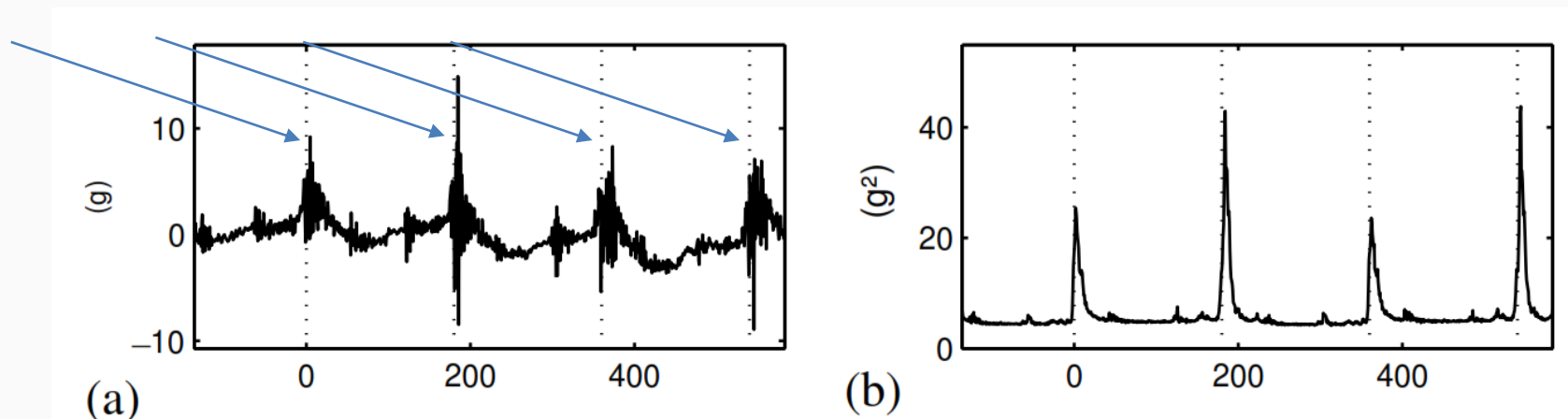
Figure 1. Theoretical occurrences of input valve opening (IVO) and closure (IVC), output valve opening (OVO) and closure (OVC), combustion and injection in each cylinder. TDC and BDC stand for top dead center and bottom dead center. The bottom diagram shows the superposition of all events within one engine cycle.

Engine vibrations

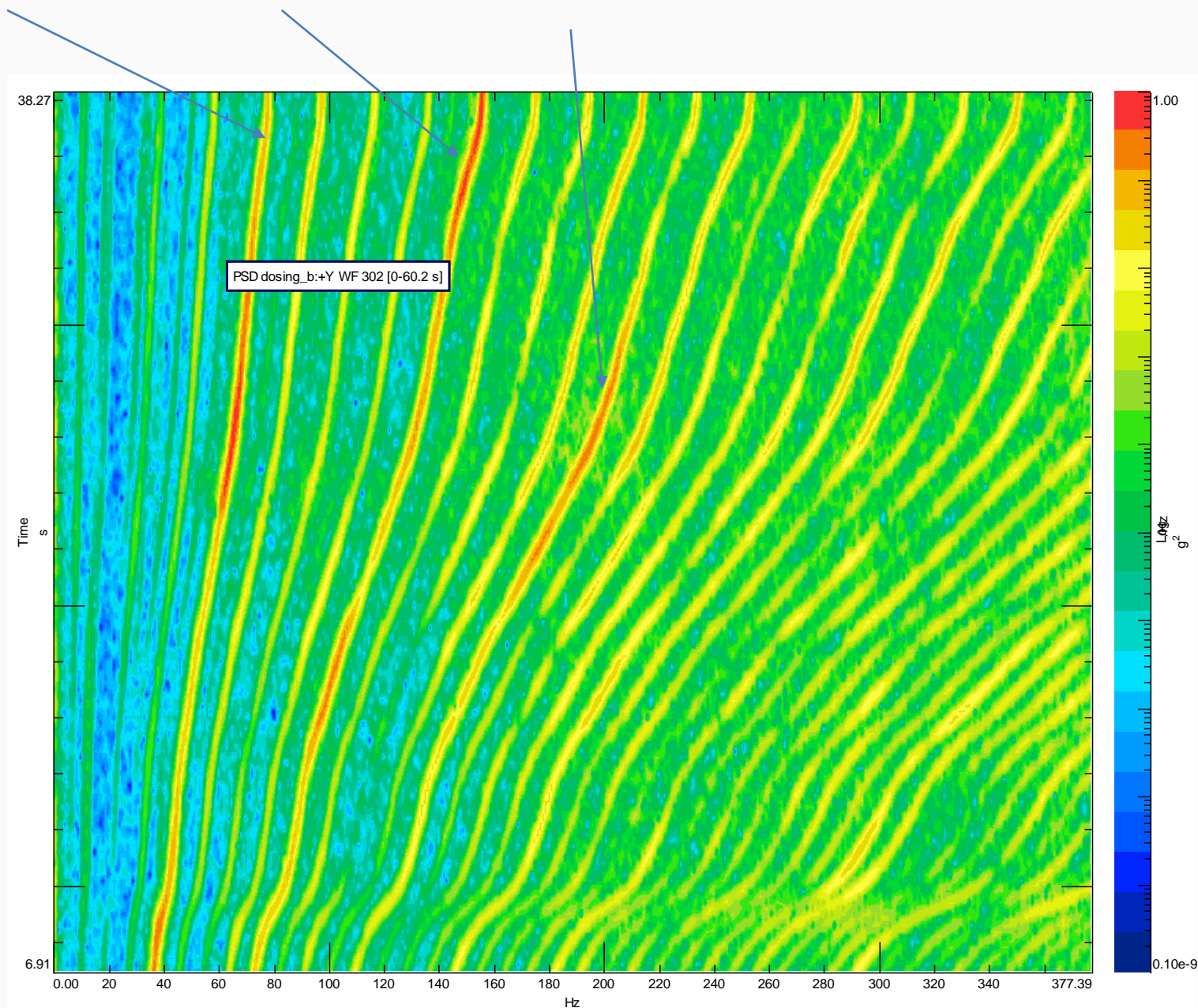
Time Signal on the engine block



The largest impulsive events in the cycle are due to combustion and are biggest for combustion in one cylinder because the accelerometer happens to be closest to that cylinder.

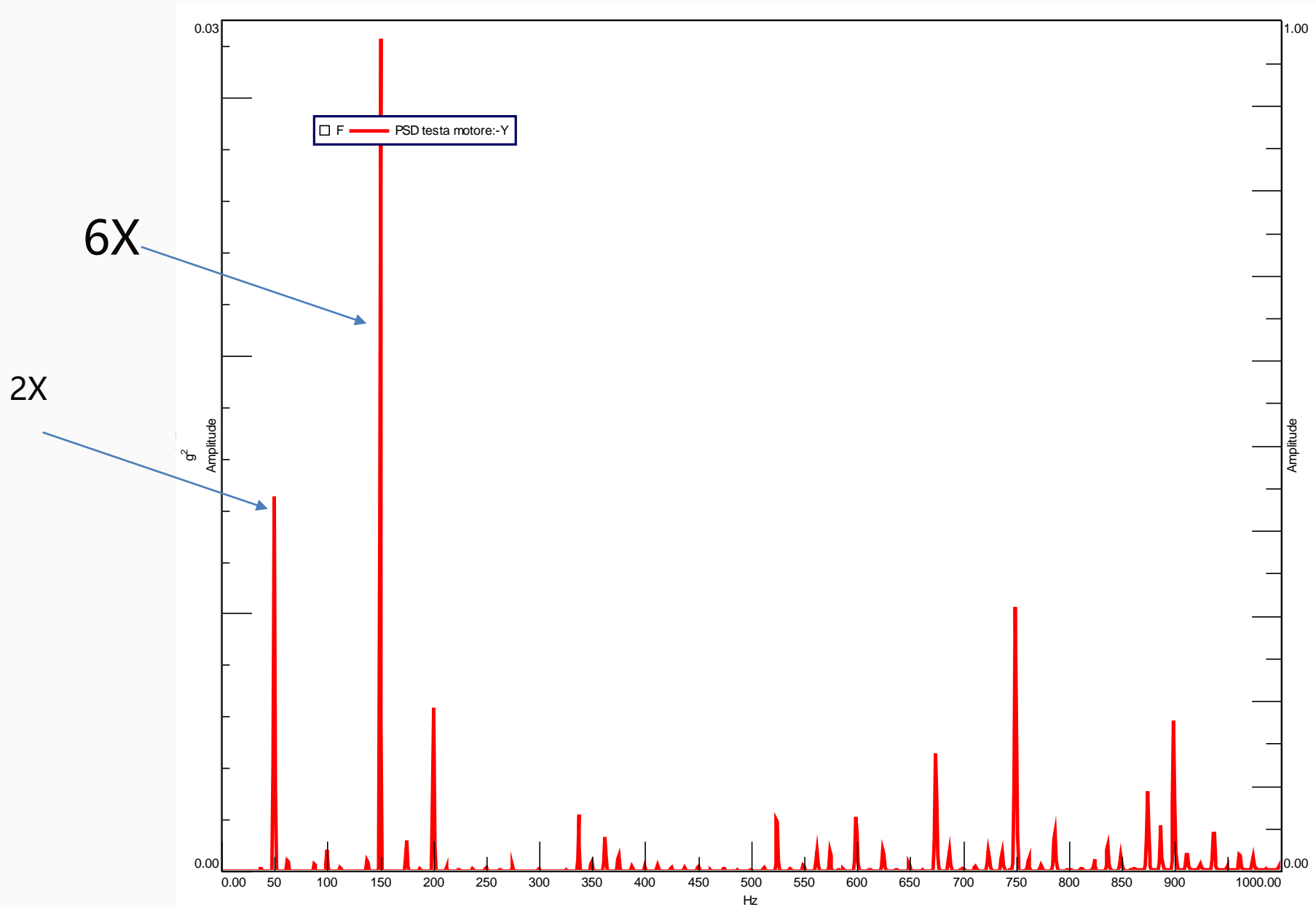


4-cilindri 4-tempi (rampa 0-1000rpm)

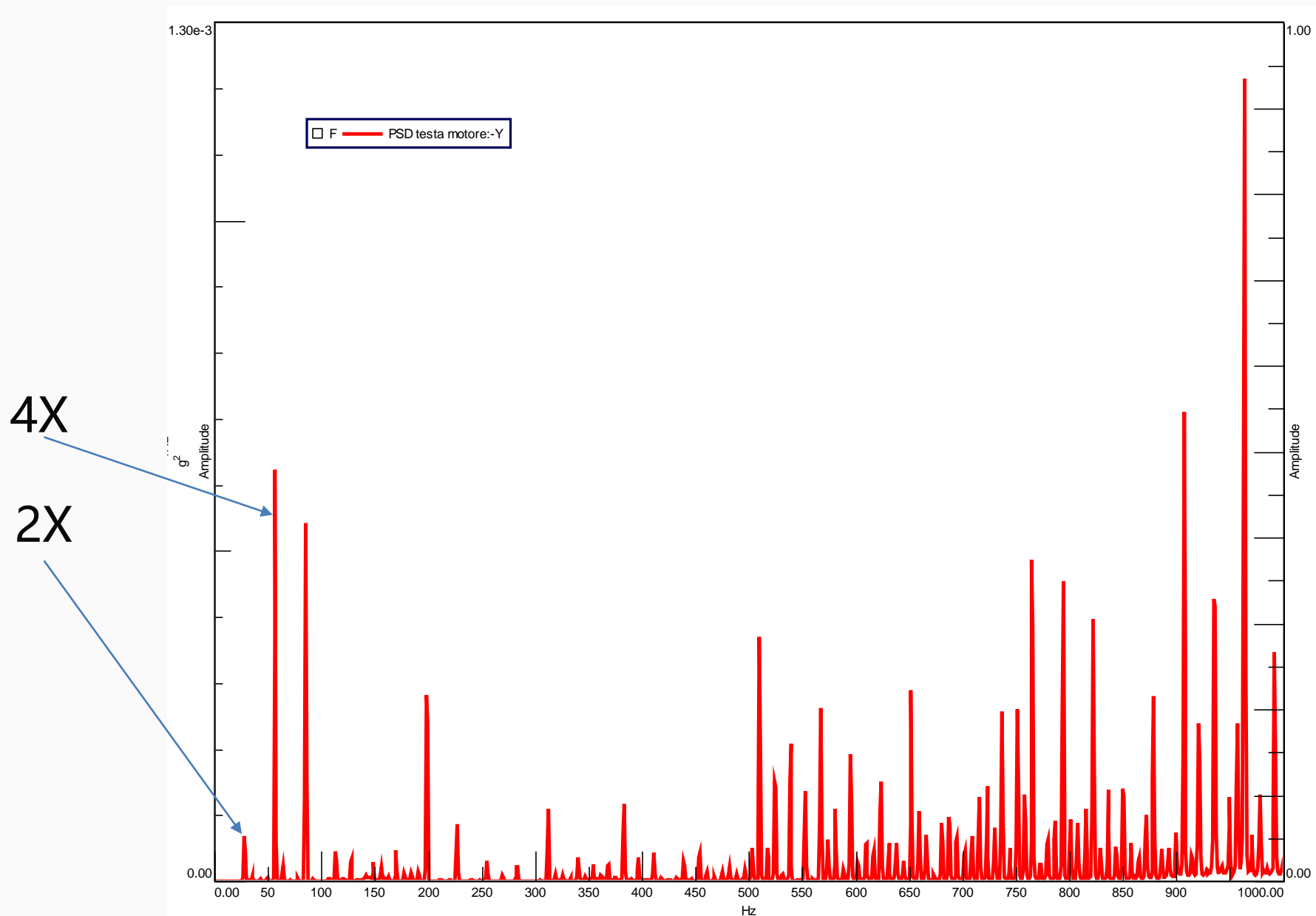


Ordini principali
2,4,6
Presenti anche i
mezzi ordini

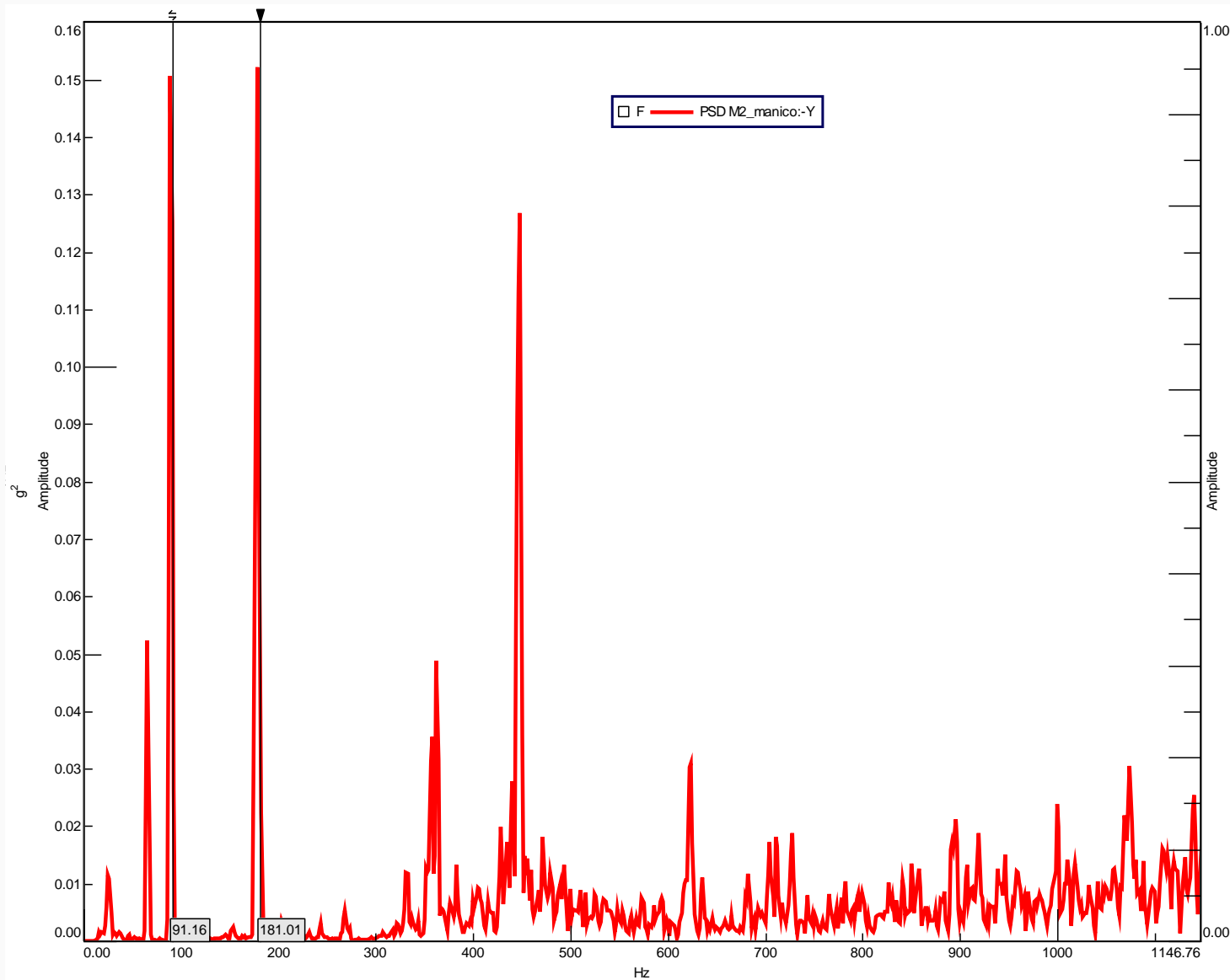
PSD – 4-stroke 4-cylinder (25Hz)



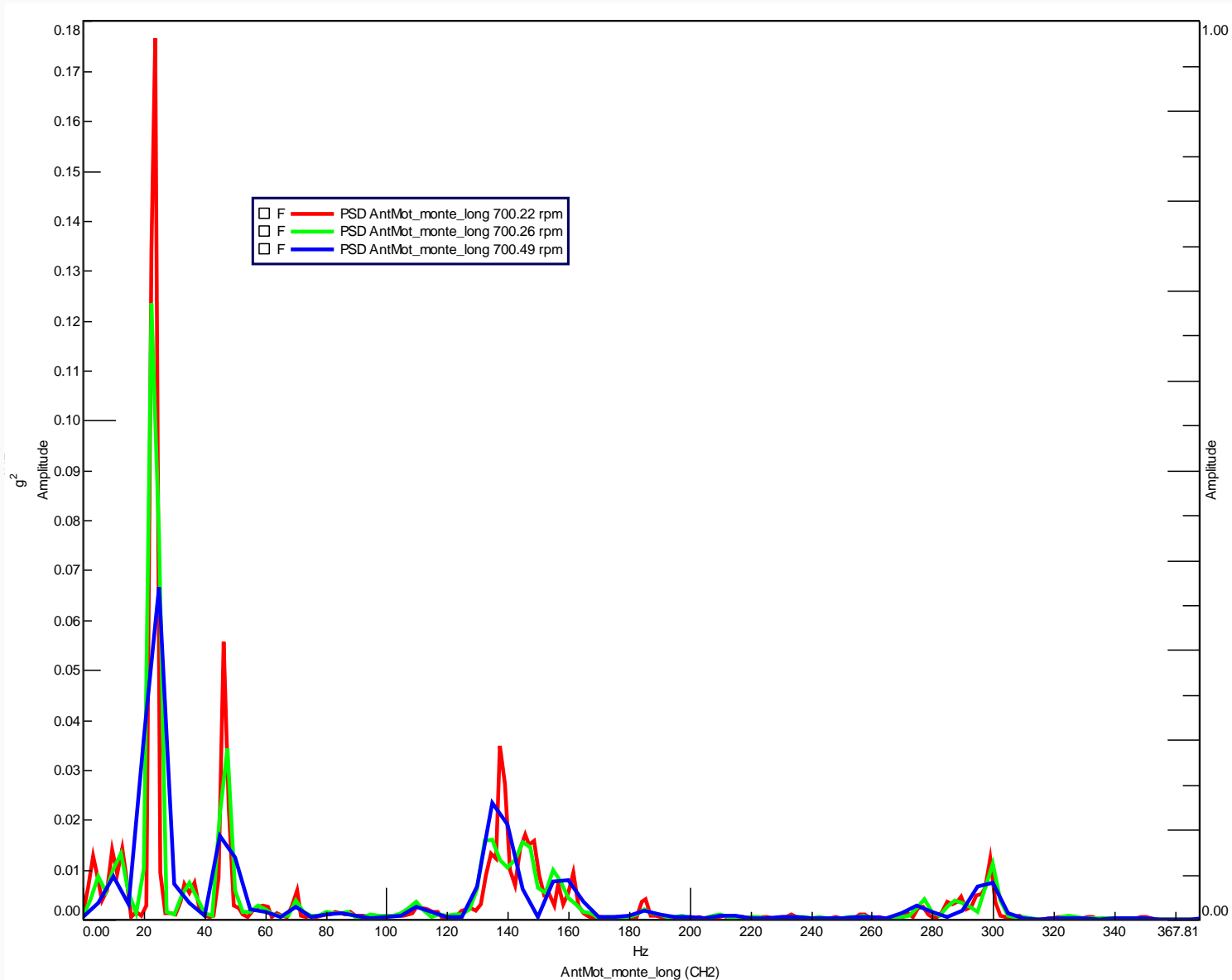
PSD – 4-stroke 4-cylinder (14.1667Hz)



PSD – Motore monocilindrico 2 tempi (92 Hz)



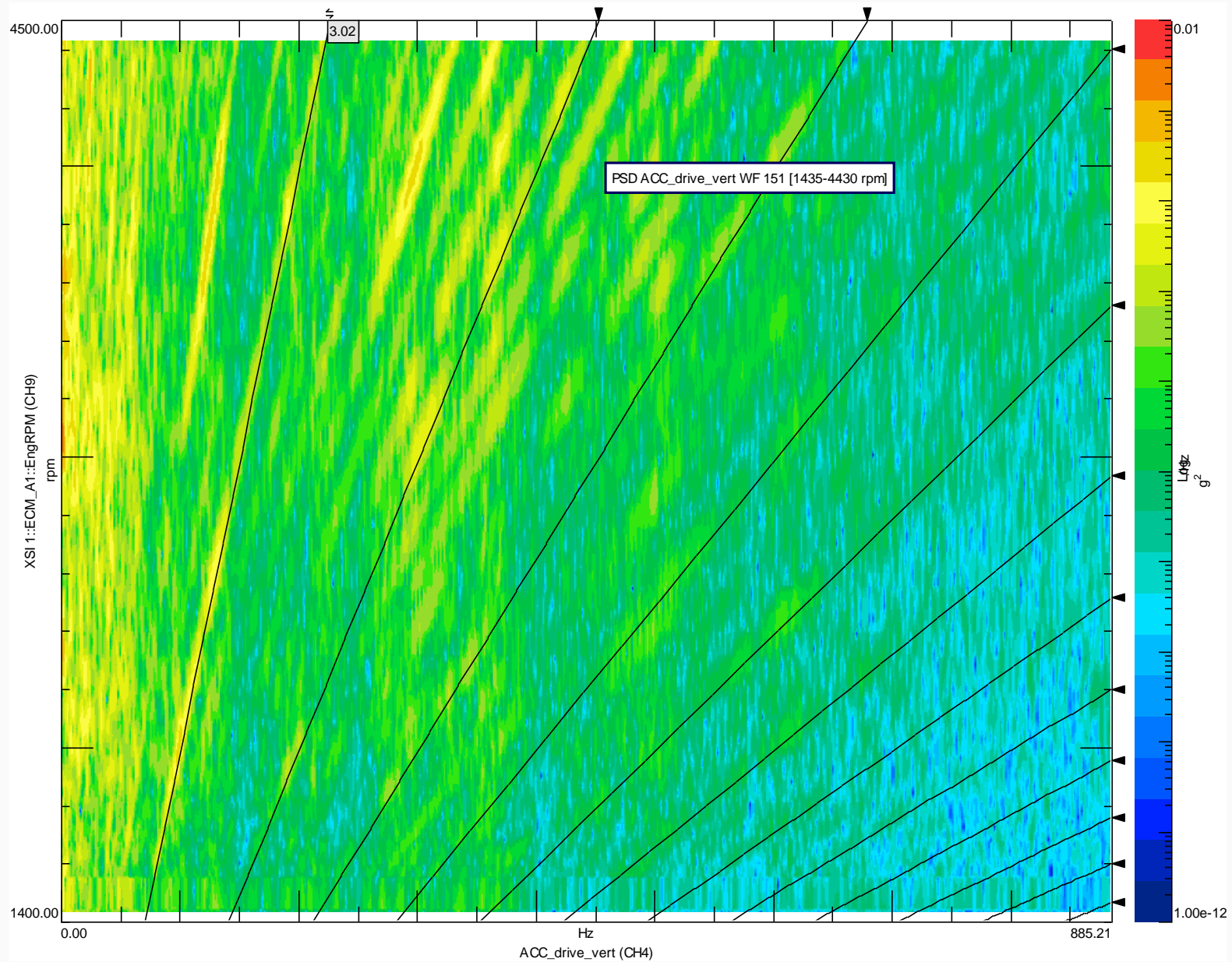
Motore diesel 4 cilindri 4 tempi



risoluzione
1.6Hz (rosso);
2.5Hz(verde);
5Hz(blu).

Il valore della
PSD dipende
dalla risoluzione!

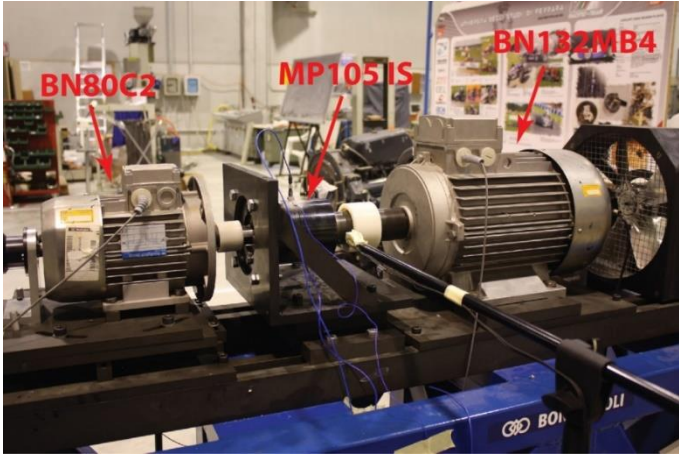
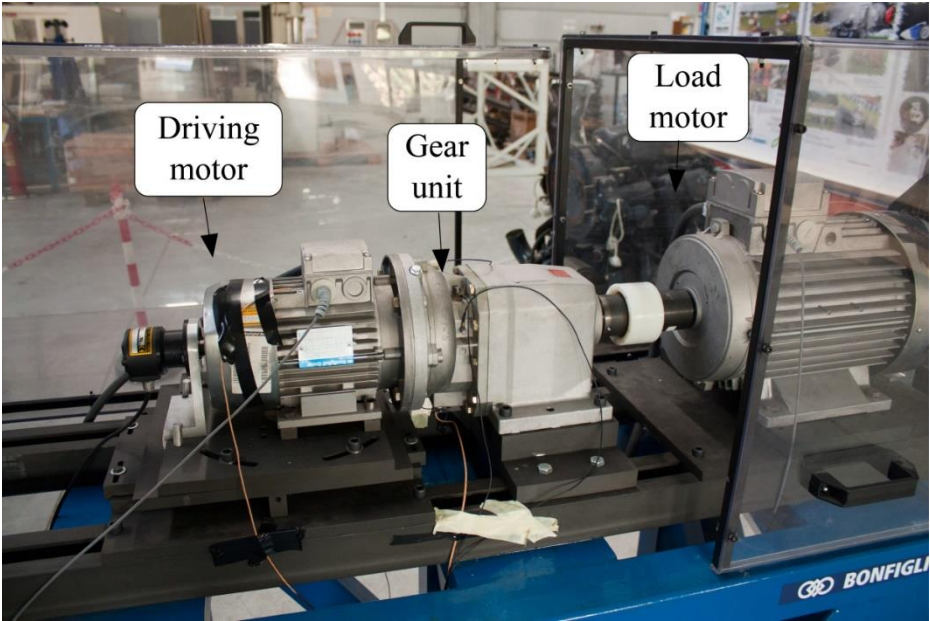
6-cilindri 4-tempi



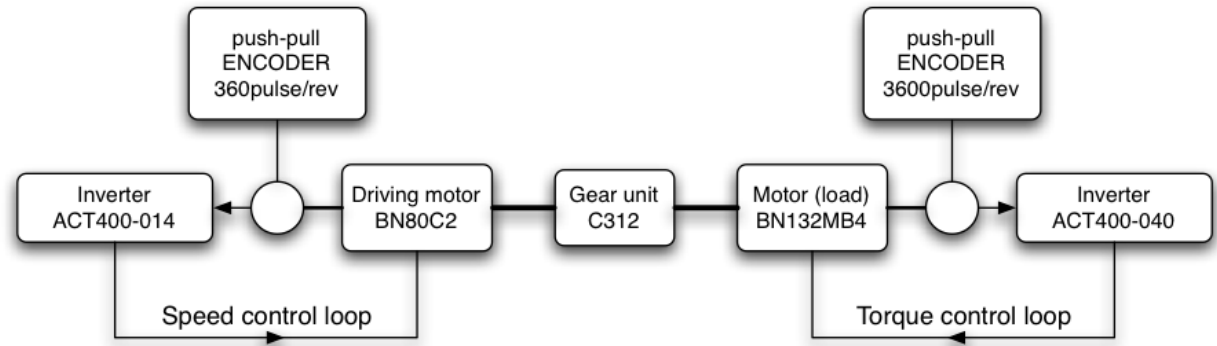
Esercitazione Banco Prova Bonfiglioli (da portare in forma scritta)

- Acquisire a regime stazionario e in rampa di velocità, la vibrazione su un riduttore ad ingranaggi.
- Valutazione dei corretti parametri di acquisizione
- Spettri, PSD, waterfall in frequenza e ordini, segnale tachimetrico

Gear/bearing test-rig @ University of Ferrara



	Driving motor	Loading motor
Nominal power [kW]	1.5	9.2
Nominal torque [Nm]	5.1	61
Nominal speed [rpm]	2800	1440
Number of poles per phase winding	2	4



Esercitazione Automobile (da portare in forma scritta)

- Acquisire a regime stazionario e in rampa di velocità, la vibrazione su motore e interno veicolo
- Valutazione dei corretti parametri di acquisizione
- Spettri, PSD, waterfall in frequenza e ordini, segnale tachimetrico
- Vibrazione durante il moto del veicolo (segnale nel tempo)

