



  
Expert Vibration Monitoring Solutions



## GEA System

Per il monitoraggio delle vibrazioni indotte dal brillamento di cariche esplosive



# Agenda



Misura di vibrazioni indotte da brillamenti:

- ✓ Perché misurare le vibrazioni
- ✓ Cosa misurare
- ✓ Posizionamento sensori
- ✓ Installazione sensori
- ✓ Limiti di accettabilità

Il Sistema GEA per la misura di vibrazioni indotte da brillamenti

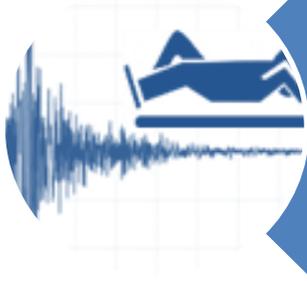
## **Caso pratico:**

Monitoraggio lavori di scavo nuovo tunnel di servizio per  
Diga di Vernago

# Perché misurare le vibrazioni



Danno  
Strutturale



Disagio ai  
Residenti

- ✓ Edifici Adiacenti
- ✓ Sito di lavoro

Le vibrazioni indotte da brillamenti, ma in generale le vibrazioni indotte da svariate attività (macchinari pesanti, TBM), nei siti in costruzione possono comportare sia danni di natura strutturale (Cosmetic Cracking) sia disagio ai residenti degli edifici adiacenti, nonché, in alcuni casi (costruzioni di tunnel) possono risultare pericolose, se eccessive, per l'opera stessa.

# Perché misurare le vibrazioni



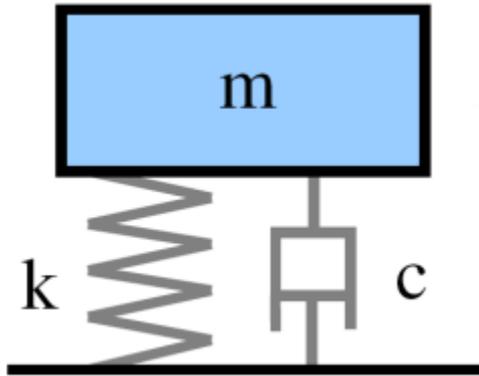
Nel caso specifico dei brillamenti, inoltre, la misura di vibrazioni va effettuata prima dell'uso delle cariche effettive al fine di determinare la massima carica utilizzabile:

$$V = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^\alpha$$

$V$  = velocità di picco  
 $Q$  = carica  
 $R$  = distanza  
 $K$  e  $\alpha$  = Costanti di sito

Esistono diversi modelli basati sulla formula di cui sopra, ma la determinazione delle costanti di sito è alquanto aleatoria e può essere effettuata solo attraverso misurazioni effettive.

# Cosa misurare



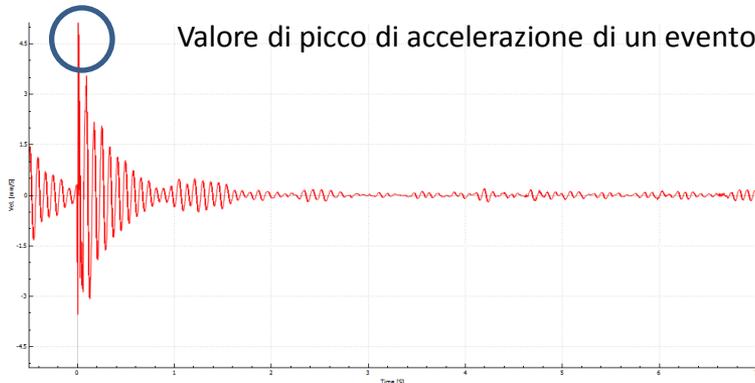
Per vibrazione si intende l'oscillazione attorno ad un punto di equilibrio.

Abbiamo a disposizione tre parametri, fra loro correlati, che possiamo misurare:

$D = \text{Spostamento}$

$V = \text{Velocità} = \frac{dD}{dT}$

$A = \text{Accelerazione} = \frac{dV}{dT} = \frac{d^2D}{dT^2}$

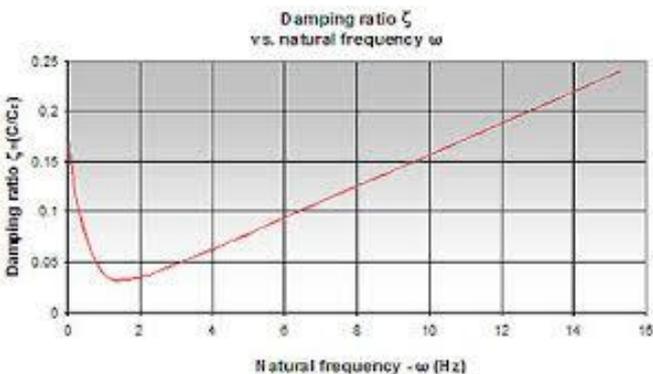
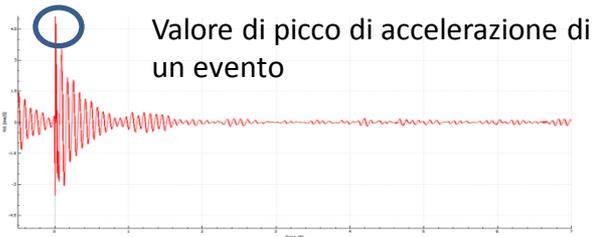


E' prassi misurare la **Velocità di Vibrazione** in quanto è direttamente correlata con l'energia «immessa» nel sistema che poi è causa del possibile danno strutturale:

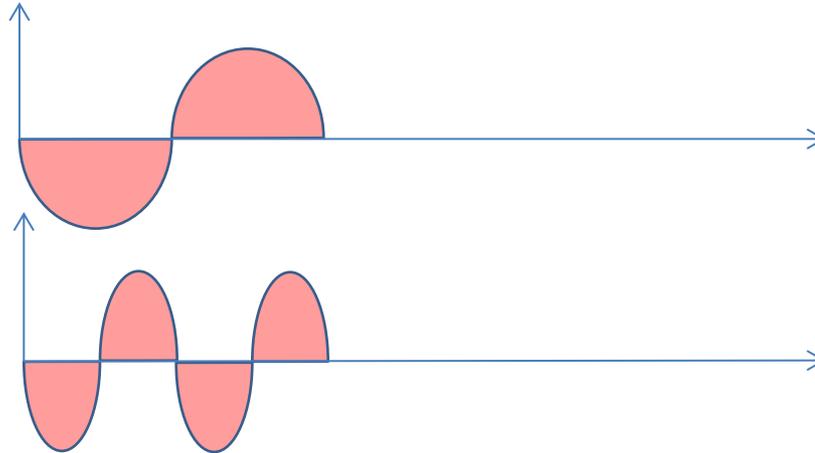
$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

E, in particolare, interessa il **Valore di Picco**

# Cosa misurare



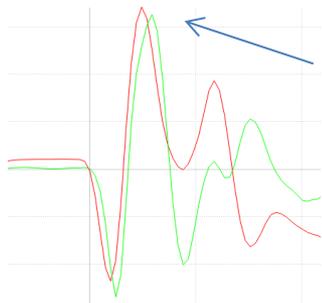
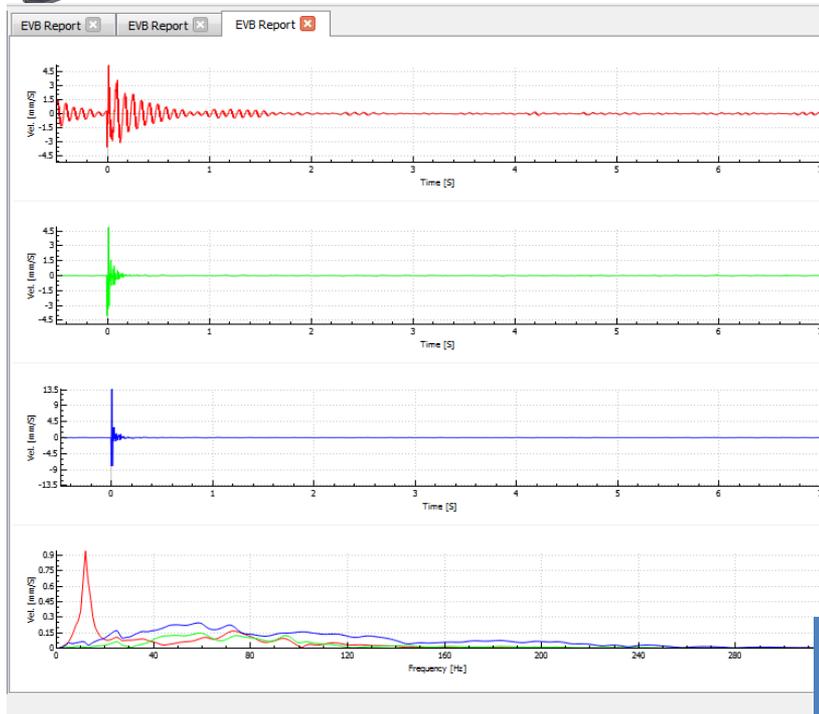
Non basta tuttavia misurare il valore di picco di velocità, in quanto fenomeni aventi un pari livello di picco hanno un effetto diverso a seconda della frequenza:



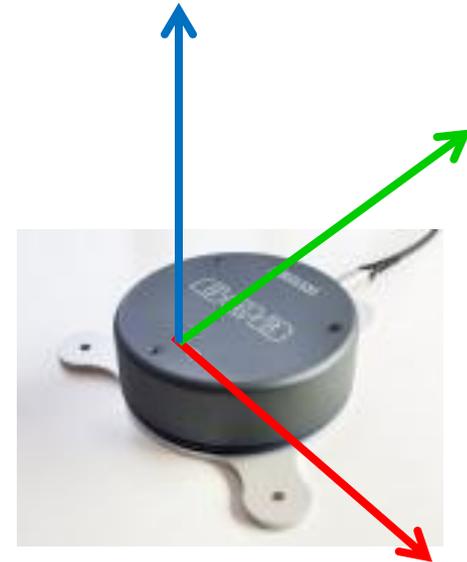
Due segnali, uguali come intensità o velocità di picco:

Il secondo, a frequenza doppia rispetto al primo, impiega due cicli per immettere la stessa energia nel sistema (energia proporzionale all'integrale del segnale nel tempo, area rossa)

# Cosa misurare



Sfasamento picchi per due componenti



Per ogni componente (X,Y,Z o Longitudinale, Trasversale e Verticale) si determina la **PCPV** (Peak Component Particle Velocity) data dalla coppia:

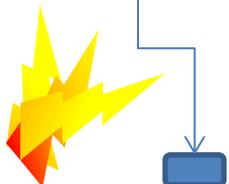
Picco in Velocità, Frequenza Principale corrispondente

e/o la **PPV** (Peak Particle Velocity), che è uno pseudo vettore dato dalle 3 componenti di picco e dalla frequenza della componente più alta

# Posizione dei sensori



In prossimità della carica per stabilire in modo più accurato la legge di propagazione

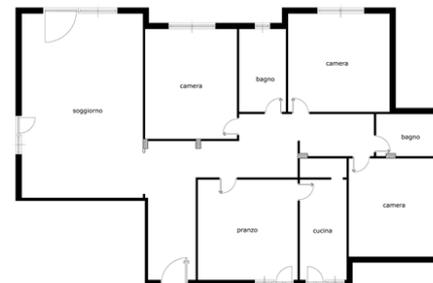
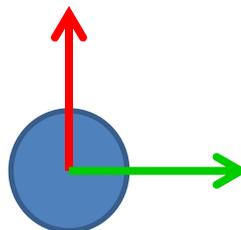
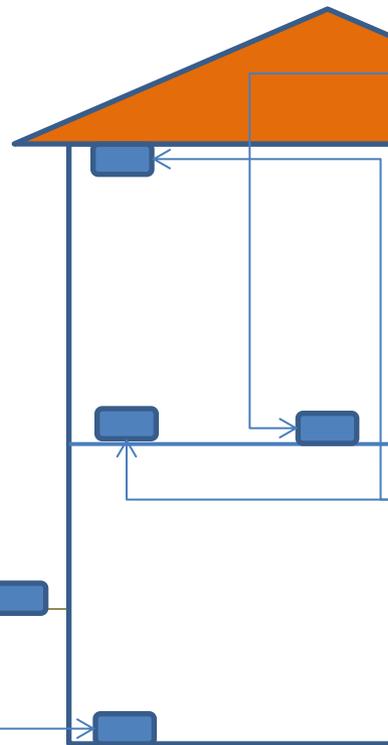


Per stabilire effetti sull'edificio:

- Vicino mura laterali (Norme USA)
- Alle fondazioni (Norme EU)

Aree significative per occupanti in caso si desideri valutare il comfort dei residenti

Piani di mezzera. Non tanto durante le volate di prova, quanto durante lunghe sessioni di monitoraggio in quanto si muovono di più.  
NB: ai lati perchè rotazioni torsionali sono potenzialmente più critiche



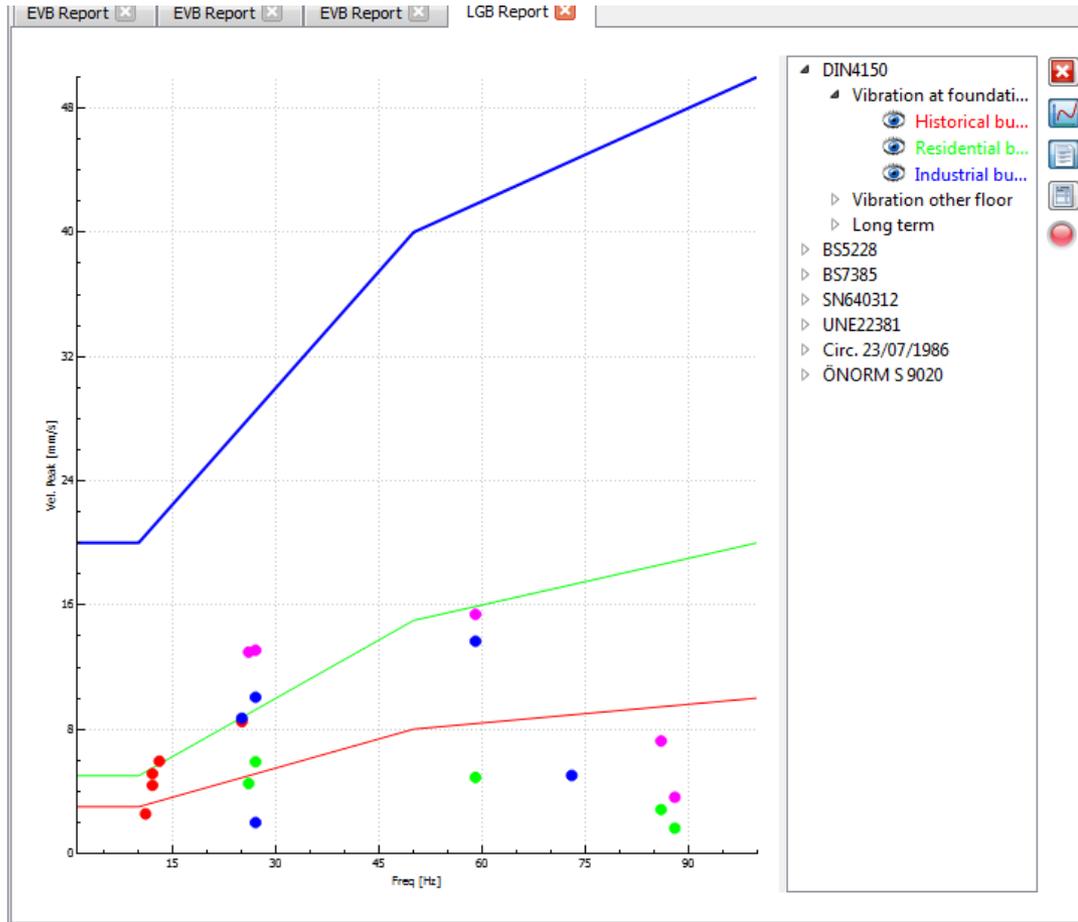
# Installazione sensori



Tipo di superficie	Livello atteso di vibrazioni	Tipo di installazione
Edificio, superficie piana	< 0.25 g	Appoggio
Edificio, superficie piana	>0.25 g < 1 g	Vincolato con nastro biadesivo/colla
Edificio, superficie piana	> 1 g	Saldamente ancorato
Edificio, superficie verticale		Saldamente ancorato
Terreno roccioso		Saldamente ancorato
Terreno morbido		Interrato

I sensori vanno messi in bolla!!!

# Limiti di accettabilità



## EDIFICI

I valori di PCPV/PPV vengono confrontati con apposite curve normative.

I valori di queste curve tipicamente cambiano a seconda della finalità d'uso dell'edificio e della nazione.

Essenzialmente sono più stringenti a bassa frequenza che non ad alta frequenza

In Italia si fa riferimento alle norme tedesche (DIN 4150 Part3)

# Nota sulle normative



## Mancanza di uniformità

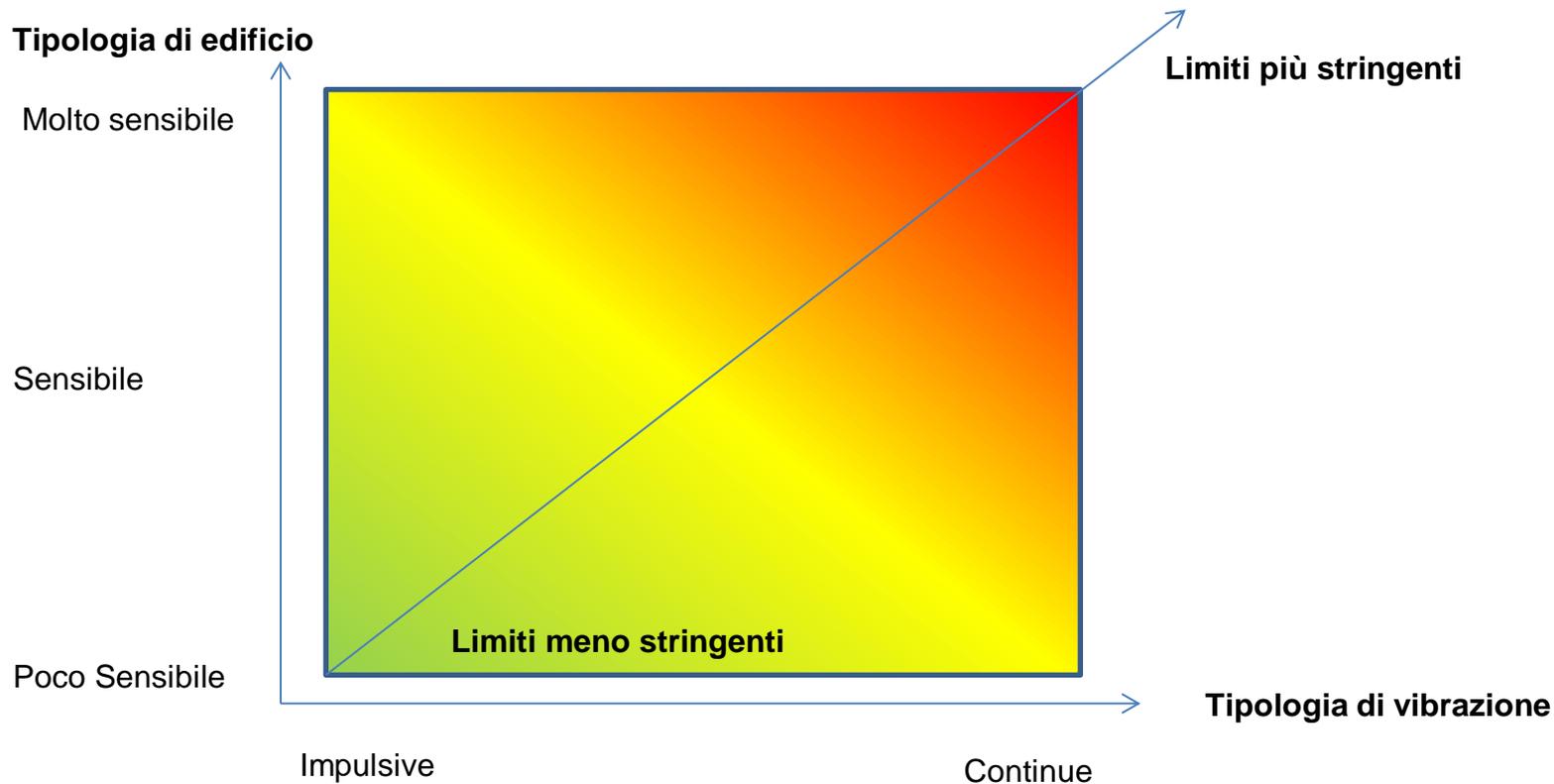
- ✓ Purtroppo ogni paese ha i suoi criteri ed i suoi limiti di accettabilità.
- ✓ Fortunatamente i valori da misurare sono sempre gli stessi.
  - **PCPV**: I picchi di velocità delle tre componenti e la loro frequenza tipica.
  - **PPV**: Lo pseudo vettore definito come il vettore dei picchi delle tre componenti che non sempre sono simultanei e la frequenza della componente più alta.
- I valori misurati (PPV e/o PCPV) vengono poi confrontati con le curve di riferimento limite. In alcuni paesi si usa il PPV, in altri il PCPV e/o entrambi.

# Nota sulle normative



## Mancanza di uniformità

Sebbene le curve limite siano fra loro diverse sono tuttavia categorizzate essenzialmente sullo stesso criterio logico



# Normativa Tedesca (DIN 4150-3)



**Valori utilizzati: PCPV**

Fondazioni

Historical  
Buildings

Residential  
Buildings

Altri Piani

Industrial  
Building



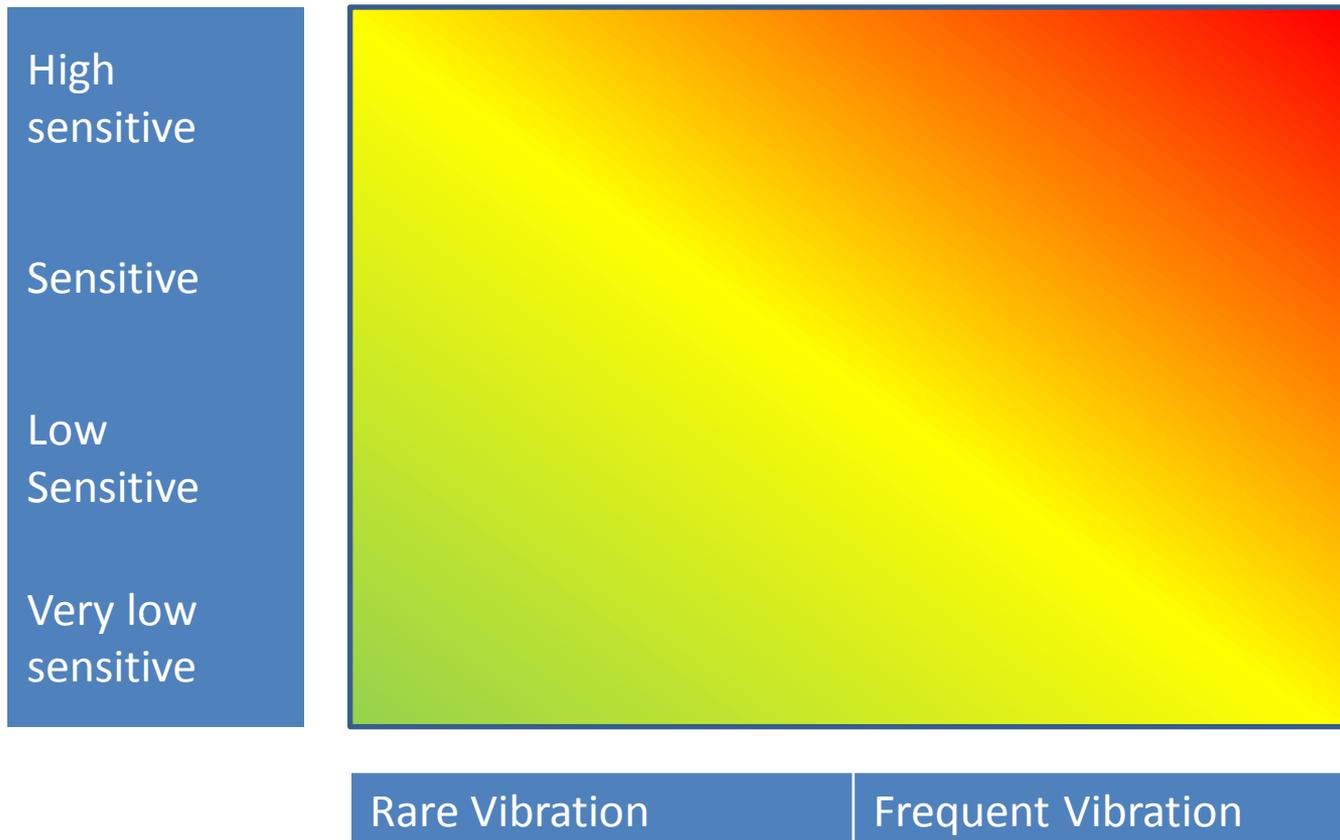
Short Term Vibration

Long Term Vibration

# Normativa Svizzera (SN 640312)



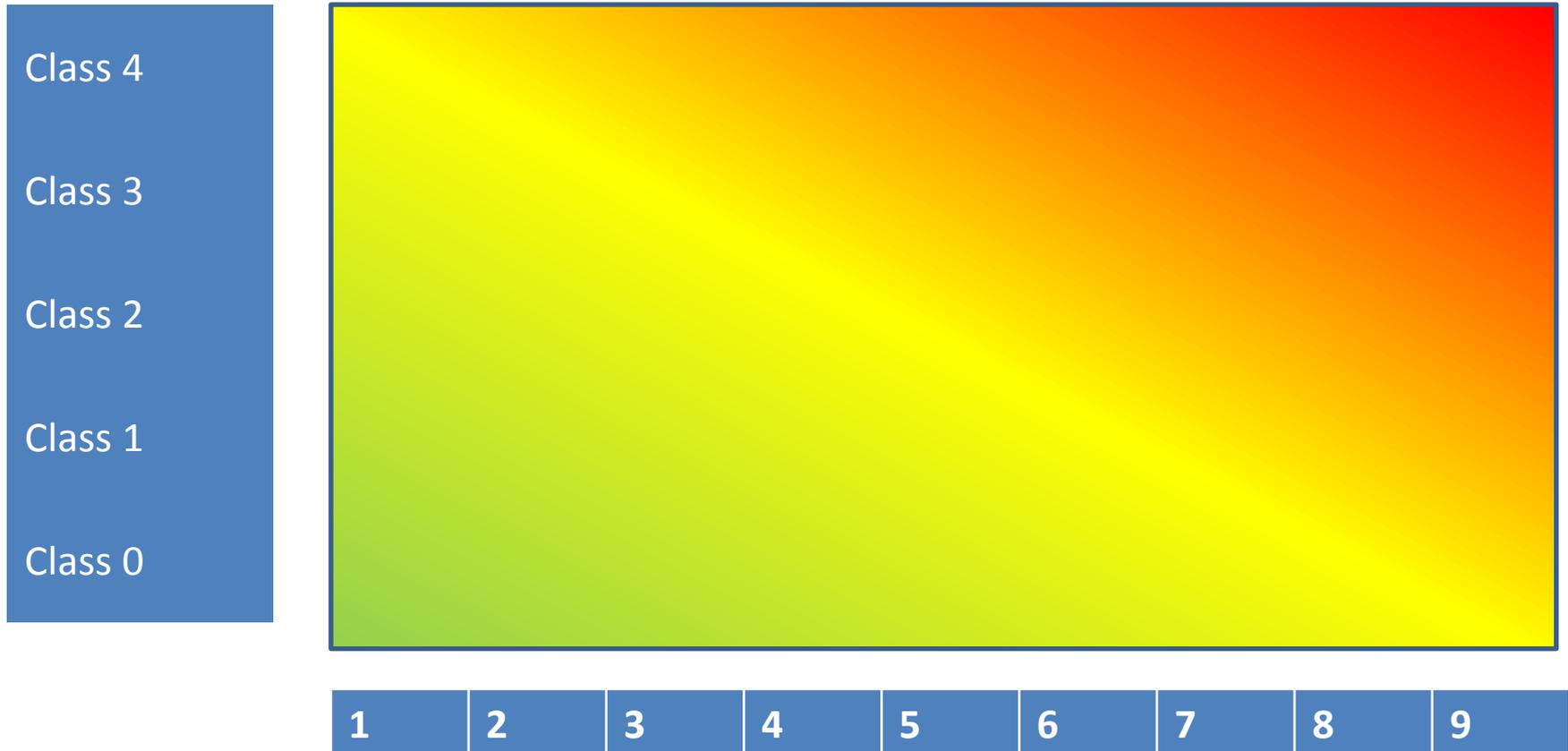
**Valori utilizzati: PPV**



# Normativa Austriaca (ÖNORM S 9020)



Valori utilizzati: PCPV



9 sottocategorie di vibrazioni

# Limiti di accettabilità



## AMMASSI ROCCIOSI

Si usa spesso il BDI

BLAST DAMAGE INDICATOR

$$BDI = \frac{\text{Sollecitazioni Indotte}}{\text{Resistenza a trazione della roccia}}$$

$$\text{Sollecitazioni Indotte} = PPV \cdot \rho \cdot c$$

$$\text{Resistenza a trazione} = T_d \cdot K_s \cdot 10^6$$

BDI	Tipo di danno
< 0,125	Nessun danno
0,25	Nessun danno
0,50	Minimi distacchi scaglie (scabbing), non estesi
0,75	Effetti di distacco moderati e discontinui
1,00	Grandi effetti di scabbing, estesi
1,5	Danneggiamenti gravi sulle superfici libere
>2,00	Rischio crolli estesi

# Il sistema GEA



## Il cuore del sistema

È un sensore triassiale-digitale, basato su tecnologia MEMS a basso rumore di fondo

## Perchè MEMS

- ✓ Robusti, non richiedono manutenzione al contrario dei classici geofoni
- ✓ Risposta lineare da DC ai 1000 Hz (i classici GEOFONI hanno tipicamente una frequenza di risonanza attorno ai 4,5 Hz e quindi è necessario linearizzare)

## Perchè DIGITALE

Trasmissione dati priva di disturbi EMC anche su lunghe distanze con cavi a basso costo



# Il sistema GEA



## Ulteriori Vantaggi

La lettura della componente continua consente:

- ✓ Verifica della calibrazione direttamente con la lettura della gravità
- ✓ Autolivellamento

Inoltre:

- ✓ Può essere direttamente montato a parete senza necessità di ulteriori accessori di montaggio
- ✓ Grado di protezione: IP68 – può essere immerso in acqua



# Il sistema GEA



GEA-Lab v2.2.9

## SEQUOIA

Measure (configuration)

### Reference curves selection

Select a maximum of 3 reference curves

- DIN4150
  - + Vibration at foundations
  - + Vibration other floor
  - + Long term
- + BS5228
- + BS7385
- + SN640312
- + UNE22381
- + Circ. 23/07/1986
- + ÖNORM S 9020

### Il software

- ✓ Adatto sia per valutazione di danno strutturale che di comfort (contemporaneamente)
- ✓ Ampia selezione di normative (nuove facilmente integrabili)
- ✓ Adatto sia per misure brevi che per monitoraggi di lunga durata
- ✓ Sistema di notifiche eventi via mail (remoto) e locale tramite relè
- ✓ User friendly
- ✓ Gestione contemporanea di più sensori

Options Help ?

Close ✓

Apply to all measurement points

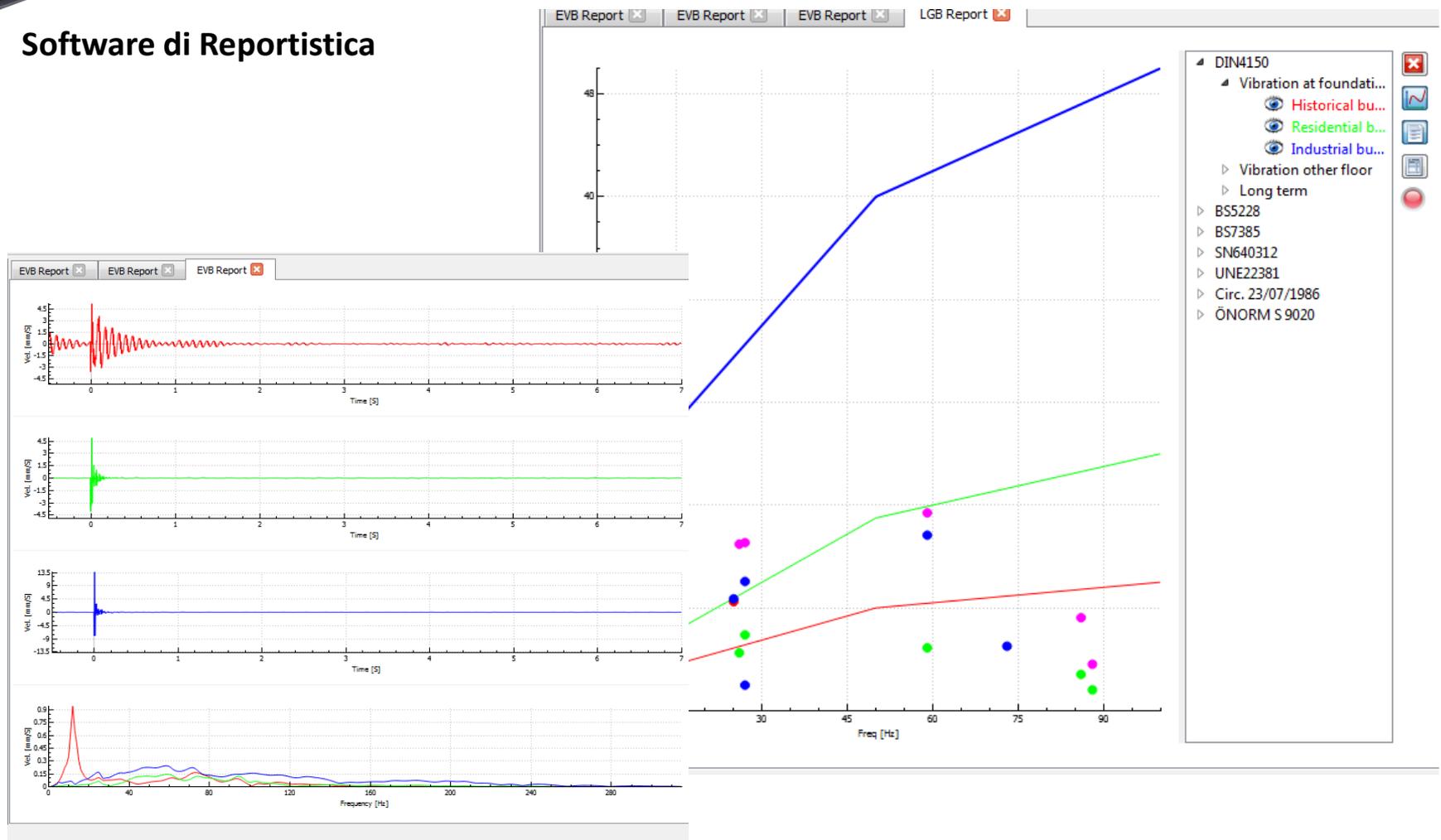
Cancel ✗

New Pass\_Merlata\_EXPO\_M1 Open Save Execution

# Il sistema GEA



## Software di Reportistica



# Il sistema GEA

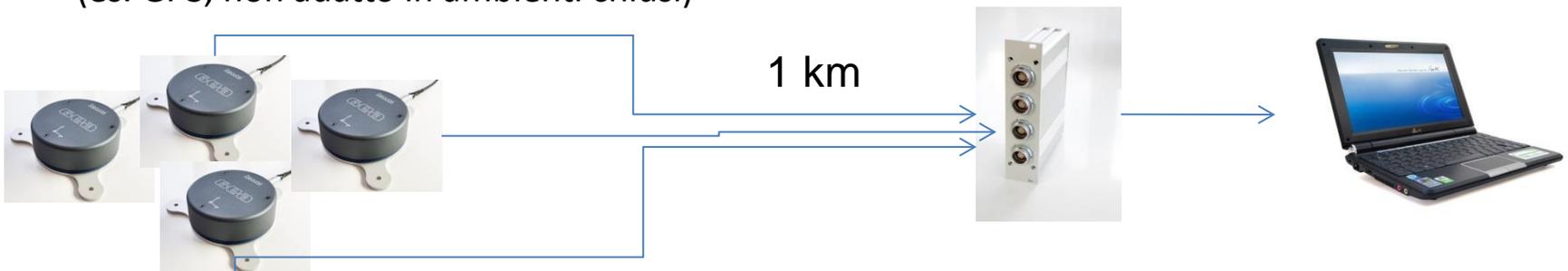
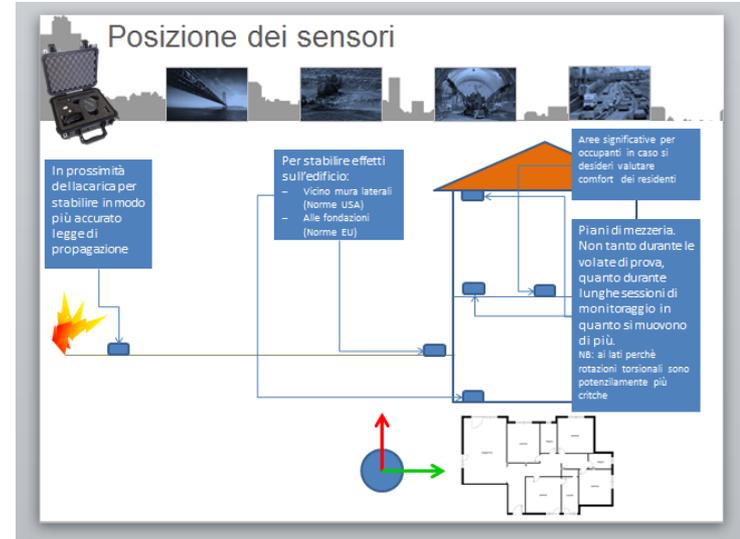


## Perché una soluzione multi – sensore ?

Le soluzioni tradizionali nel settore si basano su «strumenti» compatti , che elaborano direttamente a bordo i dati.

Soluzioni che presentano alcuni svantaggi:

- ✓ Costo medio per sensore/strumento dai 4000 ai 6000 €
- ✓ Alimentazione locale (scomoda per lunghi monitoraggi)
- ✓ Costi aggiuntivi se si necessita di sincronismo (es. GPS, non adatto in ambienti chiusi)



# Il sistema GEA



## Il SynkHub

Un sistema semplice ed economico che garantisce:

- ✓ Alimentazione di 4 sensori fino ad 1km di distanza semplicemente attraverso la porta USB del PC
- ✓ Perfetto match di fase (sincronismo) fra i 4 sensori collegati
- ✓ Collegabile in catena con altri tre moduli per un totale di 16 sensori (sistema standard)

# Il sistema GEA



## Monitoring Box

- ✓ Sistema modulare fino a 16 sensori (48 canali)
- ✓ Moduli opzionali per collegamento in remoto (GPRS)
- ✓ Moduli opzionali per allarme locale (relè)
- ✓ Unità di elaborazione pre-configurata con sistema operativo Linux per maggiore stabilità sui lunghi monitoraggi



# Esempio applicativo



## Monitoraggio Vernago

- Due sistemi per un totale di 16 sensori
- Monitoraggio continuo per 6 mesi
- Controllo remoto strumenti ed invio dati a server
- Sviluppato IP68 con certificazione TÜV

